

ANNUAL RESEARCH REPORT

Vol.5 研究成果報告書 第5巻(2006年)

Nanoscience and Nanotechnology Center
ISIR, Osaka University

大阪大学産業科学研究所
産業科学ナノテクノロジーセンター

目次

センター長の挨拶	1
産業科学ナノテクノロジーセンター組織図	2
全体会議	3
国際会議	4
ナノテクノロジーセンター研究会	7
加速器量子ビーム実験室研究会	8
加速器量子ビーム実験室（ハード）	8
加速器量子ビーム実験室（ソフト）	10
ナノテック 2007	11
加速器量子ビーム実験室成果報告会	12
ナノマテリアル・デバイス研究部門	
人工生体情報ナノマテリアル分野	18
単分子素子集積デバイス分野	31
超分子プロセス分野	47
ナノバイオデバイス分野	68
ナノ量子ビーム研究部門	
量子ビームナノファブリケーション分野	82
ナノ量子ビーム開発分野	94
ナノビームプロセス分野	102
ナノテクノロジー産業応用研究部門	
環境調和ナノマテリアル分野	112
計算機ナノマテリアルデザイン分野	124
ナノバイオ知能システム分野	142
ナノ構造機能評価部門	
ナノ構造多次元評価分野	150
表面ナノ構造プロセス評価分野	158
量子マテリアルデバイス機能評価分野	166

客員教官・学内兼任教授	-----	178
加速器量子ビーム実験室	-----	197
電子顕微鏡室	-----	200
電子プロセス室	-----	201
ナノ加工室	-----	202
ナノテクノロジープロセスファクトリー	-----	203
オープンラボトリー	-----	207
来訪者	-----	210
産業科学ナノテクノロジーセンター 事務補佐員	-----	211

編集後記

客員教官・学内兼任教授	-----	178
加速器量子ビーム実験室	-----	197
電子顕微鏡室	-----	200
電子プロセス室	-----	201
ナノ加工室	-----	202
ナノテクノロジープロセスファクトリー	-----	203
オープンラボトリー	-----	207
来訪者	-----	210
産業科学ナノテクノロジーセンター 事務補佐員	-----	211

編集後記

センター長の挨拶：新たな目標に向けて

菅沼克昭

産業科学ナノテクノロジーセンターが発足してから5年目が経ちました。10年を時限とするセンターの丁度折り返しになります。ここに、この折り返し年度の成果をお届けします。

本センターは、設立当初に研究目標の大きな柱として、「産研で生まれた数々の成果のうち、極限ナノ加工（トップダウン）と原子分子組み上げ（ボトムアップ）の融合によるナノテクノロジーに特化した研究を格段に推進する」、および、「実際の応用、企業との連携を意識したナノデバイス・システム作製、特性評価を通してナノテクノロジーの産業応用を図る」の2つを掲げました。これら目標を達成するために、当センターにマテリアル・デバイス、量子ビーム応用、産業応用、評価・プロセスの研究を推進する4部門を設け、その中に16の研究分野が活動しています。本研究報告書にありますように、ナノサイエンス、ナノテクノロジーに貢献する研究成果を挙げつつあります。また、センター附属の組織として、強力極超短時間パルス放射線発生装置加速器を特徴とする量子ビーム実験室と、文部科学省のナノテクノロジー総合支援プロジェクトの一環として活動するナノテクファウンドリなどが、全国に向けナノテク共同利用の門戸を開けています。電子プロセス実験室、電子顕微鏡室、ナノ加工室は、産研の研究活動へ広く貢献を続けています。

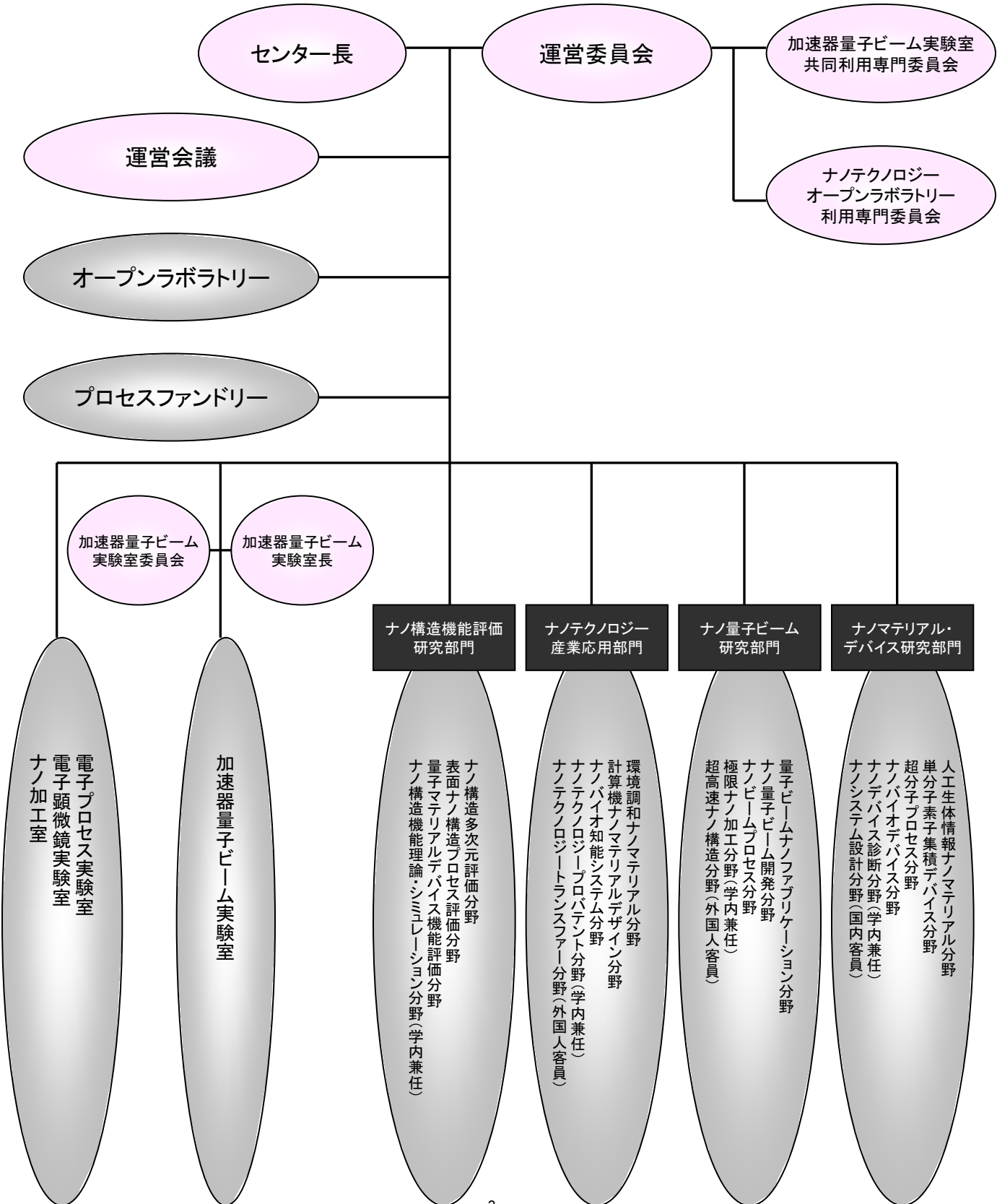
センターの一年の活動は目まぐるしく、多くのイベントにあふれています。ナノテクセンター研究会は、昨年に引き続き、若手教員を中心に全国のナノサイエンス、ナノテクノロジーの研究交流の実を挙げております。加速器量子ビーム実験室では、研究成果報告会などを多数開催しています。ナノテクセンター国際シンポジウムは、今年度は産業応用研究部門が中心となり、産研国際シンポジウムと共催する形で開催し、本センターの国際的情報発信を行いました。外国人、国内客員部門では、延べ約17名の研究者を招き、共同研究の推進やナノテク講座などを開講しました。4人の学内兼任教授には、センター研究会・国際シンポジウム等の機会を通じ、研究交流を推進していただきました。ナノテク総合研究棟の約半分の面積のオープンラボラトリーは、100%の稼働率で、全学のナノテクノロジー研究推進に貢献しています。

今年度は、多数の見学者の来訪を受けました。高校生（8高校300名余）、学会、文科省、国内外企業、外国のナノテクセンターや大学など、幅広く本センターを紹介、意見交換できる機会が持たれ、情報発信と社会貢献を行いました。また、例年の行事となったナノテック2007には、多くのメンバーが参加しました。ナノサイエンス・ナノテクノロジー高度学際教育プログラムには、本センターとしても産業科学研究所の一員として大きな貢献を行いました。

大阪大学では、中期計画の中で「ナノテクノロジー研究推進において我が国の中心的役割を担う研究教育を推進する」という目標に掲げていますが、この精神に沿って本センターでは上記のように、次世代ナノファブリケーション・材料・デバイスの研究推進に関わる総合的基礎技術および産業応用に取り組んでいます。今後これらの成果を踏まえ、センターの次のステップを踏み出すべく、広範な領域にわたるナノテクノロジーの研究を更に深く掘り下げたいと思います。ここにまとめました成果は、今年一年のセンターに所属する研究者のたゆまない努力と、学内外の多くの研究者の協力の結果です。本報告書をお読みいただき、ご忌憚のないご意見やコメントを頂けましたら幸いです。

最後になりましたが、今後とも皆様のご支援ご鞭撻を賜りますよう、よろしくお願いいたします。

産業科学ナノテクノロジーセンター組織図



ナノテクノロジーセンター全体会議

平成18年6月15日に、例年のように産研講堂においてナノテクセンター全体会議を開催した。全体会議は、センターの職員、学生などメンバー全員が一堂に集い、前年度の活動の総括と、日ごろは分野別に分かれ研究に取り組んでいる異分野のナノテクノロジーメンバーが相互に情報交換をする場となっている。また、この会議は産研内のセンター外の職員も参加しており、センターの活動を産研全体に広く理解してもらう役目も担っている。

活動報告では、各部門の最近のトピックス的研究紹介で始まり、各附属施設の活動状況、センター内の役割分担や運営に関するお知らせ調整を行い、さらに新たなメンバーの紹介、客員として来られている Lifeng Yan 先生（岩崎教授）、大下浄治先生（真嶋教授）、高橋憲史先生（吉田陽一教授）などの先生方の紹介を行った。また、適宜各部門の年度活動計画も紹介された。全体会議終了後に簡単な懇親会を開催し、お互いの友好を深めて終わっている。



写真 全体会議の一こま

"Sanken International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006 -Perspective on Interdisciplinary Nanobiology and Industrial Nanotechnology-" 報告

今年度のナノテクノロジー国際会議は、9月18、19日の両日で産研との共催国際会議として吹田キャンパスの銀杏会館で開催した。26件の口頭発表と(10件は海外から)、62件のポスターで構成される盛会となった。1日目は産研のナノバイオロジー関係の研究分野が主体となる構成で、基調講演は英国オックスフォード大のこの分野で著名な John Ryan 教授にキーノート講演を頂いた。キーノート講演では、バイオナノテクノロジーの中でもプロテインを対象に AFM を主たるツールとした高分解能観察に基づく高機能との関連を分かりやすく紹介された。今後の市場として、ヘルスケアの大きな領域を切り開く成果として注目される場所である。このあと、世界各国からの最新のナノバイオロジーに関する講演が続いた。2日目がナノテクノロジーの産業応用部門が主として企画した4セッションで構成された。最先端のナノ解析



写真1 Ryan 教授基調講演の後の活発な質疑応答の様様。

技術の成果を集めた Advanced Structural Studies of Nano-Phases、新たな印刷による微細配線技術の成果に関する Nanoparticle Printing and Wiring for Electronics、ナノテク分野の情報処理オントロジーが注目される BioInformatics and Ontology、第一原理計算に基づく物質デザインを主とする Silicon-Based Nanotechnology: Computational Nano-materials Design and Experiment の4分野に焦点が合わされた。講演の合間に開催されたポスターセッションでは、多くの若手の研究者や学生の日ごろの成果が公開され、それぞれのポスターで熱の入った質疑が繰り返されていた。

今回の国際会議の出席者は総数130人に達し、盛会なものとなった。2日間の会議を通して、各国のナノテクノロジー分野の代表的研究者が親交を深め、その後の情報交換にとどまらず共同研究の輪が広まりつつある。



写真2 ポスターセッションでの活発な質疑応答の様様。

国際会議プログラム

September 19: Nanobiology

[Opening & Plenary lecture] (Chairperson: Prof. Noji)

9:30-9:40 Opening Remarks

9:40-10:00 Introduction of ISIR, Prof. Kawai, Director of ISIR

10:00-10:40 "Single molecule measurements of membrane proteins and applications of bionanotechnology in drug discovery & development"

Plenary lecture, Prof. John Ryan, Bionanotechnology IRC, Oxford, UK

[Session A] Applied and Basic Nanobiology (Chairperson: Prof. Tanizawa)

10:50-11:20 "2nd Generation HPV vaccine for cervical cancer using *Lactobacillus* display system"

Prof. Haryoung Poo, Ph.D, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Korea

11:20-11:45 "PDZ-LIM protein, ENH1 scaffolds protein kinase D1 to modulate the activity of L-type calcium channels in neonatal rat cardiomyocytes"

Dr. Andres D. Maturana, ISIR, Osaka University

[Session B] Membrane Transport Nanomachines (Chairperson: Prof. Yamaguchi)

13:10-13:40 "EmrE, the Smallest Ion-Coupled Multidrug Transporter"

Prof. Shimon Schuldiner, the Alexander Silberman Institute of Life Sciences, Hebrew University of Jerusalem, Israel

13:40-14:05 "Polyamine Transport and Its Physiological Functions"

Prof. Kazuei Igarashi, Graduate school of Pharmaceutical Science, Chiba university

14:05-14:30 "Micron-sized reaction chamber array for highly sensitive detection of biological reaction"

Dr. Ryota Iino, ISIR, Osaka university

Break and Posters(60')

[Session C] Chemical Approach Toward Nanobiology I (Chairperson: Prof. Nakatani & Suga)

15:30-16:00 "DNA-based self-assembly of nanostructures"

Prof. Yan Liu, Biodesign Institute, Arizona State University, USA

16:00-16:25 "Ribosomal synthesis of novel biopolymers via genetic code reprogramming"

Prof. Hiroaki Suga, RCAST, University of Tokyo

16:25-16:50 "Molecular glue of DNA"

Prof. Kazuhiko Nakatani, ISIR, Osaka university

[Session D] Chemical Approach Toward Nanobiology II (Chairperson: Prof. Kato)

17:00-17:30 "Ambidextrous Peptides and Proteins for Functional Applications"

Prof. Indraneel Ghosh, Dept. of Chemistry, University of Arizona, USA

17:30-17:55 "Design and Application of Hybridization-Triggered Reactions within Duplex DNA "

Prof. Shigeki Sasaki, Dept. of Pharmaceutical Science, Kyushu University

18:30-21:00 Banquet (Conference room C, Icho-Kaikan 3F)

[Session E] Advanced Structural Studies of Nano-Phases (Chairperson: Prof. Hirotsu)

- 9:00-9:30 "New techniques for determining the properties of materials and interfaces during in-situ heating in the TEM"
Prof. James M. Howe, Department of Materials Science and Engineering, University of Virginia
- 9:30-10:00 "Fluctuations and Transport in Nanoscale Structures"
Prof. Ellen D. Williams, Department of Physics and Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland
- 10:00-10:25 "Recent advances in spectroscopy methods based on TEM"
Prof. Masami Terauchi, Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University
- 10:25-10:50 "Nucleation and growth of nanomaterials observed by TEM"
Prof. Seiji Takeda, Dept. Physics, Osaka Univ.
- 10:50-11:10 "Solid phase crystallization of an amorphous Fe-Si layer synthesized by ion implantation"
Assoc. Prof. Manabu Ishimaru, ISIR, Osaka University

[Session F] Nanoparticle Printing and Wiring for Electronics (Chairperson :Prof. Suganuma)

- 11:10-11:40 "Electronics fabricated by mass printing technologies - state of the art and future prospects",
Prof. Arved Hubler, Institute for Print and Media Technology, Chemnitz University of Technology, Germany
- 11:40-12:05 "Direct fabrication of copper circuit patterns on polyimide substrate: Controlling interfacial microstructures through chemical surface modification"
Assoc. Prof. Kensuke Akamatsu, Faculty of Science and Engineering, Konan University
- 12:05-12:30 "Development and application of ink-jet printing using nanopaste for circuit formation",
Hiroshi Saito, Principal Researcher, PhD, Harima Chemicals, Inc.

Lunch & Posters(75')

[Session G] BioInformatics and Ontology(Chairperson: Prof. Mizoguchi)

- 13:45-14:15 "Cell-signaling pathways: Knowledge representation and reasoning"
Assistant Prof. John Gennari, Biomedical & Health Informatics, University of Washington
- 14:15-14:40 "Pharmaco-Ontologies and Ontologies for Biological Functions-Challenges in Knowledge Integration across Nanoscopic to Macroscopic Information", Dr. Sumi Yoshikawa, RIKEN
- 14:40-15:05 "Social informational fundamentals in clinical genome informatics (CGI)"
Prof. Jun Nakaya, CGI Center, Graduate School of Medicine, Kobe University

Break & Posters(25')

[Session H] Silicon-Based Nanotechnology:Computational Nano-materials Design and Experiment (Chairperson: Prof. Katayama-Yoshida)

- 15:30-16:00 "Current issues and first-principles calculations in Si-based nanotechnology",
Prof. Kee Joo Chang, Physics Department, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea
- 16:00-16:30 "Novel technique of resonant laser excitation for controlling impurity diffusion in silicon "
Dr. Hiroshi Yamada-Kaneta, Fujitsu Laboratories
- 16:30-16:55 "Nano-scale control of impurity diffusion and materials design in silicon"
Assoc. Prof. Koun Shirai, ISIR, Osaka University
- 16:55-17:00 Closing

ナノテクノロジーセンター研究会

平成 18 年 10 月 31 日(火)、11 月 1 日(水)の 2 日間にわたり、第 3 回 ナノテクノロジーセンター研究会を開催した。本研究会は、ナノテクセンターの所属する若手教員中心に企画・運営されており、今回は「ナノテクノロジーによる予測、形成、評価の先導的研究」という統一テーマのもと、産研外部からも 11 名の方を発表者として招待し、4 セッション 16 件の発表が行われた。

第 1 日目、「ナノ・バイオテクノロジーの知識構造化と産業応用」のセッションでは、バイオインフォマティクス、臨床医学、ナノ材料技術という様々な分野において、構造化した知識をコンピュータに格納し応用利用をしようとする取り組みが紹介された。続く「量子ビームナノファブリケーションのプロセス解析と評価」と題したセッションでは、イオンビームを用いたナノファブリケーション技術について各プロセスの評価を中心とした発表が行われた。



第 2 日目の「ナノ材料プロセッシングとシステムインテグレーションへの展開」というセッションでは、自己組織化、ナノメカニクスシミュレーションなど、様々なナノ材料プロセッシングを題材とした発表を通して、今後ますます期待されるシステムインテグレーションへの展開に向けた議論が交わされた。そして最後の「ナノマテリアルの開発と応用」をサブテーマとしたセッションでは、強誘電体、強磁性体といった産業界での応用に向けたニーズが高いナノマテリアルの開発に関する最新技術の紹介が行われた。



上述のように本研究会で話題とされるテーマは多岐に渡っており、ナノテクセンターが取り組んでいる研究内容の多様性が反映されたものであったと思われる。第 1 日目の夕刻には、研究会参加者を中心とした懇親会も開催され、様々な意見交換が行われる貴重な機会となった。

なお、本研究会で行われた発表の予稿集に加えて、今回初の試みとして本研究会の Web サイトを作成し、研究会のプログラムおよび予稿集の原稿を公開した。これにより、前年ながら研究会当日に参加できなかった方々にも、本研究会で行われた発表や議論の一端を発信することができたと考えている。

第 3 回ナノテクノロジーセンター研究会ホームページ

http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/nano/contents/meeting/3rd_center_ws.html

大阪大学産業科学研究所産業科学ナノテクノロジーセンター 加速器量子ビーム実験室研究会

「極限量子ビーム開発の現状とその利用」

第5回加速器量子ビーム実験室研究会は、「極限量子ビーム開発の現状とその利用」と題して、平成18年11月10日に産業科学研究所・講堂で開催され、30名を超える参加者が集まった。本研究会のキーワードとなる“極限量子ビーム”とは、パルス長やエミッタンス、電荷量、安定性などにおいて極限までその性能を追求された量子ビームを指している。本研究会では、その研究開発に携わる研究者の方々にお集まりいただき、現在の最先端の量子ビーム開発の現状と利用について御議論いただいた。

研究会の最初のセッションでは、光陰極 RF 電子銃による極短パルス電子ビームの発生や、レーザー・プラズマ加速によるさらに短い電子バンチの発生の研究、またアト秒領域の電子パルスに予測される興味深い物理的な効果が論じられた。2 番目のセッションでは、線形加速器の安定化の実現、低エミッタンス熱陰極 DC 電子銃やフェムト秒電子パルス熱陰極 RF 電子銃の開発研究、熱陰極 RF 電子銃を用いた小型自由電子レーザーの研究開発とその将来構想が紹介された。最後のセッションでは、今回新たな試みとしてパネルディスカッション形式による討議を行った。「極短時間パルスビームの利用」をテーマにその発生のアイデアから利用まで幅広い話題が提供された。このディスカッション形式のセッションでは、これから進展するであろう斬新なアイデアに対してテンポの良い活発な議論が展開された。研究会終了後、招待講演者の先生方を交えて懇親会が催された。その場においても、量子ビームの性能限界を向上させる議論と、それを利用した研究について多くの意見が交わされ、有意義な研究会となった。

第5回研究会プログラム（平成18年11月10日）

開会の挨拶	大阪大学産業科学研究所	磯山悟朗
座長	大阪大学産業科学研究所	吉田陽一
「レーザーフォトカソード RF ガンによるフェムト秒電子パルス発生」	大阪大学産業科学研究所	楊 金峰
招待講演 「レーザープラズマ加速によるフェムト秒・アト秒電子パルス発生の実状と展望」	日本原子力研究開発機構	森 道昭
「アト秒電子パルスによるコヒーレント集団励起」	大阪大学産業科学研究所	小方 厚
座長	大阪大学産業科学研究所	磯山悟朗
「阪大産研 L バンドライナックの安定化とその現状」	大阪大学産業科学研究所	加藤龍好
招待講演 「東北大学核理研の電子加速器運転および開発研究の実状」	東北大学原子核理学研究施設	河合正之
招待講演 「KU-FEL の現状」	京都大学エネルギー理工学研究所	山崎鉄夫
パネルディスカッション「極短時間パルスビームの利用」		
パネルリーダー	神戸大学発達科学部	中川和道
「アト秒電子パルス発生アイデア」	大阪大学産業科学研究所	菅 晃一
「アト秒時間分解分光は可能か」	大阪大学産業科学研究所	近藤孝文
「水溶液系の初期過程に関する研究の展開と短パルスの利用」	日本原子力研究開発機構	永石隆二
「Geminate kinetics in attosecond time-scale」	大阪大学産業科学研究所	S.V.Anishchik
「アト秒パルスとナノファブ리케이션」	大阪大学産業科学研究所	古澤孝弘
「コヒーレント集団励起を使う」	大阪大学産業科学研究所	吉田陽一
閉会の挨拶	大阪大学産業科学研究所	吉田陽一

大阪大学産業科学研究所産業科学ナノテクノロジーセンター 加速器量子ビーム実験室研究会

「量子ビーム誘起反応の解明と応用」

第6回加速器量子ビーム実験室研究会は「量子ビーム誘起反応の解明と応用」と題して、平成19年1月19日に産業科学研究所第二研究棟共同プロジェクト室で開催され、量子ビーム利用に関する講演が行われた。

プログラムは以下に示したとおりであるが、前半のセッションでは内部から産業科学研究所のパルスラジオリシスを用いることで得られた最近の知見について発表が行われた後、群馬大学工学部の山路稔助教授から芳香族化合物ラジカルアニオンの生成と失活過程に関する招待講演が行われた。さらに、特別講演として九州大学先端物質化学研究所三島正章教授の金属クラスターに関する講演が行われた。

後半のセッションでは引き続き産業科学研究所のパルスラジオリシスを用いた、芳香族分子溶液、微細加工材料中での反応中間体の研究が報告された後、NECの永原誠司氏から化学増幅型レジスト中での酸の解離平衡、酸触媒反応とナノパターン形成との関係に関する招待講演が行われた。その後、特別講演として、大阪府立大学の奥田修一教授より、大阪府立大学における非常に多岐に渡る量子ビーム利用研究と将来展望が紹介された。

研究会終了後、招待講演者の先生方を交え、加速器量子ビーム実験室セミナー室で懇親会が開催され、更なるディスカッションが行われた。

第6回研究会プログラム（平成19年1月19日）

開会の挨拶 阪大・産研・加速器量子ビーム実験室長 真嶋哲朗
座長 阪大・産研・遠藤政幸 「パルスラジオリシスによる機能性分子の化学」阪大・産研 藤塚守 「パルスラジオリシスによるラジカルイオンの化学」阪大・産研 藤乗幸子 「パルスラジオリシスによる有機化合物からの発光」阪大・産研 佐守真悟 座長 阪大・産研・川井清彦 招待講演 「量子ビームを用いた芳香族化合物ラジカルアニオンの生成と失活過程の研究」群馬大・工 山路稔 座長 阪大・産研・真嶋哲朗 特別講演「気相金属イオン化学：金属イオン－中性分子会合体の結合特性」 九大・先端研 三島正章
座長 阪大・産研・関修平 「芳香族分子の放射線化学初期過程及びカチオン種のダイナミクスに関する研究」阪大・産研 岡本一将 「量子ビームにより生成した凝縮相中の電荷のナノメートルスケールダイナミクス」阪大・産研 佐伯昭紀 座長 阪大・産研・古澤孝弘 招待講演 「化学増幅型レジスト中での酸のダイナミクス」 NEC 永原誠司 特別講演 「大阪府立大における量子ビーム利用研究」府立大 奥田修一

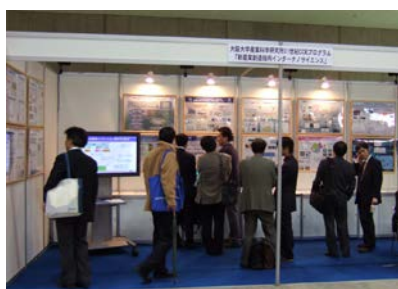
nano tech 2007 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議

－ 平成18年度産研・原子力工学専攻21世紀COE新規事業 －

nano tech実行委員会が主催する「nano tech 2007(国際ナノテクノロジー総合展・技術会議)」が、平成19年2月21日(水)から23日(金)までの3日間、東京・有明の東京ビッグサイトで開催された。6回目を迎える同展には国内・海外から約500の企業・団体が結集した。会期中には天候の悪い日もあったが、3日間あわせて約5万人の来場者があり、盛大に開催された。

nano tech 2007は、研究開発から周辺産業、製品までを発表、展示する世界最大のナノテクノロジー総合展示会である。近年、モノ作りの微細化技術が急速に進展し、様々な応用製品に大きな影響を与えている。たとえば、光リソグラフィー中心であった微細加工技術にインクジェット、ナノインプリント等が新規参入し、加工・実装プロセスを変え、機能性を高めた材料とともに新たな市場の形成が始まっている。また、表面処理・加工においても革新的コーティング技術は、精密金型の耐久性を高め、量産が困難であった製品の実用化も可能になった。さらに、バイオとの融合「ナノバイオExpo2007」、高機能性素材・高付加価値技術の「nano & neo新機能性材料展」、そして表面処理・加工の「ASTEC2007」との同時開催により、あらゆる分野をカバーし、研究、技術から製品までのマッチングを行う。

21世紀COEプログラムでは、新規事業の一環として、この展示会に出展ブースを確保し、21世紀COEプログラムの成果を展示し、内外に広くアピールした。大阪大学産業科学研究所は「産業に必要となる先端的な事項で材料、情報及び生体に関するものの総合的研究」を目的としている。このような総合的研究の中から生まれたナノテクノロジーセンターは、材料、情報及び生体の3つの分野からナノテクノロジーとナノサイエンスに特化した研究を推進している。また環境・エネルギー工学、エネルギー・環境・バイオ工学へと新しい研究教育システムを深化させようとしている。このような流れの中から、ナノテクノロジー、エネルギー、情報科学、バイオテクノロジーを融合させた複合的で学際的な新しい科学として定義されるインターナノサイエンスの創出を目指している。



産業科学研究所からは、ナノテクノロジーセンターを中心に、量子ビームナノファブリケーション分野、環境調和ナノマテリアル分野、励起分子化学研究分野等の、ポスターを展示するとともに、デモ展示を行った。また、産業科学研究所の研究内容・成果を紹介するスライドショーの上映を行った。一日目は417人、二日目は486人、三日目は542人で、3日間で合計1445人と非常にたくさんの来場者が展示ブースに訪れた。

各国の、大学、研究所、企業などの最新の取り組み状況を知ることができ、また、他の出展者や来場者との情報交換もでき、有意義な展示会参加であった。

平成 18 年度加速器量子ビーム実験室成果報告会

プログラム (案)

開催日 2007 年 3 月 14 日 (水)

場所 大阪大学産業科学研究所管理棟講義室

9 : 20～9 : 30 開会の挨拶

座 長

9 : 30～9 : 45 加藤龍好 (阪大産研)

「L バンド電子ライナックの運転および保守の状況」

9 : 45～10 : 00 楊金峰 (阪大産研)

「フォトカソード RF 電子銃ライナックの研究」

10 : 00～10 : 15 柏木茂 (阪大産研)

「高輝度電子ビーム発生のためのタイミングシステムの高度化と電子ビーム診断」

10 : 15～10 : 30 近藤孝文 (阪大産研)

「高機能がん治療のための電子ビームの動的強度変調の研究」

(休憩 10 分間)

座 長

10 : 40～11 : 20 招待講演

「未定」

座 長

11 : 20～11 : 35 谷篤史 (理学研究科)

「メタンハイドレートに生成するメチルラジカルとその反応」

11 : 35～11 : 50 山本浩一 (医学研究科)

「放射線皮膚炎動物モデルの確立」

11 : 50～12 : 05 森安彩子 (医学研究科)

「放射線皮膚炎発症におけるヒスタミンの関与」

(昼休み)

13 : 00～14 : 00 ポスター発表

座 長

14 : 00～14 : 40 招待講演 中嶋英雄先生（阪大産研）
「機能性ポーラス金属材料の開発と物性、応用」

座 長

14 : 40～14 : 55 古澤孝弘（阪大産研）
「ナノエレクトロニクス用高分子材料の反応素過程」

14 : 55～15 : 10 藤塚守（阪大産研）
「パルスラジオリシス—レーザー複合照射によるナフタレンジイマーラジカル
カチオンの光解離過程」

15 : 10～15 : 25 藤乗幸子（阪大産研）
「トリアリールホスフィンペルオキシラジカルカチオンの生成と反応性」

休憩 15 分

座 長

15 : 40～16 : 20 招待講演 加藤隆二先生（産業技術総合研究所）
「レーザー照射によるイオン液体中での溶媒和電子の生成」

座 長

16 : 20～17 : 00 招待講演 鈴鹿敢先生 （日本大学工学部）
「未定」

休憩 15 分

座 長

17 : 15～17 : 30 関修平（阪大産研）
「放射線による機能性高分子の OneStep-OnePod 重合反応と制御」

17 : 30～17 : 45 坂本雅典（阪大産研）
「ラジカルおよび励起ラジカルを利用した高分子薄膜中での金ナノ粒子作成」

17 : 45～18 : 00 小林一雄（阪大産研）
「遺伝子損傷の分子機構—パルスラジオリシス法によるグアニン脱プロトン
化のダイナ ミックス—」

18 : 00～18 : 10 閉会の挨拶

18 : 10～ 懇親会

講演時間

招待講演 : 40 分 = 発表 30 分 + 質疑応答 10 分

一般講演 : 15 分 = 発表 12 分 + 質疑応答 3 分

ポスター（合計 30 件）

1. 微粒子懸濁水溶液系の放射線照射効果
○ 清野智史^a、木下卓也^a、山口智彦^a、飯田順一^a、小泉亜希子^a、本田裕祐^a、池田稔治^b、
山本孝夫^a（工学研究科^a、産研^b）
2. 感染体の検出を目的とした「DETECT システム」の開発と実用化
○ 東岸任弘、野島博（阪大微生物病研究所）
3. Gamma-ray Irradiation Effects of Ethane and Ethylene Hydrates
○ 竹家啓^a、谷篤史^b、菅原武^a、大垣一成^a（基礎工学研究科^a、理学研究科^b）
4. 二酸化炭素ハイドレートの ESR 測定
○ 木谷晋輔、谷篤史、竹家啓（基礎工学研究科）
5. 低温ルミネッセンス計測装置の開発～南極氷床コア中の塩微粒子検出を目指して～
○ 水野準一、谷篤史、櫻井俊光、堀川信一郎、堀彰、本堂武夫、Lipenkov, V. Ya.（基礎工学研究科）
6. 放射線照射法で調整した高分子ナノゲルの棒順収縮特性
○ 泉佳伸、秋山庸子、宮内啓成、寺田隆哉、朴明珠、松尾陽一郎、北畠直司、安富琢也、西嶋茂宏（工学研究科）
7. 核融合炉環境における液体 Li 用絶縁コーティング材料への照射効果
飯田敏行^a、佐藤文信^a、松浦良太郎^a、○田中照也^b（工学研究科^a、核融合研^b）
8. 有機塩の二次元水素結合ネットワークをテンプレートとする結晶重合
○ 田中彰^a、藤内謙光^a、宮田幹二^a、松本彰一^b（工学研究科^a、大阪市立大^b）
9. DNA/RNA ハイブリッド中のホール移動
○ 川井清彦、小阪田泰子、杉本晃、藤塚守、真嶋哲朗（阪大産研）
10. 光捕集タンパク超分子の構築
○ 遠藤政幸、藤塚守、真嶋哲朗（阪大産研）
11. パルスラジオリシスによるドナー・アクセプター型テトラキス(フェニルエチニル)ベンゼンの発光
○ 佐守真悟、藤乗幸子、藤塚守、真嶋哲朗（阪大産研）
12. パルスラジオリシス法による銅含有酵素における分子内電子移動過程：
Hyphomicrobium denitrificans 由来亜硝酸還元酵素のタイプ 1 銅の役割
鈴木晋一郎^a、前谷武彦^a、山口和也^a、○小林一雄^b、田川精一^b（阪大院理化学専攻^a、阪大産研^b）
13. 生体系のパルスラジオリシス法 1
○ 小林一雄^a、田川精一^a、中西伸行^b、Motiur Md Rahman^b、鏑木基成^b（阪大産研^a、神戸大自然科学^b）
14. 生体系のパルスラジオリシス法 2
○ 小林一雄、山上隆平、田川精一（阪大産研）

15. 液体ベンゼン誘導体中のピコ、サブピコ秒パルスラジオリシス
○ 岡本一将、古澤孝弘、佐伯昭 紀、楊金峰、吉田陽一、田川精一（阪大産研）
16. ポリ（4-ヒドロキシスチレン）のパルスラジオリシス
○ 岡本一将、夏田健一郎、大西 優子、田中将史、佐伯昭紀、古澤孝弘、関修平、田川精一（阪大産研）
17. 紫外～赤外ピコ秒パルスラジオリシスによる THF 溶媒和電子前駆体とビフェニルとの反応性
○ 佐伯昭紀、古澤孝弘、田川精一（阪大産研）
18. イオン液体中におけるクロロフェノールの放射線還元反応
○ 田口光正^a、木村敦^{a,b}、近藤孝文^c、楊 金峰^c、吉田陽一^c、広田耕一^a（原子力機構^a、群馬大工^b、阪大産研^c）
19. 放射線照射により生成するコア・シェル構造を有する金属微粒子の反応過程
○ 小嶋崇夫^a、堀史説^a、谷口良一^a、奥田修一^a、楊金峰^b、吉田陽一^b（大阪府立大^a、阪大産研^b）
20. アト秒電子線パルス発生シミュレーションの研究
○ 菅晃一、楊金峰、近藤孝文、吉田陽一
21. パルスラジオリシスによるイオン液体の溶媒和電子の研究
○ 近藤孝文^a、浅野晃^a、楊金峰^a、永石隆二^b、高橋憲司^c、吉田陽一^a、田川精一^a（阪大産研^a、原子力機構^b、金沢大^c）
22. SASE による X 線レーザーの基礎研究
○ 加藤龍好、柏木 茂、Ravi A.V. Kumar、井合哲也、今 教禎、末峰昌二、磯山悟朗（阪大産研）
23. 赤外 FEL によるテラヘルツ波源開発
○ 今 教禎、加藤龍好、柏木茂、Ravi Kumar 、末峰昌二、磯山悟朗（阪大産研）
24. 集束型ウイグラー開発の基礎研究
○ 柏木茂^a、加藤龍好^a、Ravi A.V. Kumar^a、今教禎^a、井合哲也^a、磯山悟朗^a、山本樹^b、土屋公央^b、佐々木洋征^b（阪大産研^a、高エネルギー加速器研究機構^b）
25. 佐々木洋征 OTR によるウェーク場とパンチ構造の評価
○ 井合哲也、加藤龍好、柏木茂、今 教禎、磯山悟朗（阪大産研）
26. 陽電子を用いた電解質膜の解析
○ 菅田義英^a、木村徳雄^a、田川精一^a、磯山悟朗^a、芝原雄二^b、秋山庸子^b、宮内啓成^b、泉佳伸^b、武田真一^b、西嶋茂宏^b（阪大産研^a、工学研究科^b）
27. 陽電子消滅寿命測定法を用いた生体高分子のナノ空間構造解析
○ 秋山庸子^a、菅田義英^b、泉佳伸^a、武田真一^a、西嶋茂宏^a（工学研究科^a、産研^b）
28. 出芽酵母への電離放射線照射による突然変異誘発効果の検討
○ 松尾陽一郎¹、西嶋茂弘¹、池田稔治²、清水喜久雄³（¹工学研究科、²産研、³ラジオアイソトープ総合センター）

29. Orbital-and millennial-scale variations in aeolian dust transport path
○ Kana Nagashima (Jamstec), Ryuji Tada (University of Tokyo), Shin Toyoda(Okayama University of Science), Atsushi Tani(Osaka University), * Youbin Sun(University of Tokyo), Yuko Isozaki (University of Tokyo)*現在の所属: Chinese Academy of Science
30. 加速器量子ビーム実験室放射線安全管理の現場からの報告
○ 池田稔治、馬場久美子、木村徳雄 (阪大産研)

ナノマテリアル・デバイス研究部門 人工生体情報ナノマテリアル分野

(田畑研究室) 所在地 〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1 FAX : 06-6879-4283

教授 田畑 仁 (Hitoshi TABATA) (H. 18. 11 まで)

助手 佐伯 洋昌 (Hiromasa SAEKI) (H18. 11 まで)

特任助手 (ナノサイエンス・ナノテクノロジー研究推進機構) 松井 裕章 (Hiroaki MATSUI)

特任研究員 (ナノテクノロジーセンターオープンラボラトリー) 法澤 公寛 (Kimihiro NORIZAWA)

特任研究員 (21 世紀 COE) 肖 芝燕 (Zhiyan XIAO)

学生 D 1 : 1 名、M 2 : 1 名、M 1 : 2 名、B 4 : 3 名、事務補佐員 : 池田 恵

研究概要

我々の研究室では、原子レベルで結晶構造制御可能なレーザーMBE法を用いて、強相関系物質薄膜や人工格子による未来物質創製を実施している。例えば酸化物磁性体、スピングラス、リラクサー強誘電体の次元性や揺らぎと物性に関する基礎研究や、強誘電生-強磁性が共存するマルチフェロトロニクス、さらに酸化物ワイドギャップ半導体を用いたスピントロニクス、光誘起スピン素子やシナプス接合型メモリ等の酸化物エレクトロニクス関連の研究を実施中である。さらに、生体の持つユニークな特長を模倣すべく、これらの機能性材料の双安定性およびグラス特性を利用した“ゆらぎ”素子の研究を実施している。

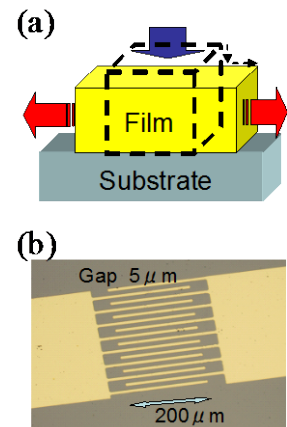
さらに、ナノバイオデバイスを目指して、DNAなどのバイオ分子の自己組織化、クローニングを利用したナノ構造制御によるバイオセンサ・メモリの創製や、走査プローブ顕微鏡を用いたナノ領域物性に関する研究を実施している。またDNA塩基間水素結合やタンパク質-DNA結合の直接評価を目指して、新しい分光法としてのTHz分光(Far-IR分光)によるDNA・蛋白質分子などの生体関連材料の結合状態計測も行っている。

ガーネットフェライト薄膜における歪み誘起室温マルチフェロ創成

強誘電性と強磁性(あるいはフェリ磁性)を併せ持つマルチフェロイック物質は新しいデバイス、メモリなど様々な分野への応用が期待できるだけでなく、磁場-電場の相互作用が創り出す新しい物性の発現が期待されている。電子の持つ自由度である「電荷」の分極に起源を持つ「電気双極子」のオーダリングである「双極子秩序」を制御する強誘電体の基礎研究は、超音波・マイクロ波デバイス、非線形光学デバイス、赤外線センサなどの多様なデバイスを実用化した。近年では、シリコンCMOS半導体技術と絡み合いながら微細化と多機能化が進み、これまでに半導体集積回路や強誘電体メモリなどを生み出してきた。また、ピエゾ電気効果に代表される「格子歪秩序」を積極的に利用した圧電素子や電圧制御によるマニピレータなどは強弾性体の応用が生み出した成果である。一方、電子の持つもう一つの自由度である「スピン」のオーダリングである「スピン秩序」を利用した磁性体の研究も、基礎と応用が絡み合いながら、情報技術の基盤となる磁気メモリを生み出してきた。

我々はフェリ磁性体に着目し、そのフェリ磁性体(ガーネット系フェライト)を用いたマルチフェロイック物質開発を試みた。フェリ磁性におけるスピンは、反強磁性配置であり、磁気相関が強く転移点も室温でのマルチフェロ特性が期待できると同時に、強誘電性キュリー温度と同程度の磁気転移温度を実現する事で、大きな電気磁気相互作用が期待できる。

1例として、ガーネットフェライトとして、 $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (バルクの格子定数: $12.284\text{\AA}$)を、組み合わせる基板として $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ (GGG): $12.376\text{\AA}$ を選択した。このときの基板と試料のミスマッチは0.74%であり、ガーネット薄膜に対して引っ張りの応力期待される(図1(a))。薄膜はパルスレーザー蒸着法により基板温度 $=700^\circ\text{C}$ 、酸素ガス圧 $=10^{-5}\sim 10^{-1}\text{Pa}$ の条件下で作製した。また薄膜形成時に生じる可能性のある酸素欠損を補償するため、 O_2 中で 700°C 、1時間のポストアニーリング処理を施した。



(格子歪み)の導入が

図1 薄膜-基板間のミスマッチによる格子歪み導入モデル図(a)および電気特性評価のために楕円電極写真。

結晶構造および歪みについて報告する。ガーネット結晶は立方晶であり、バルク状態の格子定数を参考にとすると GGG 基板上へ $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ が cube on cube で成長し、格子のミスマッチ(0.74%)により、面内に様な歪み(薄膜に対して伸張応力)が、導入されると期待される。面内方向に正方晶性が増大され、この方向に強誘電性が発現すると想定されるため、電気特性は楕形電極(電極ピッチ $5\mu\text{m}$)を形成して評価した(図 1 (b))。

図 2 に磁気特性(a)および強誘電性(b)の評価の結果を示す。測定は面内に電界を印加し、その方向の誘電性を測定した。室温でバルクのガーネット材料と同程度の大きなヒステリシスを持つ磁気特性を示した。また電気的特性についても、室温で強誘電性を示唆するヒステリシス曲線が観測された。しかしながら、印加電圧 1000kV/cm でも飽和せず、マイナーループの部分が現れている。通常の強誘電性評価のようにキャパシタ構造で、薄膜垂直方向に電界を印加測定する場合と異なり、楕電極により面内に電界を印加し測定した場合は、格子が基板に拘束されている状態であり、また薄膜だけでなく常誘電体の基板にも電界が並列に印加されているためであると考えられる。

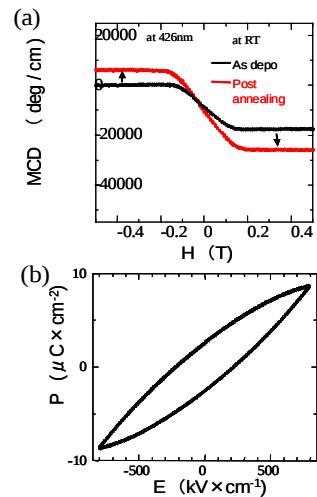


図 2 $\text{Lu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 薄膜の磁気特性(As-depo、 700°C ポストアニール後)(a)、および強誘電性ヒステリシス測定

磁気光学材料として利用されてきたガーネット系フェライトに着目し、基板との格子ミスマッチを積極的に活用した格子歪みにより強誘電性を発現させることで、室温においてスピンと双極子の自発的秩序構造が共存する室温マルチフェロ薄膜の創製に初めて成功した。21世紀の高度情報化社会を支える次世代エレクトロニクスの基盤技術開発という社会的要請を満たすため、強誘電体の起源となる「双極子秩序」、強弾性体の起源となる「格子歪秩序」、および強磁性体の起源となる「スピン秩序」を一つの物質やナノ超構造の中に融合することにより、複数の秩序相(強誘電体、強磁性体)が同一結晶内で共存する相共存状態(機能融合型フェロイック)は大きな可能性を秘めている。これらの物質に於いては、超構造、軌道、格子、および電子的相分離を制御することにより、電場・応力・磁場などの外場に対して多重強的(Multi-Ferroic)応答や巨大電気磁気応答が期待される。今後これを利用した既成デバイスの高機能化と新概念デバイスなど新しいエレクトロニクスへの展開が期待される。

$\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}$ の成長モード制御とバンド端発光の磁気変調

希薄磁性半導体は、スピン、フォトン及びキャリアとの相互作用により、興味ある磁気光学及び磁気輸送が観測でき、 ZnO 系の磁性混晶の適用は興味深い。特に、 ZnO は、酸化物の中でも発光特性に優れ、 $3d$ 軌道に局在スピンを持つ Co 原子の添加により、発光特性に磁気変調が生じる可能性がある。本年度は、 $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}$ 混晶層の2次元成長モードの確立と発光特性の観測を目指した。

1) 成長モード制御：酸素分圧変調法

ZnO における2次元面は主に、 Zn 極性成長において得られる。 ZnO の Zn 極性成長は、 ZnO 基板の Zn 極性面上に酸素プラズマ照射下で薄膜成長をさせる必要がある。これは、酸素プラズマ内に存在する原子状酸素(O^*)が成長に重要な役割を果

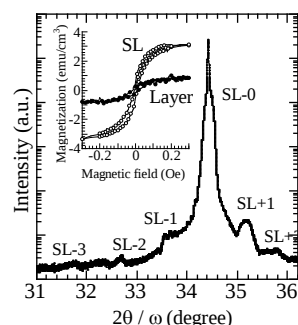


図1 $\text{Zn}_{0.94}\text{Co}_{0.06}\text{O}/\text{ZnO}$ 超格子試料の高分解能 XRD の $2\theta/\omega$ スペクトル。挿入図は 10K における磁気ヒステリシス。

たすためである。一方、共有性の強い 3d 軌道を有する Co^{2+} イオンの添加は、 ZnO の成長モードを著しく変化させる。 ZnO と同様の作製条件では、成長表面はラフニングを起こし、相分離が生じる。 ZnCoO 層は、低酸素分圧 (10^{-6} mbar 以下) の酸素ガスフロー下で成長表面のラフニングは抑制される。しかし、基板と薄膜間での格子緩和に伴う V ピットと呼ばれる貫通転位が残存する。V ピットは、成長膜厚を 10nm 以下に制限することで 10^7 cm^{-2} 以下に抑制できる。そして、 ZnO と $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}$ 層の成長時の酸素分圧を変調させながら交互に超格子構造を形成した結果、成長表面は 2 次元成長を維持し、コヒーレント成長が達成された (図 1)。この成長方法は、 ZnCoO 混晶を用いたヘテロ構造の作製に有効的である。

2) 紫外エキシトン発光の観測

$\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}$ ($x \leq 0.05$) 層は、 Al_2O_3 (0001) 基板上に 600°C 及び 1.4×10^{-5} mbar の成長条件下で成長させた。バンド端は、低温 (10K) で励起子吸収ピーク及び磁気円色性 (MCD) の共鳴端 E_0 で評価した。 ZnCoO のバンドギャップの増大の比率は、 $\sim 30 \text{ meV/Co}$ (1%) であり、ワイドギャップ化する。しかし、バンド端の $\square$ 点で、 s, p - d 交換作用により大きなゼーマン分裂を示す。エネルギーバンドのワイドギャップの起源は、光電子分光 (UPS) から、 $\text{Co}(3d)$ と $\text{O}(2p)$ との混成が有望とされる。低温 PL 発光は、吸収端のブルーシフトに伴い、励起子発光が高エネルギー側にシフトし、混晶系特有のブロードニ

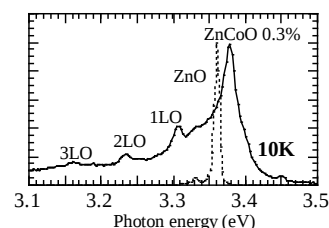


図 2 ZnO 及び $\text{Zn}_{0.997}\text{Co}_{0.003}\text{O}$ 層における低温 (10K) の発光スペクトル

ングを示す (図 2)。さらに、 Co 添加に伴い LO フォノンの増大が観測され、 ZnO 母体内への Co 添加は、結晶子内に強い内部電界を誘起する。また、極低温、強磁場下で、バンド端発光はピーク分離し、LO フォノンにはさらに先鋭化する。これは磁場印加により、エキシトンとフォノンとの結合が増大することを示唆し、外部磁場により ZnCoO 内に形成された局所電場が影響を受けることが想定される。

DNA 関連生体材料のテラヘルツ分光とイメージング

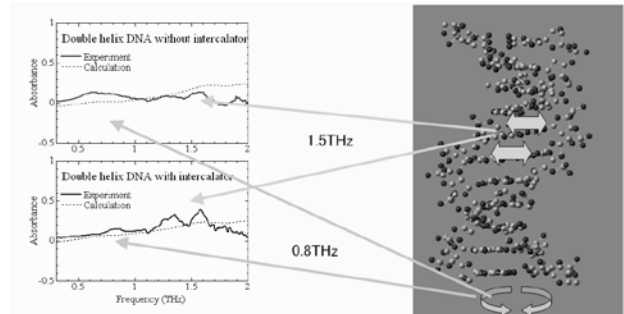
テラヘルツ光は、長い間安定した光源がなく未踏の光と言われてきたが、1990 年代に入ってから技術の大きな進展があった。テラヘルツ光は遠赤外光とも呼ばれ、1 テラヘルツ (THz) のエネルギーは $33 \text{ cm}^{-1} = 4.3 \text{ meV}$ に相当する。紫外～可視光域には電子遷移、近赤外～中赤外域には分子内振動遷移のモードが見えるのに対し、テラヘルツ域には気相分子の回転遷移や大域分子間振動・ねじれ振動遷移、水素結合の振動遷移のモードが見られる。特に DNA などの生体高分子においては、大域分子間振動・ねじれ振動・水素結合振動遷移が見られ、テラヘルツ分光法により生体高分子の指紋スペクトルを得ることができる。

DNA は 2 重らせん構造を取るが、1 本鎖が 2 本鎖にハイブリダイゼーションすることでテラヘルツ帯の吸収が増えることが知られている。これはアデニン (A) とチミン (T)、グアニン (G) とシトシン (C) の相補となる各塩基のアミノ基どうしの水素結合による振動モードがテラヘルツ帯に現れるからだと考えられており、分子間相互作用を直接観測することができる。DNA をテラヘルツ分光により見ることで、ノンラベリング・非破壊・非接触のハイブリダイゼーション判定を行うことができる。また、2 次元・3 次元イメージング手法も開発されており、癌や腫瘍をテラヘルツ光で見ることで医療への応用が試みられている。

我々はこれまでに DNA 構成塩基分子であるアデニン (A)、チミン (T)、グアニン (G)、シトシン (C)、 λ -DNA、サケ白子 DNA という風に、基礎的分子から DNA に至るまで徐々

に大きな分子のテラヘルツ透過スペクトルを系統的に調べてきた。

テラヘルツ分光・イメージングの DNA へのアプリケーションは数多く提案されているが、系が複雑なこともあって振動モードの理論的解析・考察は殆ど行われていない。そこで我々は塩基配列の制御された人工合成 DNA オリゴマーを試料とし、簡単な系で水素結合振動モードの解析を行った。1 対の GG ミスマッチを有する 11 塩基対 DNA オリゴマーを用意し、GG ミスマッチに選択的に結合するナフチリジンダイマーをインターカレートすることで、GG ミスマッチ部位の水素結合モードが THz スペクトルに表れるかを測定した。DNA が半経験的分子軌道法により、0.8THz と 1.5THz に表れるピークが、それぞれ DNA2 重螺旋のねじれ振動、2 本の DNA 間隔の伸縮振動に対応することが分かった。



Publication List, Presentation List

「原著論文」

「Co-doped ZnO Homoepitaxy: Repeated Oxygen-pressure Modulated Epitaxy」

H. Matsui and H. Tabata

: Physica Status Solidi C, 3 (2007) 4106-4109.

「Simultaneous control of growth mode and ferromagnetic ordering in Co-doped ZnO layers with Zn polarity」

H. Matsui and H. Tabata

: Phys. Rev. B., 75 (2007) 014438

「Influence of Microstructure on the Complex Permeability of Spinel Type Ni-Zn Ferrite」

S.T. Mahmuda, A.K.M. Akther Hossain, A.K.M. Abdul Hakim, M. Seki, T. Kawai, H. Tabata

: J. Magnetism & Magnetic Materials, 305 (2006) 269-274.

「Stranski-Krastanov growth in Mg_{0.37}Zn_{0.63}O/ZnO heteroepitaxy: Self-organized nanodots and local composition separation」

H. Matsui, N. Hasuike, H. Harima, T. Tanaka, H. Tabata

: Appl. Phys. Lett., 89 (2006) 091909.

「Novel DNA Nano-Patterning Design Method Utilizing Poly-L-Lysine Patterning by Nanoimprint Lithography」

T. Ohtake, K. Nakamatsu, S. Matsui, H. Tabata and T. Kawai

: J.Nanosci.Nanotechnol., 6 (2006) 2187-2190.

「Correlation of self-organized surface nanostructures and anisotropic electron transport in nonpolar ZnO (10-10) homoepitaxy」

H. Matsui and H. Tabata

: J. Appl. Phys., 99 (2006) 124307.

「Dielectric and ferroelectric properties of c-axis oriented strontium bismuth tantalate thin films applied transverse electric fields」

K. Kotani, I. Kawayama, M. Tonouchi, Y. Hotta and H. Tabata

: J. Appl. Phys., 99 (2006) 124106.

「Modification of Temperature Dependence of Dielectric Properties by Symmetry-Controlled

Superlattices Thin Films of BaZr_xTi_{1-x}O₃」

T. Kawahara, T. Ohno, A. Doi, H. Tabata, T. Kawai and T. Hino
: Jpn. J. Appl. Phys., 45 (2006) 4484-4488.

「Critical thickness and lattice relaxation of Mg-rich strained Mg_{0.37}Zn_{0.63}O (0001) layers towards multi-quantum-wells」

H. Matsui, H. Tabata, N. Hasuike and H. Harima
: J. Appl. Phys., 99 (2006) 024902.

「国際会議論文（プロシーディングス）」

「Dielectric properties of Ba(Zr, Ti)O₃ thin films fabricated by pulsed laser deposition」

T. Hino, M. Nishida, T. Araki, T. Ohno, T. Kawahara, M. Murasugi, H. Tabata and T. Kawai

: Proc. the 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing(LAMP2006)

「解説・総説」

「酸化物半導体 ZnO 薄膜の成長表面と格子欠陥」

松井 裕章、田畑 仁
: 表面科学, 27 (2006) 708-714.

「酸化亜鉛半導体薄膜の光・電子・磁気機能 一極性・非極性の観点から」

松井 裕章、田畑 仁
: 応用物理, 75 (2006) 1211-1217.

「強誘電体薄膜 BaZr_xTi_{1-x}O₃ の超格子による温度特性の制御」

河原 敏男、大野 隆裕、田畑 仁、川合 知二、日野 孝紀
: 超音波 TECHNO, 9-10 (2006) 31-34.

「著書」

「科学立国日本を築く」

田畑 仁（分担執筆）（榊 裕之 監修、丸文研究交流財団選考委員会 編）
: 日刊工業新聞社, (2006)

「国際会議」

★「Multi-Ferroic Relaxors」

H.Tabata

International Symposium on Integrated Ferroelectrics(ISIF2006) 2006.4.23-27 (Hawaii, USA)

★ 「Charge transport properties of DNA molecules measurements by nano-gap electrodes」
H.Tabata

Charge Migration in DNA 2006.6.6-9 (Manitoba, Canada)

「Magnetic and transport properties of (Zn,Co)O thin films(Poster)」
H. Saeki, H. Tabata
PASPS-IV 2006.8.15-18 (Sendai, Japan)

「A correlation between carrier, ferromagnetism and structural quality in strained Zn_{1-x}CoxO/ZnO hetroepitaxy(Poster)」
H. Matsui and H. Tabata
PASPS-IV 2006.8.15-18 (Sendai, Japan)

「Room temperature multiferroic properties of strained R₃Fe₅O₁₂ thin films. (R=rare metal) (Poster)」
K. Tsuruta, T. Koide, M. Seki and H. Tabata
JKC-FE06(The 6th Japan-Korea Conference on Ferroelectricity) 2006.8.17-20 (Sendai, Japan)

「Room Temperature Weak Ferromagnetism in Ferroelectric Pb(Fe,Ta)_{0.5}O₃ & Ba(Fe,Ta)_{0.5}O₃ Thin Films(Poster)」
A. K. M. Akther Hossain, M. Seki, T. Kawai, H. Tabata
The 17th International Conference on Magnetism 2006.8.20-25 (Kyoto, Japan)

「A correlation between carrier, ferromagnetism and structural quality in strained Zn_{1-x}CoxO/ZnO hetroepitaxy(Poster)」
H. Matsui and H. Tabata
The 17th International Conference on Magnetism 2006.8.20-25 (Kyoto, Japan)

★Rump Session B 「Nanotechnology-Impact on Electronics, Photonics and Biology-」
H. Tabata
SSDM2006 2006.9.13-15 (Yokohama, Japan)

「High-efficiency cell membrane perforation technique based on self-organized ZnO nanorods」

M. Seki, T. Saito and H. Tabata
SSDM2006 2006.9.13-15 (Yokohama, Japan)

「THz Time-Domain Spectroscopy of Thin-Film DNA Oligomer Having G-G Mismatch」
K. Norizawa, H. Tabata, F. Takei, K. Nakatani
The IRMMW-THz 2006 2006.9.18-22 (Shanghai, China)

「Repeated oxygen-pressure modulated epitaxy for Zn-polar growth of ZnCoO alloys(Poster)」

「Advanced control of surface Nanostructures in ZnO homoepitaxy(Poster)」
H. Matsui and H. Tabata
SISNN-2006 2006.9.19-20 (Osaka, Japan)

「Room temperature multiferroic properties of strained R₃Fe₅O₁₂ thin films」
K. Tsuruta, T. Koide, M. Seki and H. Tabata
The 13th International Workshop on Oxide Electronics 2006.10.8-11 (Ischia, Italy)

「Polarity control and magnetic ordering in strained ZnCoO/ZnO heteroepitaxy towards oxygen-pressure modulated superlattices(Poster)」
H. Matsui and H. Tabata
The 13th International Workshop on Oxide Electronics 2006.10.8-11 (Ischia, Italy)

「Synthesis of oxide nanorods by laser-induced VLS technique(Poster)」
M. Seki, T. Fujimura, T. K. Saito, H. Tabata
The 13th International Workshop on Oxide Electronics 2006.10.8-11 (Ischia, Italy)

「Self-assembled Oxide Nanorods and Their Applications to Bio Systems (Poster)」
M. Seki, T. Saito, H. Tabata
5th 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience”
International Symposium 2006.12.8-9 (Awaji, Hyogo)

★ 「Advances in Nonpolar ZnO Homoepitaxy: 1D Surface Nanostructure and Electron Transport」 H. Matsui and H. Tabata
Photonics West-2007 2007.1.20-25 (San Jose, USA)

「国内学会」
★ 「ナノエレクトロニクスに向けたボトムアップナノテクノロジー」
田畑 仁

第 21 回阪大融合技術懇談会 2006.4.17 (Osaka, Japan)

★「ナノバイオデバイス研究の動向と農林水産分野に期待するナノバイオ技術」

田畑 仁

平成 18 年度第 2 回農林水産技術会議 2006.5.16 (Tokyo, Japan)

「Pb フリー B サイト同価数系 $\text{Ba}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$, $\text{Ba}(\text{Hf}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ における相共存・ゆらぎとリラクサー現象の相関」

土井 敦裕, 田畑 仁, 金 秀宰, 黒岩 芳弘

第 23 回強誘電体応用会議(FMA-23) 2006.5.24-27 (Kyoto, Japan)

★「薄膜・表面評価技術」

田畑 仁

第 23 回薄膜スクール 2006.6.28-30 (Kanagawa, Japan)

★「バイオ／DNA エレクトロニクスデバイス応用・展望」

田畑 仁

オルガテクノ 2006 有機ビジネステクニカルセミナー 2006.7.25-27 (Yokohama, Japan)

★「パソコン計算でどこまで物性が予測（説明）できる？：表面科学から物質科学まで」

田畑 仁

応用物理学会結晶工学分科会主催 第 125 回結晶工学分科会研究会 2006.8.2 (Osaka, Japan)

「光酸化機構による細胞膜穿孔ナノロッドの特性解析」

齋藤 敬, 関 宗俊, 藤村哲也, Supab Choopun, 田畑 仁

2006 年秋季 第 67 回応用物理学術講演会 2006.8.29-9.1 (Shiga, Japan)

「高効率細胞加工に向けた自己組織化 ZnO ナノ構造体の作製」

関 宗俊, 齋藤 敬, 藤村哲也, Choopun Supab, 志水一平, 田中武雄, 田畑 仁

2006 年秋季 第 67 回応用物理学術講演会 2006.8.29-9.1 (Shiga, Japan)

「DNA の振動モードのテラヘルツ分光法」

法澤 公寛, 武井 史恵, 中谷 和彦, 田畑 仁

2006 年秋季 第 67 回応用物理学術講演会 2006.8.29-9.1 (Shiga, Japan)

「非極性 ZnO のホモエピタキシー：表面ナノ構造と電子輸送」

松井 裕章, 田畑 仁

2006 年秋季 第 67 回応用物理学術講演会 2006.8.29-9.1 (Shiga, Japan)

「新規マルチフェロイック:ガーネット型 $R_3Fe_5O_{12}$ (R:rare earth metal) 薄膜の磁性および誘電性」

鶴田 浩二, 小出 卓史, 関 宗俊, 田畑 仁

2006 年秋季 第 67 回応用物理学術講演会 2006.8.29-9.1 (Shiga, Japan)

「ガーネット型 $Lu_3Fe_5O_{12}$ 薄膜の磁性および誘電性」

小出 卓史, 鶴田 浩二, 関 宗俊, 田畑 仁

2006 年秋季 第 67 回応用物理学術講演会 2006.8.29-9.1 (Shiga, Japan)

共同研究、学会活動、国際交流等

「共同研究」

東京大学大学院 理学研究科 藤森教授

名古屋大学 工学研究科 田中教授、平野教授、坂本助教授

大阪大学 産研 川合教授、吉田教授、谷村教授、朝日教授、田川教授

大阪大学大学院 基礎工学研究科 奥山教授、伊藤教授

大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 斗内教授

広島大学 黒岩教授、小口教授

京都工芸繊維大学 工学部 播磨教授

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 松井教授

近畿大学 生物理工学部 本津教授

Bangladesh University of Engineering and Technology,

Associate Prof. Akther A.K.M. HOSSAIN

住友精化 (株)

松下電器 (株)

クラスターテクノロジー (株)

三洋工業 (株)

グンゼ (株)

誠南工業 (株)

「学協会活動」

田畑 仁

2006 年 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2006)

(2006.9.12-15・横浜) 論文委員 サブコミッティチェア

2006 年 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2006)
(2006.9.12-15・横浜) 論文委員

JJAP 特別編集委員

第 45 期応用物理学会代議員

6th Japan-Korea Conference on Ferroelectricity(JKC-FE06) (Aug. 17-20, 2006・Sendai, Japan) Publication Committee (Committee Chair)

財団法人大阪産業振興機構 アドバイザー

国際高等研究所 研究プロジェクト「電子系の新しい機能」 研究会参加者

応用物理学会 論文誌出版委員会委員

農林水産省 農林水産技術会議事務局

「食品素材のナノスケール加工及び評価技術の開発」委託プロジェクト準備委員

科研費、助成金等

田畑 仁

「科研費」

基盤研究(B)(2)

「対称性が破れた強誘電体リラクサー人工格子形成と脳型メモリ創成」

萌芽研究

「自己組織化半導体ナノロッドを用いた非蛍光標識型遺伝子トランジスタ」

特定領域研究（計画研究、分担）代表：佐藤和則

「計算機ナノマテリアルデザインエンジンの開発・応用」

特定領域研究（計画研究、分担）代表：竹田精治

「自己整合 3 次元構造化とマルチフェロイックデバイス」

「その他」

和歌山県地域結集型共同研究事業

「有用アグリリソース/アパタイト複合材料を利用した機能素材応用技術の開発」

代表：近畿大学 本津茂樹

日本学術振興会先端研究拠点事業－拠点形成促進型－

(共同研究 参加者) 代表：吉田 博

「計算機ナノマテリアルデザイン (Computational Nano-Materials Design)」

佐伯 洋昌

「科研費」

若手研究(B)

「層状ホモロガス結晶を用いたスピントロニクス材料の探索」

21 世紀 COE 若手研究者による分野間共同研究

「ワイドギャップ希薄磁性半導体のスピノダル分解によるナノ構造制御と磁性」

松井 裕章

「科研費」

若手研究(B)

「表面ナノ構造体によるヘテロ界面構造の変調とその電子、磁気機能」

大阪大学・産業科学研究所

単分子素子集積デバイス分野

所在地 〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1 FAX 06-6875-2440

構成

教授 川合 知二 (Tomoji KAWAI) TEL:06-6879-8445,
E-mail:kawai@sanken.osaka-u.ac.jp

助教授 松本 卓也 (Takuya MATSUMOTO) TEL:06-6879-4288,
E-mail:matsumoto@sanken.osaka-u.ac.jp

助手 谷口 正輝 (Masateru TANIGUCHI) TEL:06-6879-4288,
E-mail:taniguti@sanken.osaka-u.ac.jp

研究員 高木 昭彦, 小嶋 薫, 松浦 寛, 鉾之原 瞳

学生 D3: 山田 郁彦, D1: 高橋 拓也, M2:1 名, M1:1 名, B4:2 名,

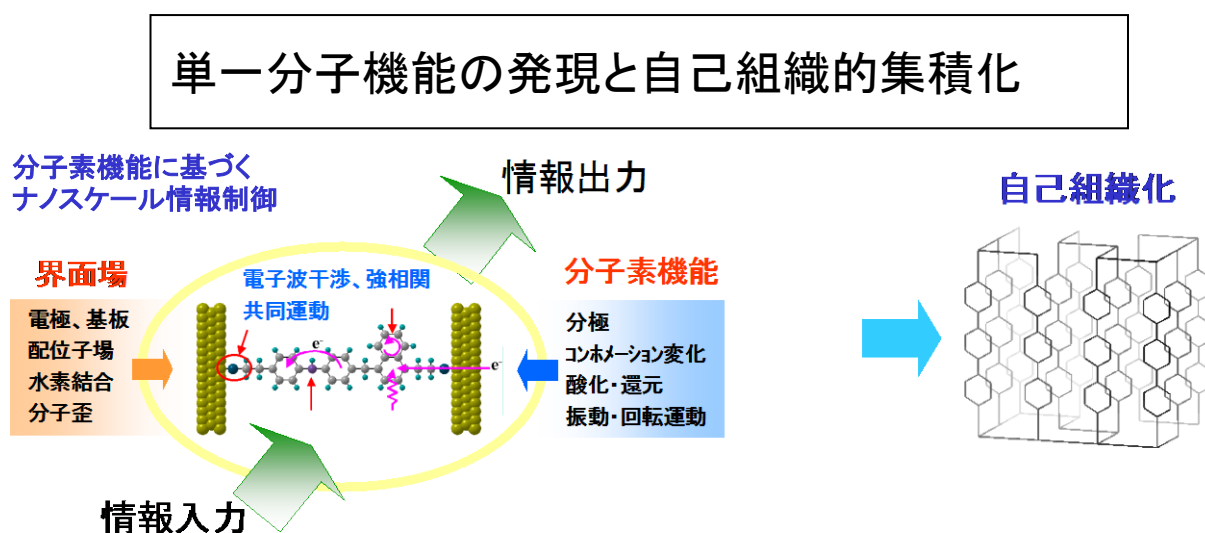
秘書 野木 由美子

研究概要

1. 分子エレクトロニクスの基礎概念

半導体を用いた電子デバイスでは、トップダウン方式による微細化技術の研究が精力的に進められています。この微細化が極限まで達したあと、その先の進むべき道は、まだ明らかではありませんが、有力な方向として、ナノスケールの分子を用いた分子スケールエレクトロニクスに期待が集まっています。

電子素子の構成要素として有機分子を見ると、サイズと構造がナノスケールで厳密に定義された部品であるというだけではなく、これまでのバンド構造を基本とした電子素子の枠組みを超える、魅力的な機能を備えています。単一あるいは少数の分子で構成された系では、バリスティック伝導 (Ballistic conduction)、離散的な分子軌道が関与した共鳴トンネリング (Resonant tunneling)、電子強相関 (Electron correlation) などが重要となります。これらの過程に振動・電子励起、分子運動・コンホメーション変化、酸化・還元などが結合して、多彩な量子的伝導物性が期待できます。

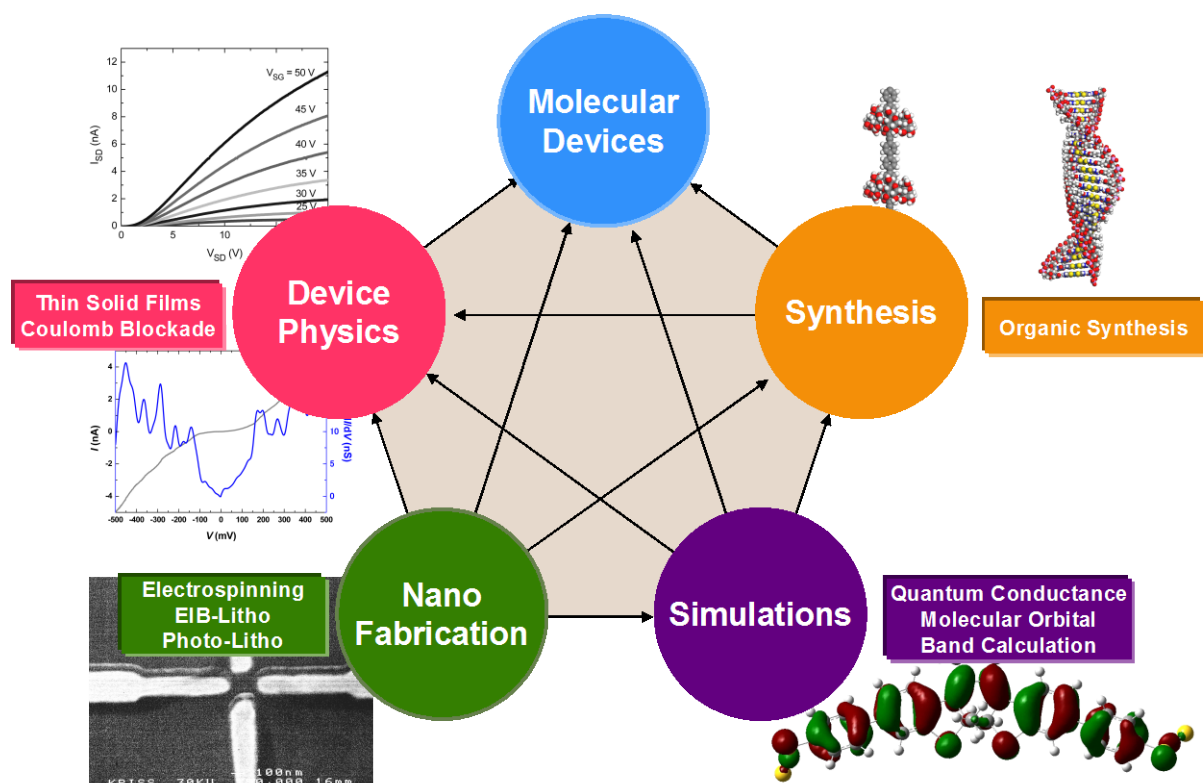


以上のように、分子スケールエレクトロニクスは、基礎から応用まで学問的に深く広がりがある魅力あるテーマですが、分子の機能を引き出すには、分子で素子構造を作る必要があります。私達は、分子設計・合成、デバイスの作製・評価、微細加工、シミュレーション、およびナノスケール物性を総合的に研究し、ナノスケールで動作する単分子素子を作ることを目指しています。主な材料には有機分子を用いていますが、新しい機能の付与を目指して、DNAをはじめとする生体分子やナノパーティクルを組み合わせています。

2. トップダウンとボトムアップの融合

単分子エレクトロニクスの実現には、トップダウン法とボトムアップ法の両面からの研究が必要です。ボトムアップ法では、数十ナノメートルの電極間距離を持つナノ電極を作製して、ナノ電極間に分子やナノパーティクルを挟み込み、電気特性を測定しています。また、DNA 分子の自己組織性に着目し、その電子物性、構造をナノスケールで制御することで、分子デバイスの構築を試みています。

ボトムアップ方式により作った分子組織体をマクロスコピックな電極に結合するためには、リソグラフィなどのトップダウンテクノロジーとの融合が必要になります。電子線描画装置やナノトランスファープリンティング法を用いた電極形成を行っています。さらに有機電界効果トランジスタ (O F E T) や有機電気化学トランジスタをはじめとする有機デバイスの作製・評価を行っています。

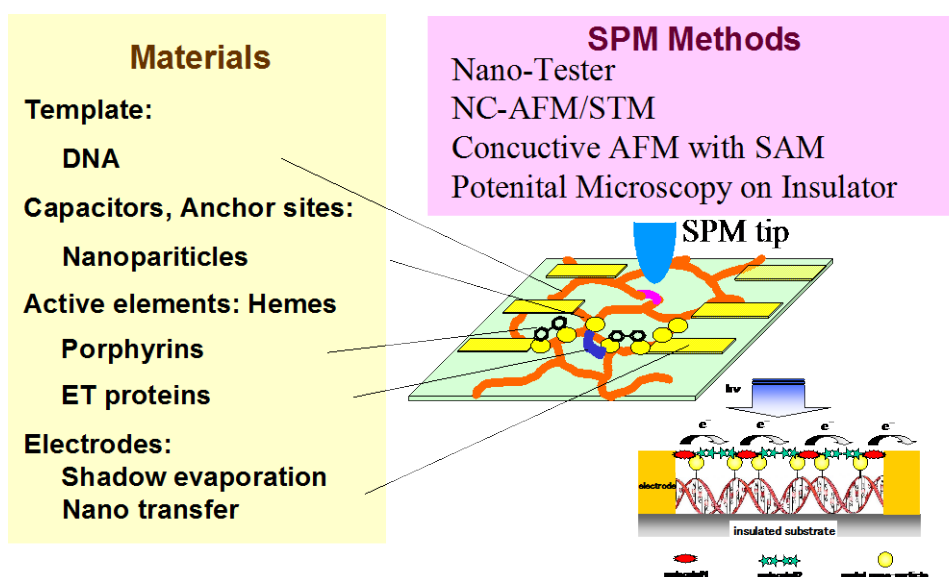


これらの方法を駆使して作製した素子の動作状態を分子レベルで把握するためには、走査プローブ顕微鏡の技術が必要です。ナノデバイスの評価に特化した特殊な走査プローブ顕微鏡の手法開発を行っています。

我々のグループでは、分子や分子集合体の電子的特性だけでなく、これら周辺技術まで含めた研究を展開しています。

3. 自己組織化を利用した分子デバイスの構築

個々の分子の特性が現れる自己組織化型デバイスとして、DNAをはじめとするバイオ分子の自己組織的構造形成機能に着目して、ネットワーク型分子デバイスの構築を行っています。現在、自己組織化、少数分子の電子物性、電極作製方法の開発、プローブ顕微鏡による計測手法の開発など、自己組織化型分子デバイスに必要となる各要素の研究を進めています。これらを統合してデバイスプロトタイプを作成し、電子機能を発現させるのが目標です。

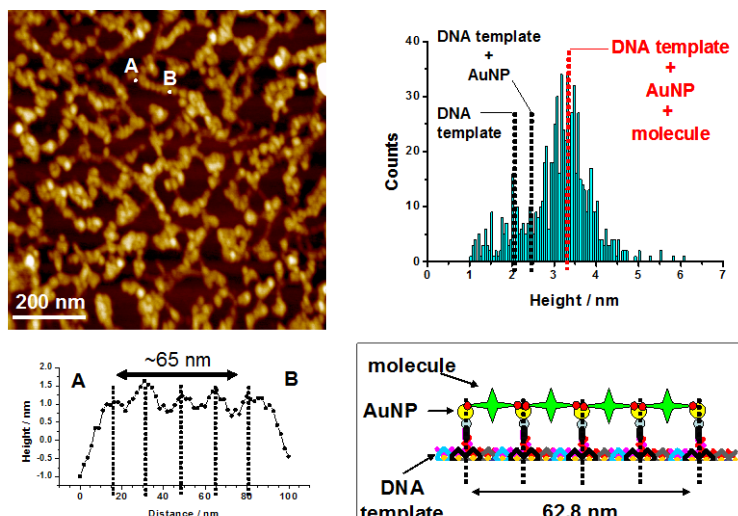


バイオ分子を利用したネットワーク型分子デバイスの概念図

4. シーケンシャル自己組織化による分子アレイの構築

松本卓也

これまでの自己組織的構造体形成の研究には、溶液中に構造体の構成要素を投入し、溶液中あるいは、キャストの過程で一挙に自己組織化を行うもの（one pot process）が多い。しかし、極めて異質な複数の物質（材料）で構成される分子デバイスを形成するには、段階的で逐次反応的な自己組織化（シーケンシャル自己組織化）が必要



シーケンシャル自己組織化による分子アレー

である。シーケンシャル自己組織化を実現していくための設計指針は未だ確立していないが、重要な条件として、

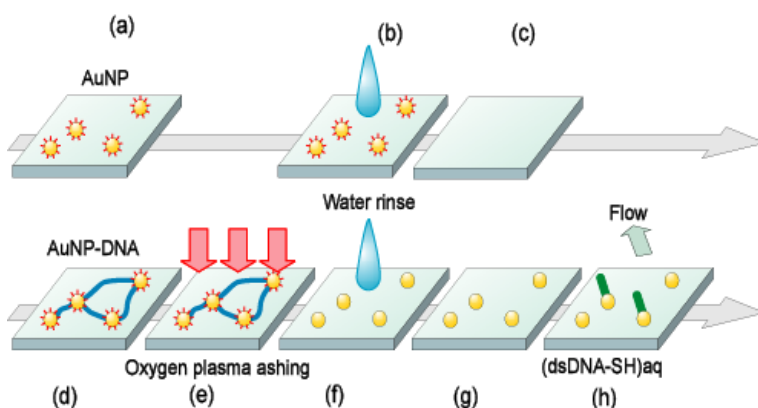
① 前段階の構造を保持して（必要なものだけ残して）、次のステップの構造形成が行われること。

② 次段階の物質導入が適切に行える反応性を有すること。

が必要である。これらの条件を満たすために、DNA 構造体とトリフェニルホスフィンをサーファクタントとする脂溶性金微粒子を用いて、色素分子アレイの形成を行った。図は AFM 画像およびその高さ解析の結果である。およそ 16 nm 周期の規則正しい線状構造が観察される。

5. プラズマプロセスを用いたシーケンシャル自己組織化 松本卓也

金微粒子が水溶性であるのは、水に水和できる置換基を有するサーファクタントで表面を覆われているためである。そこで、酸素プラズマの照射により、サーファクタントを除去した。その結果、金微粒子は基板に強く吸着し、水溶液でリンスしても、微粒子の配列構造は保たれるようになった。また、サーファクタントを取り除けば、チオールなど第3の分子に対する反応活性が高まることがわかった。

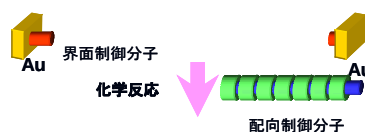


自己組織化配線法を用いた光スイッチングデバイスの特性解析

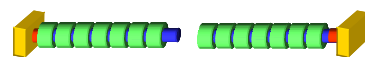
谷口 正輝

自己組織化配線法を用いて開発した光スイッチングデバイスのスイッチング特性と電気伝導機構を調べた。自己組織化配線法は、異なる機能がプログラムされた3種類の分子を化学結合により電極間に逐次的につなげていく自己組織的な方法である。光スイッチが ON 状態の温度特性を測定したところ、スチルベンが機能分子として導入された分子ワイヤと同様に、伝導機構は熱活性型であり、高温領域における活性化エネルギーは 117 meV であった。配向制御分子の分子長が長いため、配向制御分子における伝導機構はホッピングと考えられ、分子ワイヤ全体の伝導機構は配向制御分子のホッピング伝導に支配される。その結果、光スイッチング分子が導入された分子ワイヤでホッピング機構

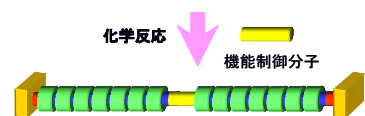
Step 1: 電極と界面制御分子の結合



Step 2: 配向制御分子と界面制御分子の結合



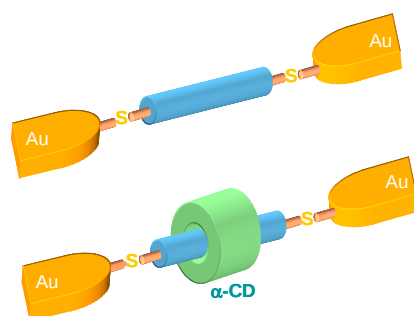
Step 3: 機能制御分子と配向制御分子の結合



が観測され、スチルベン分子を機能分子とする分子ワイヤと同程度の活性化エネルギーが得られたと考えられる。

シクロデキストリン被覆による分子ワイヤの電子状態変化 谷口 正輝

分子ワイヤの電子状態と電気伝導における α -CD の被覆の効果を、第一原理計算と Green 関数法により調べた。今回用いた分子ワイヤでは、 α -CD と分子ワイヤの間には、電子的な相互作用は小さいが、被覆することにより分子ワイヤの分子構造が変えられる。分子ワイヤが α -CD に被覆されることにより、分子軌道のエネルギーが安定化されるが、HOMO-LUMO ギャップは変化しないのが特徴である。分子の構造変化と分子軌道エネルギーの安定化の結果、電子の透過率の絶対値と透過率の極大値を与えるエネルギー値が変化することが α -CD の被覆の効果である。長い分子ワイヤを α -CD で被覆すると、被覆された部分の分子構造が変化し、被覆された部分のポテンシャルエネルギーが局所的に安定化されるため、分子ワイヤ上を α -CD が移動すると分子ワイヤの電気伝導が変化すると期待される。従って、 α -CD を外場によって動かすことができれば、新しい分子スイッチが創製される可能性がある。



カルコゲン原子を用いた電極－分子界面の制御 谷口 正輝

金－チオール結合は、自己組織化膜の形成、DNA や蛋白質などの生体分子の標識、および単分子デバイスにおける電極と分子の接合形成等々に広く用いられてきた非常に重要な結合である。しかし、金－チオール結合は、単分子デバイスにおけるデバイス特性にとっては有利ではないということが、単分子デバイスの開発が盛んになった当時から指摘があった。単分子、あるいは少数分子の電気伝導やデバイス特性において量子伝導を実現し、ナノ分子エレクトロニクスを発展させるためには、電極－分子結合の高い安定性と電極から分子への低い電荷注入障壁を満たす電極－分子界面を開発することが不可欠である。そこで、量子伝導を示す分子デバイスの開発に適した電極－分子接合を開拓するため、Au－S、Au－Se、および Au－Te 結合を 3 つのベンゼン誘導体を用いて、XPS 測定と UPS 測定を用いて調べた。Au－S 結合と Au－Se 結合は安定に形成される。Au－Te 結合は金基板上で形成されるものの、テルル酸化物が生成されるため、Au－Te 結合は分子デバイスには不適切である。一方、Au－S 界面と Au－Se 界面を比較したところ、分子の HOMO へのホール注入障壁が Au－Se 界面の方が小さく、より低い電圧で大きな電流値が得られると期待される。従って、Au－S 結合、Au－Se 結合、および Au－Te 結合の中では、Au－Se 結合が分子デバイスに最も適した結合であることが明らかとなった。

論文

1. Optical Rotation Inversion of Porphyrin-DNA Complexes
Ch. Takatoh, T. Matsumoto, T. Kawai, T. Shitoh, K. Takeda
Tetrahedron Lett. 47, (2006), 519-522.
2. Single Molecular Morphology of Porphyrin / DNA Complex
Ch. Takatoh, T. Matsumoto, T. Kawai, T. Saitoh, K. Takeda
Chem. Lett. 35, (2006), 88-89.
3. Giant Porphyrin Wheels With Large Electronic Coupling as Models of Light Harvesting Photosynthetic Antenna
T. Hori, N. Aratani, A. Takagi, T. Matsumoto, T. Kawai, Min-Chul Yoon, Zin Seok Yoon, Sung Cho, Dongho Kim, A. Osuka
Chem. Eur. J. 12, (2006), 1319-1327.
4. Atomic Force Microscopic Observation of Escherichia Coil Ribosomes in Solution
T. Matsuura, Hiro. Tanaka, T. Matsumoto, T. Kawai
Biosci. Biotechnol. Biochem., 70, (2006), 300-302.
5. Porphyrin Molecules Working as Nanodevice on Single-Walled Carbon Nanotube Wiring.
H. Tanaka, T. Yajima, T. Matsumoto, Y. Otsuka, T. Ogawa
Adv. Materials. 18, (2006), 1411-1415.
6. A Directly Fused Tetrameric Porphyrin Sheet and Its Unique Electronic Properties That Arise from The Planar Yclooctatetraene Core.
Y. Nnakamura, N. Aratani, H. Shinokubo, A. Takagi, T. Kawai, T. Matsumoto, Zin Seok Yoon, Deok Yun Kim, Tae Kyu Ahn, Dongho Kim, A. Muranaka, N. Kobayashi, A. Osuka
J. Am. Chem. Soc., 128, (2006), 4119-4127.
7. (Fe, Mn)₃O₄ Nanochannels Fabricated by AFM Local Oxidation Nanolithography Using Mo/poly(methyl. Methadrylate) Nanomasks.
L. Pellegrino, Y. Yanagisawa, M. Ishikawa, T. Matsumoto, Hid. Tanaka, T. Kawai
Adv. Materials, 18, (2006), 3099-3104.
8. Characteristics of Electrochemical Transistors
M. Taniguchi, T. Kawai
Mol. Cryst. Liq. Cryst., 444, (2006), 61-66.

9. Time-Resolved Electrical Conductance Spectroscopy of Chemical Reactions on Nano-Space
K. Yokota, M. Taniguchi, T. Kawai
Chem. Phys., 330, (2006), 184-189.
10. Effect of α -Cyclodextrin on Electronic Properties of Molecular Wires
M. Taniguchi, T. Kawai
Chem. Phys. Lett., 431, (2006), 127-131.
11. Self-Organized Interconnect Method for Molecular Devices
M. Taniguchi, Y. Nojima, K. Yokota, J. Terao, K. Sato, N. Kambe, T. Kawai
J. Am. Chem. Soc., 128, (2006), 15062-15063 (Communication).
12. Photoconductive Coaxial Nanotubes of Molecularly Connected Electron Donor and Acceptor Layers
Y. Yamamoto, T. Fukushima, Y. Suna, N. Ishii, A. Saeki, S. Seki, S. Tagawa, M. Taniguchi, T. Kawai, T. Aida
Science, 314, (2006), 1761-1764.
13. 電子構造計測から探るDNA分子内の電荷移動機構
加藤浩之、古川雅士、初井宇紀、谷口正輝、川合知二、小杉信博、川合真紀
表面科学, 27-8, (2006), 469-474.

解説

1. プログラム自己組織化によるナノ材料・ナノデバイスの創成、
小嶋薫、安立京一、李奉局、李恵りょん、谷口正輝、松本卓也、川合知二
表面科学, 27, (2006)151-156.
2. DNA electronics (Review Article)
M. Taniguchi, T. Kawai
Physica E, 33, (2006), 1-12.

国際会議

1. Molecular Electronics using Biological Materials
T. Matsumoto, T. Kawai
Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium
Jan. 30-Feb.1, (2006), Osaka, Japan
2. Immobilization of Ribosomes on Solid Surfaces and SPR Monitoring of The Protein Biosynthesis
T. Matsuura, Hiro. Tanaka, T. Matsumoto, T. Kawai
Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium
Jan. 30-Feb.1, (2006), Osaka, Japan
3. ★Influence of Sequences and Salts on Electrical Conductivity
M. Taniguchi, T. Kawai
CREST workshop on Physics of single molecules; Transport properties of single molecules, atomic wires and DNA
May 16-18, (2006), Shonan, Japan
4. Time-resolved scanning force microscopy
T. Matsumoto, T. Kawai
9th International Conference on Non-contact Atomic Force Microscopy
July 16-20, (2006), Kobe, Japan
5. Surface Potential Microscopy of Adsorbates on Insulating Materials: Imaging and Modeling
F. Yamada, Ch. Takatho, T. Matsumoto, T. Kawai
9th International Conference on Non-contact Atomic Force Microscopy
July 16-20, (2006), Kobe, Japan
6. Electrical Transport of Molecular Nanomaterials and interfaces Probed by Point-contact Current-imaging Atomic force Microscopy
T. Matsumoto, Y. Otsuka, A. Terawaki, T. Tabuchi, T. Yajima, H. Tanaka, H. Tabata, T. Ogawa, T. Kawai
International Conference on Nanoscience and Technology NANO9 meets STM'06
July30-Aug.4, (2006), Basel, Switzerland
7. Anchoring Gold Nanoparticles onto Mica Surface by Oxygen Plasma Ashing for Sequential

Nanocomponent Assembly

A.Takagi, K.Ojima, E.Mikamo, T.Matsumoto, T.Kawai

International Conference on Nanoscience and Technology NANO9 meets STM'06

July30-Aug.4, (2006), Basel, Switzerland

8. Structuring One-dimensional Molecular Array Based on Sequential Self-assembly

K.Ojima, K.Adachi, M.Taniguchi, T.Matsumoto, T.Kawai

International Conference on Nanoscience and Technology NANO9 meets STM'06

July30-Aug.4, (2006), Basel, Switzerland

9. Surface Potential Microscopy of Adsorbates on Insulating Substrate

F.Yamada, C.Takato, T.Matsumoto, T.Kawai

International Conference on Nanoscience and Technology NANO9 meets STM'06

July30-Aug.4, (2006), Basel, Switzerland

10. Molecular-Scale Electrical Properties of DNA-templated Porphyrin Arrays

C.Takato, T.Matsumoto, T.Kawai, K.Takada, T.Saitoh

International Conference on Nanoscience and Technology NANO9 meets STM'06

July30-Aug., (2006), Basel, Switzerland

11. ★Electrical Property of Non-Doped DNA and DNA-Templated Molecular Assays

T.Matsumoto, T. Kawai

2006 Osaka Univ./LANL International Workshop on “The 2nd Nanoelectronics and Dynamics of DNA”

Aug.21-22, (2006), Hawaii, U.S.A.

12. ★Influence of Sequences and Salts on Electrical Conductivity

M. Taniguchi, T. Kawai

2006 Osaka Univ. / LANL International Workshop on “The Nanoelectronics and Dynamics of DNA”

August 21-22, (2006), Hawaii, U.S.A.

13. ★Conductivity of Biomolecular Nanostructures

T. Matsumoto, T. Kawai

Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium 2006/11/27

Nov. 20-22, (2006), Osaka, Japan

14. Single molecule recognition imaging by frequency shift detection in liquids

T. Kawahara, T. Matsumoto, H. Hokonohara, T. Kawai
The 14th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy,
Dec. 7-9, (2006), Atagawa, Japan

15. Time-Resolved Electrostatic Force Detection

T. Matsumoto, T. Kawai
The 14th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy,
Dec. 7-9, (2006), Atagawa, Japan

16. Dynamic KFM/EFM Detecting a Potential by Frequency Shift with Amplitude Feedback

A. Takagi, F. Yamada, T. Matsumoto, T. Kawai
The 14th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy
Dec. 7-9, (2006), Atagawa, Japan

国内会議

1. ★分子エレクトロニクスにおけるナノトランスファープリンティングに重要性

松本卓也

神奈川科学技術アカデミー (KAST) 平成 17 年度 KAST フォーラム 3

かながわサイエンスパーク 2006 年 2 月 7 日

2. 周波数モードによる分子吸着絶縁体表面の局所ポテンシャル測定

山田郁彦、高東智佳子、松本卓也、川合知二

2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会(東京)

2006 年 3 月 22-26 日

3. DNA を用いたポルフィリンアレーのナノスケール電気物性

高東智佳子、松本卓也、川合知二、斎藤孝行、武田収功

2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会(東京)

2006 年 3 月 22-26 日

4. ナノギャップ電極を用いた DNA のナノスケール電気伝導度測定

大塚洋一、松本卓也、田畑 仁、川合知二

2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会(東京)

2006 年 3 月 22-26 日

5. シーケンシャル自己組織化による分子デバイスの作製

小嶋 薫、安立京一、谷口正輝、松本卓也、川合知二
2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会(東京)
2006 年 3 月 22-26 日

6. ナノ構造体の逐次的形成のための酸素プラズマによる金微粒子のマイカ基板への
固定化
高木昭彦、小嶋 薫、美甘江利子、松本卓也、川合知二
2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会 (東京)
2006 年 3 月 22-26 日

7. 分子デバイスの自己組織化配線法の開発
谷口正輝、野島義弘、横田一道、寺尾潤、佐藤公彦、神戸宣明、川合知二
2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会 (東京)
2006 年 3 月 22-26 日

8. ★ナノスケール電気伝導：フタロシアニン、DNA、チトクロム c
松本卓也
物性研究所短期研究会「有機物質のナノ電子物性」(千葉)
2006 年 4 月 24-26 日

9. ★有機分子を用いたスイッチングデバイスの開発
谷口正輝・川合知二
環境資源工学会第 116 回例会 (京都)
2006 年 6 月 15 日

10.★有機・バイオ材料のナノスケール電子機能測定
松本卓也
有機ビジネステクニカルセミナー オルガテクノ 2006 (横浜)
2006 年 7 月 25 日

11.★プログラム自己組織化によるナノ材料・ナノデバイスの作成
松本卓也
自己組織化現象におけるメカニズムと物性制御および応用動向(東京)
2006 年 7 月 26 日

12.シーケンシャル自己組織化による異種物質間ナノスケール構造の作製
松本卓也、小嶋 薫、高木昭彦、大塚洋一、山田郁彦、川合知二
2006 年秋季 第 67 回応用物理学会学術講演会 (草津)

2006 年 8 月 29 日～9 月 1 日

13.周波数検出による水溶液中のタンパク質分子の画像化

松本卓也, 河原敏男, 山口 瞳, 川合知二

2006 年秋季 第 67 回応用物理学会学術講演会 (草津)

2006 年 8 月 29 日～9 月 1 日

14.分子磁石 Mn₁₂ 核錯体と DNA 複合体の作成

山田郁彦, 黒田孝義, 松本卓也, 川合知二

2006 年秋季 第 67 回応用物理学会学術講演会 (草津)

2006 年 8 月 29 日～9 月 1 日

15.有機溶媒中における DNA の STM 測定

松浦 寛, 鈴木光治, 高木昭彦, 松本卓也, 川合知二

2006 年秋季 第 67 回応用物理学会学術講演会 (草津)

2006 年 8 月 29 日～9 月 1 日

16.DNA における塩基配列とカウンターイオンの電気伝導への影響

谷口正輝・川合知二

日本物理学会秋季大会(千葉)

2006 年 9 月 23-26 日

17.自己組織化配線法を用いたナノ分子デバイス

谷口正輝・野島義弘・横田一道・寺尾潤・佐藤公彦・神戸宣明・川合知二

分子構造総合討論会 (静岡)

2006 年 9 月 20-23 日

18.時間分解された単分子電気伝導による化学反応の検出

横田一道・谷口正輝・川合知二

分子構造総合討論会 (静岡)

2006 年 9 月 20-23 日

19.被覆共役分子によるナノ電極への新規単一分子結線法の開発

寺尾潤・佐藤公彦・神戸宣明・谷口正輝・野島義弘・川合知二

第 24 回シクロデキストリンシンポジウム (東京)

2006 年 10 月 12-13 日

20.★水溶液中局所電荷測定法の開発

松本卓也、川合知二

第三回バイオオプティクス研究会「バイオとオプティクスの融合」(東京)

2006 年 10 月 13 日

21.★両極性 FET の開発

谷口正輝

和歌山県工業技術センター・(財)わかやま産業振興財団「有機半導体研究会」(和歌山)

2006 年 11 月 10 日

22.★絶縁体表面における表面電気ポテンシャル測定

松本卓也

日本顕微鏡学会、走査型プローブ顕微鏡分科会 平成 18 年度研究会

「原子間力顕微鏡による電位計測－ケルビン力顕微鏡は何をみているのか?－」(京都)

2006 年 12 月 12 日

特許

「金ナノ微粒子の固定化法」

小嶋薫、高木昭彦、山田郁彦、松本卓也、川合知二：特願 2 0 0 6－0 7 7 0 5 9

出願日： 平成 1 8 年 3 月 2 0 日

「磁気抵抗素子およびその製造方法、並びにその利用」

松本卓也、山田郁彦、黒田孝義、川合知二：特願 2 0 0 6－2 9 9 0 3

出願日： 平成 1 8 年 8 月 2 5 日

“Method and apparatus for measuring and evaluating local electrical characteristics of a sample having a nano-scale structure”

Takuya Matsumoto, Yoichi Otsuka, Yasuhisa Naitoh, Tomoji Kawai : 国際出願番号 PTC/JP03/03729, 登録番号 US 7,088,120 B2

公開日 Aug. 8, 2006

“Probe device”

Takuya Matsumoto, Ysuhisa Naitoh, Tomoji Kawai :US. Pat. 国際出願番号 PTC/JP03/03728

公開日 October 31, 2006

“Microelectrode Manufacturing Method and Microelectrode Manufactured by The Microelectrode Manufacturing Method”

Takuya Matsumoto, Shinji Matsui, Kenichiro Nakammatsu, Kaoru Ojima, Tomoji Kawai : 国際出願番号PCT/JP2005/005584, 国際公開番号WO 2006/035524A1
公開日 April 6, 2006

『自己組織化材料または微粒子を基板上に固定化する方法、および当該方法を用いて作製した基板』

Tomoji Kawai, Hitoshi Tabata, Yoichi Otsuka, Fumihiko Yamada, Takuya Matsumoto : 国際出願番号 PCT/JP2005/023981, 国際公開番号 WO 2006/070841 A1
公開日 July 6, 2006

学会委員など

松本 卓也

1. 科学研究費委員会専門委員
2. 日本表面科学会編集委員

共同研究

松本 卓也

1. 兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 松井 真二
「ナノスケールフラット電極の作製」
2. 京都大学 理学研究科 大須賀 篤弘
「巨大ポルフィリンアレーの物性」
3. 自然科学研究機構 分子科学研究所 田中啓文、小川 琢治
「電流画像化原子間力顕微鏡」

谷口 正輝

1. 大阪大学大学院工学研究科 神戸研究室
2. 大阪大学大学院基礎工学研究科 川野研究室
3. 熊本大学工学部 黒田研究室

科研費、助成金等

- 松本 卓也 科学研究費補助金、基盤研究(B)(2)
「ストロボスコピック・プローブ顕微鏡の開発と光電子移動の単分子レベル時間分解画像化」
- 松本 卓也 科学研究費補助金 特定領域研究「光機能界面の学理と技術」
- 松本 卓也 科学研究費補助金 特定領域研究「分子スピン」
- 松本 卓也 科学技術振興機構、戦略的基礎研究
「巨大ポルフィリンアレーのメゾスコピック構造デバイス」
- 松本 卓也 財団法人小笠原科学技術振興財団
「イオン性ポリマーを用いた自己組織化ナノ分子アレーによる磁気抵抗デバイス」
- 松本 卓也 松下電器産業
「プローブ顕微鏡による Si ナノワイヤーの電子物性評価」
- 谷口 正輝 科学研究費補助金、若手研究（B）
「分子デバイス配線法の開発」
- 谷口 正輝 科学研究費補助金、特定領域研究
「分子—電極接合の界面制御技術の開発」
- 谷口 正輝 信越化学工業株式会社
「ポリマーFETの開発」
- 谷口 正輝 松下電器産業
「被覆共役分子を用いた新規機能性材料の開発」
- 谷口 正輝 関西エネルギーリサイクル科学財団
「電界効果トランジスタ型有機分子レーザーの創製」

大阪大学・産業科学研究所

超分子プロセス分野

所在地 〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1 FAX 06-6879-8496, 8499

構成

教授 真嶋 哲朗 (Tetsuro Majima) TEL:06-6879-8495,

E-mail:majima@sanken.osaka-u.ac.jp

助教授 川井 清彦 (Kiyohiko Kawai) TEL:06-6879-8499,

E-mail:kiyohiko@sanken.osaka-u.ac.jp

助手 滝澤 忍 (Shinobu Takizawa) TEL:06-6879-8466,

E-mail:taki@sanken.osaka-u.ac.jp

特任助手 竹中 和浩 (Kazuhiro Takenaka) TEL:06-6879-8466,

E-mail:takena@sanken.osaka-u.ac.jp

学生 D3: 川瀬、D1: 井上、小阪田、M2: 1 名、M1: 2 名

研究概要

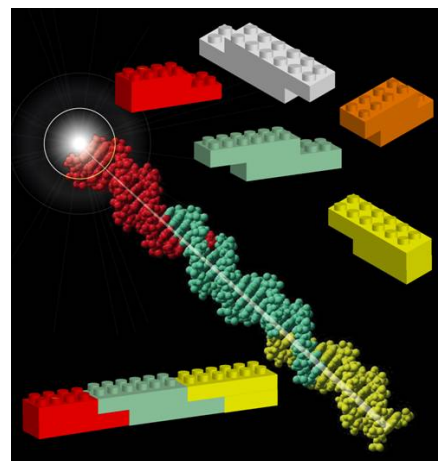
当研究分野では、光・電子機能、分子認識、触媒作用、高次構造、機能集積などの機能性分子の機能解明に基づいて、機能性有機分子、高分子、生体分子などの設計・合成・集合化・組織化を達成し、高機能分子材料の創製、その機能発現機構や作用機構の解明、あるいは高機能分子、多機能分子や分子材料の創製のプロセス開発など産業応用化を目指して研究を行っている。特に、DNA が配列情報をもとに様々な構造を構築可能であることおよび DNA 内を電荷が移動可能であることを利用した、DNA 分子センサーの構築に関する研究を行っている。DNA ナノブロックを利用した DNA センサーの開発、DNA 中における高効率光電荷分離系の構築に関して検討しており、同時に DNA 内光電荷分離の生体影響の解明を行っている。

また、新しい触媒的不斉合成法の開発とその反応メカニズムの解明に積極的に取り組み、酵素的な作用機序で働く多機能不斉触媒の開発研究を行っている。さらに開発した多機能不斉触媒をナノ粒子化した高活性固定化触媒の開発およびリサイクルプロセスの構築を推進している。

DNA ナノブロックを利用した DNA 分子センサーの開発

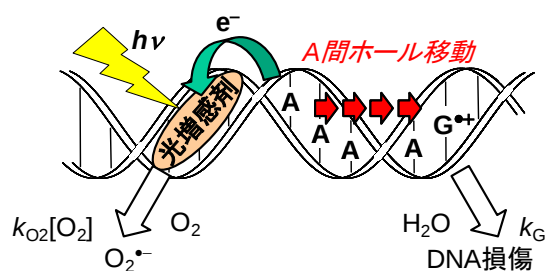
DNA の酸化により DNA 中に生じた正電荷(ホール)が、DNA を長距離にわたり移動することが明らかになり、その生物学的影響、また DNA をセンサーとして応用する観点から注目を集めている。これまでに我々は、DNA 中の長距離ホール移動の観測

に成功し、ホール移動速度から DNA 中に生じたミスマッチの検出が可能であることを報告した。本研究では、DNA 内電荷移動速度から SNPs（一塩基多型）を読み出す DNA センサーを開発するため、DNA ナノブロックを利用した DNA 中の電荷移動について検討した。診断を行う配列に直接煩雑な化学修飾を行わなくて良いように、診断したい配列を一つのブロックとして、これに電荷注入ブロック、電荷検出ブロックを混合することにより電荷移動速度を読み出すことを検討した。混合するだけでブロック同士が結合するためには、結合部位が熱力学的に安定であり、かつ電荷が速く移動する必要がある。そこで、CG 繰り返し中の電荷移動速度をもとめたとこ高速に移動することがわかり、CG 繰り返し配列をもとに DNA ナノブロックの連結部位を設計した。その結果、診断ブロックを電荷注入ブロック、電荷検出ブロックと混合するだけで電荷移動速度から診断ブロックの情報を読み出すことに成功した。



光増感 DNA 損傷機構の解明

これまでに我々は、光増感 DNA 酸化損傷において DNA 中の電荷移動による電荷分離状態の生成が DNA 損傷を促進することを明らかにした。今回、光増感剤として Naphthalimide および Naphthaldiimide を修飾した DNA を合成し、レーザーフラッシュフォトリシスを用いた電荷分離寿命の測定、および HPLC による DNA 損傷の定量を行い DNA 損傷機構について、速度論的に検討した。損傷効率を両光増感剤で比較すると、Naphthalimide の方がより効率よく DNA 損傷を引き起こすことがわかった。不可逆的な反応は、逆電子移動の前にラジカルアニオンと酸素の反応、あるいはグアニンラジカルカチオンと水、酸素の反応が起こることにより引き起こされる。電荷分離の際に生じる光増感剤ラジカルアニオンと酸素の反応速度をそれぞれ測定したところ、Naphthalimide のラジカルアニオンと酸素の反応速度が Naphthaldiimide のラジカルアニオンと酸素の反応速度に比べ倍速いことが判明し、光増感剤ラジカルアニオンと酸素の反応速度が DNA 損傷の効率の鍵を握っていることが明らかになった。また、光増感 DNA 酸化損傷において初期的にアデニンが酸化されることの重要性を調べるため、種々の光増感剤を合成し DNA 損傷効率を調べた。DNA の損傷効率は、光増感剤が光励起に伴いアデニンを酸化できる場合에만、アデニン連続配列選択的に高くなることが示された。レーザーフラッシュフォトリシスを用いた速度論的検討から、アデニン連続配列のアデニン酸化が DNA 内電荷移動を経て長寿命電荷分離状態を生成することにより DNA 損傷を促進することが明らかになった。

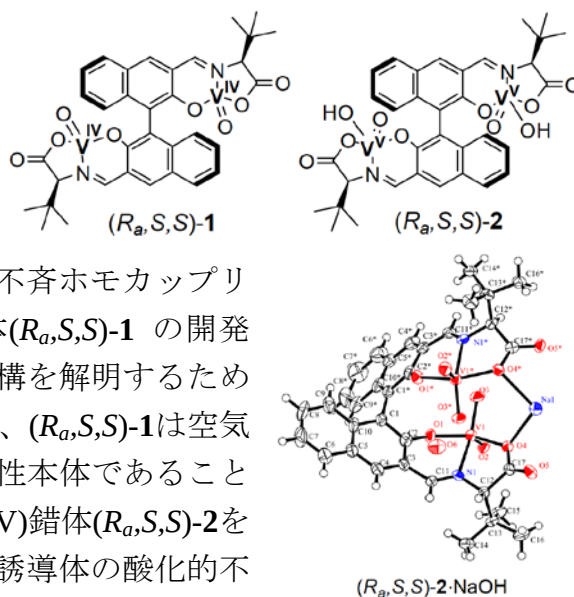


多機能不斉金属ナノ触媒の開発

同一分子内の二つの活性中心がそれぞれ二つの反応基質を活性化し、同時に配向制御する不斉二核金属触媒の創製研究

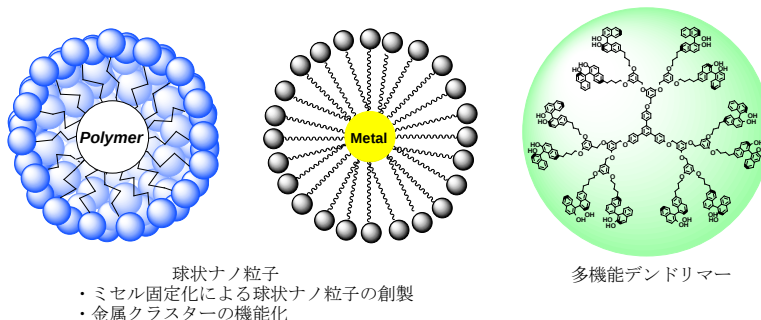
に取り組み、2-ナフトール誘導体の酸化的不斉ホモカップリング反応に有効な二核バナジウム(IV)錯体(R_a,S,S)-**1**の開発に成功している。本カップリング反応の機構を解明するために、バナジウム触媒をSQUID測定した結果、(R_a,S,S)-**1**は空気酸化を受けやすく、バナジウム(V)錯体が活性本体であることが示唆された。そこで、二核バナジウム(V)錯体(R_a,S,S)-**2**を調製し、それを触媒に用いた2-ナフトール誘導体の酸化的不斉ホモカップリング反応について検討を行った。(R_a,S,S)-**2**は、

3,3'-diformyl-(R)-BINOLと(S)-*tert*-leucineより導かれるイミン体にVOCl₃を反応させ合成し、元素分析, IR, ¹H-, ¹³C-, ⁵¹V-NMR, XPS, XANES測定によって構造を決定した。(R_a,S,S)-**2**を2-ナフトールの不斉カップリング反応に適用したところ、30 °C、24 時間で、(S)-BINOLが96%収率、85% eeで得られ、バナジウム(IV)錯体(R_a,S,S)-**1**よりも高活性であった。尚、(R_a,S,S)-**2**は、NaOH 存在下MeOH-ether-H₂O 溶媒からNaOH 付加体として、単結晶X 線構造解析で、その分子構造を決定した。(R_a,S,S)-**2**の酸化的不斉ホモカップリング反応における溶媒効果を調べたところ、同一触媒を用いても、CH₂Cl₂中では最高90% eeでS体が、CCl₄中では最高95% eeでR体のBINOL誘導体得られ、溶媒によってエナンチオ選択性が逆転することが判明した。



機能性球状粒子の効率的合成法の開発と機能評価

触媒の回収や再利用が容易となる固定化触媒の開発は、環境調和型プロセスを構築する重要な研究課題となっている。現在、我々は、ナノ粒子表層に不斉触媒能を有する超高活性ナノ粒子固定化触媒および金属架橋型高分子触媒の効率的構築法の開発研究を行っている。界面活性モノマーの形成する球状ミセルを水中で重合反応により固定し、得られた球状ポリマーに配位子を担持することで高活性ナノ粒子触媒が得られることを見出した。また、金と硫黄の親和力を利用して、金属クラスター担持触媒を調製し、金属ナノクラスターが高活性固定触媒の固相として十分機能することを明らかにした。更なる高次機能を持つナノ粒子の合成と応用に関して、現在、検討している。



論文

“Charge Transfer through DNA Nanoscaled Assembly Programmable with DNA Building Blocks” Y. Osakada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 2006, 103, 18072-18076.

“Temperature-Driven Oxygenation Rate Control by Polymeric Photosensitizer” H. Koizumi, Y. Shiraishi, S. Tojo, M. Fujitsuka, T. Majima, T. Hirai *J. Am. Chem. Soc. (Commun.)* 2006, 128, 8751-8753.

“Rapid Long-Distance Hole Transfer through a Consecutive Adenine Sequence” T. Takada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, *J. Am. Chem. Soc. (Commun.)* 2006, 128, 11012-11013.

“In and Ex Situ Observations of the Growth Dynamics of Single Perylene Nanocrystals in Water” T. Tachikawa, H.-R. Chung, A. Masuhara, H. Kasai, H. Oikawa, H. Nakanishi, M. Fujitsuka, and T. Majima, *J. Am. Chem. Soc. (Commun.)* 2006, 128, 15944-15945.

“Single-Molecule Detection of Airborne Singlet Oxygen” K. Naito, T. Tachikawa, S.C. Cui, A. Sugimoto, M. Fujitsuka, and T. Majima, *J. Am. Chem. Soc. (Commun.)* 2006, 128, 16430-16431.

“Transannular Distance Dependence of Stabilization Energy of Intramolecular Dimer Radical Cation of Cyclophanes” M. Fujitsuka, D. W. Cho, S. Tojo, S. Yamashiro, T. Shinmyozu, and T. Majima, *J. Phys. Chem. A* 2006, 110, 5735-5739.

“Photodissociation of Naphthalene Dimer Radical Cation during the Two-color Two-laser Flash Photolysis and Pulse Radiolysis-Laser Flash Photolysis” X. Cai, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, *J. Phys. Chem. A* 2006, 110, 9319-9324.

“Properties and Reactivity of Xanthyl Radical in the Excited State” M. Sakamoto, X. Cai, M. Fujitsuka, and T. Majima, *J. Phys. Chem. A* 2006, 110, 9788-9792.

“Solvent Effect on the Deactivation Processes of Benzophenone Ketyl Radicals in the Excited State” M. Sakamoto, X. Cai, M. Fujitsuka, and T. Majima, *J. Phys. Chem. A* 2006, 110, 11800-11808.

“The S-S bond mesolysis in α,α -dinaphthyl disulfide radical anion generated upon γ -ray and pulse radiolyses in organic solution” M. Yamaji, S. Tojo, K. Takehira, S. Tobita, M. Fujitsuka, and T. Majima, J. Phys. Chem. A 2006, 110(50), 13487-13491.

“Intramolecular Exciplex and Intermolecular Excimer Formation of 1,8-Naphthalimide-linker-Phenothiazine Dyads” D. W. Cho, M. Fujitsuka, K. H. Choi, M. J. Park, U. C. Yoon, and T. Majima, J. Phys. Chem. B 2006, 110, 4576-4582.

“Intramolecular Electron Transfer from Axial Ligand to S_2 -Excited Sb-Tetraphenylporphyrins” M. Fujitsuka, D. W. Cho, T. Shiragami, M. Yasuda, and T. Majima, J. Phys. Chem. B (Lett.) 2006, 110, 9368-9370.

“Photoinduced Electron Transfer Processes in 1,8-Naphthalimide-linker-Phenothiazine Dyads” D. W. Cho, M. Fujitsuka, A. Sugimoto, U. C. Yoon, P. S. Mriano, and T. Majima, J. Phys. Chem. B 2006, 110, 11062-11068.

“Singlet Energy Migration along Alternating Block Copolymer of Oligothiophene and Oligosilylene in Solution” M. Fujitsuka, D. W. Cho, J. Ohishita, A. Kunai, and T. Majima, J. Phys. Chem. B 2006, 110(25), 12446-12450.

“Visible Light-Induced Degradation of Ethylene Glycol on Nitrogen-doped TiO_2 Powders” T. Tachikawa, Y. Takai, S. Tojo, M. Fujitsuka, H. Irie, K. Hashimoto, and T. Majima, J. Phys. Chem. B 2006, 110(26), 13158-13165.

“Emission from charge recombination during the pulse radiolysis of arylethynylpyrenes” S. Samori, S. Tojo, M. Fujitsuka, S.-W. Yang, T.-I. Ho, J.-S. Yang, and T. Majima, J. Phys. Chem. B 2006, 110(26), 13296-13303.

“Photoinduced Charge Separation on the Titania Nanotube” T. Tachikawa, S. Tojo, M. Fujitsuka, T. Sekino, and T. Majima, J. Phys. Chem. B (Lett.) 2006, 110, 14055-14059.

“Detection of the Local Structural Changes in the Dimer Interface of *Bam*HI Initiated by DNA Binding and Dissociation Using a Solvatochromic Fluorophore” K. Nakayama, M. Endo, M. Fujitsuka, and T. Majima, J. Phys. Chem. B 2006, 110, 21311-21318.

“Probing the Surface Adsorption and Photocatalytic Degradation of Catechols on the TiO_2 by Solid-State NMR Spectroscopy” T. Tachikawa, Y. Takai, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, Langmuir (Lett.) 2006, 22, 893-896.

“Acceleration and Deceleration of Laser Induced Formation of Gold Nanoparticles in a PVA Film” M. Sakamoto, T. Tachikawa, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Langmuir* 2006, 22(14), 6361-6366.

“Reactivity of Triaryphosphine Peroxyl Radical Cations Generated through the Reaction of Triaryphosphine Radical Cations with Oxygen” S. Tojo, S. Yasui, M. Fujitsuka, and T. Majima, *J. Org. Chem.* 2006, 71, 8227-8232.

“Emission from charge recombination during the pulse radiolysis of 9-cyano-10-phenylethynylantracenes with donor and acceptor substituents” S. Samori, S. Tojo, M. Fujitsuka, H.-J. Liang, T.-I. Ho, J.-S. Yang, and T. Majima, *J. Org. Chem.* 2006, 71, 8732-8739.

“High Yield Generation of Long-Lived Charge-Separated State in Diphenylacetylene-Modified DNA” T. Takada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2006, 45(1), 120-122.

“Detection of G-quadruplex-TMPyP4 Complex by 2-Aminopurine Modified Human Telomeric DNA” T. Kimura, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Chem. Comm.* 2006, 401-402.

“Probing of microenvironments in the grooves of Z-DNA using dan-modified oligonucleotides” T. Kimura, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Chem. Commun.* 2006, 1542-1544.

“Thermodynamic properties of branched DNA complexes with full-matched and mismatched DNA strands” M. Endo and T. Majima, *Chem. Commun.* 2006, 2329-2331.

“Reaction rate constant of photosensitizer radical anion with oxygen depends on the DNA damage” K. Kawai, Y. Osakada, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Chem. Commun.* 2006, 3918-3920.

“Properties of Excited Ketyl Radicals of Benzophenone Analogues Depending on the Size and Electronic Character of Aromatic Rings” M. Sakamoto, X. Cai, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Chem Eur. J.* 2006, 12, 1610-1617.

“One-Electron Redox Processes during the Polyoxometalate-Mediated TiO₂ Photocatalytic Reactions Studied by Two-color Two-laser Flash Photolysis” T. Tachikawa, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Chem. Eur. J.* 2006, 12, 3124-3131.

“Pyrene-Stacked Nanostructures Constructed in the Tobacco Mosaic Virus Rod Scaffold” M. Endo, H. Wang, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Chem Eur. J.* 2006, 12(14), 3735-3740.

“ α -Carbonyl Substituent Effect on the Lifetimes of Triplet 1,4-Biradicals from Norrish Type II Reaction” X. Cai, P. Cygon, B. Goldfuß, A. G. Griesbeck, H. Heckroth, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Chem Eur. J.* 2006, 12, 4662-4667.

“One-Electron Oxidation Pathways during β -Cyclodextrin Modified TiO₂ Photocatalytic Surface” T. Tachikawa, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Chem. Eur. J.* 2006, 12, 7585-7594.

“Two-color Two-laser Fabrication of Gold Nanoparticles in a PVA Film” M. Sakamoto, T. Tachikawa, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Chem. Phys. Lett.* 2006, 420, 90-94.

“Photophysical and photochemical properties of corannulenes studied by emission and optoacoustic measurements, laser flash photolysis and pulse radiolysis” M. Yamaji, K. Takehira, T. Mikoshiba, S. Tojo, M. Fujitsuka, Y. Okada, T. Majima, S. Tobita, and J. Nishimura, *Chem. Phys. Lett.* 2006, 425, 53-57.

“Direct Fluorescence Measurement of Excited Radical Cations of 1,3,4-Trimethoxybenzene by ns-ps Two-color Two-laser Flash Photolysis” X. Cai, P. M. Sakamoto, M. Fujitsuka, and T. Majima, *Chem. Phys. Lett.* 2006, 432, 436-440.

“Important Factors for the Formation of Radical Cations of Stilbene and Substituted Stilbenes during Resonant Two-Photon Ionization with a 266- or 355-nm Laser” S. Samori, M. Hara, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, *J. Photochem. Photobiol. A* 2006, 179, 115-124.

“Effects of Substituents on Aryl Groups during the Reaction of Triarylphosphine Radical Cation and Oxygen” S. Yasui, S. Tojo, and T. Majima, *Org. Biomol. Chem.* 2006, 4, 2969-2973.

“Formation of Pyrene Dimer Radical Cation at the Minor Groove of DNA” K. Kawai, T. Kimura, H. Yoshida, A. Sugimoto, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, Bull. Chem. Soc. Jpn. 2006, 79, 312-319.

“Development of new methods towards efficient immobilization of enantioselective catalysts” S. Takizawa, M. L. Patil, K. Marubayashi, N. Inoue, H. Sasai, Tetrahedron 2007, in press.

“Enantioselective glyoxylate-ene reaction using a novel spiro bis(isoxazoline) ligand in copper catalysis” K. Wakita, G. B. Bajracharya, M. A. Arai, S. Takizawa, T. Suzuki, H. Sasai, Tetrahedron: Asymmetry 2007, in press.

“Optical resolution of tetra-isopropyl substituted spiro bis(isoxazoline) *i*-Pr-SPRIX” S. Takizawa, J. Yogo, T. Tsujihara, K. Onitsuka, H. Sasai, J. Organomet. Chem. 2007, 692, 495-498.

“Design and synthesis of novel chiral spiro ionic liquids” M. L. Patil, C. V. L. Rao, K. Yonezawa, S. Takizawa, K. Onitsuka, H. Sasai, Org. Lett. 2006, 8, 227-230.

“Conformational lock in Brønsted acid - Lewis base organocatalyst for the aza-Morita-Baylis-Hillman reaction” K. Matsui, K. Tanaka, A. Horii, S. Takizawa, H. Sasai, Tetrahedron: Asymmetry 2006, 17, 578-583.

“Brønsted acid - Lewis base organocatalyst for the aza-Morita-Baylis-Hillman reaction” K. Matsui, S. Takizawa, H. Sasai, Synlett 2006, 761-765.

総説解説

“DNA 内の光誘起電子移動と DNA ナノサイエンス” 真嶋哲朗、現代化学、2006、11、25-29.

“マルチレーザー励起で生じる高励起状態の化学” 藤塚守、坂本雅典、真嶋哲朗、光化学、2006、37、157-164.

“Development of efficient methods for the immobilisation of multicomponent asymmetric catalysts” Jayaprakash, D.; Takizawa, S.; Arai, T.; Sasai, H. Journal of Experimental Nanoscience 2006, 1, 477-510.

“酸—塩基型不斉有機分子触媒を用いる aza-Morita-Baylis-Hillman 反応” 笹井宏明、滝澤忍、松井嘉津也、THE CHEMICAL TIMES (KANTO CHEMICAL CO., INC.), 2007, 1, 3-8.

著書

“電子線エネルギーの吸収と高励起状態 光応用技術・材料事典、(山岡亜夫編)” 真嶋哲朗、(株)産業技術サービスセンター、2006、35-37.

“酸 - 塩基型不斉有機分子触媒による aza-Morita-Baylis-Hillman 反応, 「有機分子触媒の新展開」(監修; 柴崎正勝)” 笹井宏明、滝澤忍、松井嘉津也、シー・エム・シー出版, 2006, 231-242.

国内会議発表

日本化学会郡山地区講演会(郡山, 2006. 11) 真嶋哲朗, “DNA のビーム機能化学”

SORST 齋藤チームシンポジウム(郡山, 2006. 9) 川井清彦, “DNA 中の電荷移動: メカニズムとその生物学的影響”

FIBER Forum 2006(神戸, 2006. 12) 川井清彦, “DNA 中の電荷移動と DNA 光増感一電子酸化損傷”

産研 21 世紀 COE 平成 17 年度 新規事業「ナノバイオテクノロジーの最先端と新展開」セミナー(淡路島, 2006. 2)

- 1) 立川貴士・真嶋哲朗, “単一分子蛍光イメージング”
- 2) 中山公志・真嶋哲朗, “酵素機能の光制御”
- 3) 藤塚守・真嶋哲朗, “高次集合体中のエネルギー・電子移動”
- 4) 高田忠雄・真嶋哲朗, “DNA 中のホール移動”
- 5) 坂本雅典・真嶋哲朗, “ポリマー薄膜中のナノ粒子生成”
- 6) 遠藤政幸・真嶋哲朗, “DNA 高次構造の構築”

日本化学会 2006 春季年会(舟橋, 2006. 3)

- 1) 立川貴士・藤乗幸子・藤塚守・真嶋哲朗, “2 色 2 レーザーフラッシュフォトリシスによるポリ酸修飾酸化チタン光触媒反応の研究”
- 2) 中山公志、遠藤政幸、真嶋哲朗, “アゾベンゼン誘導体を導入した制限酵素 BamHI 活性の光異性化による制御”

- 3) 木村巧、川井清彦、真嶋哲朗, “DAN 修飾オリゴヌクレオチドを用いた B-A 構造転移の観測”
- 4) 遠藤政幸、N. C. Seeman、真嶋哲朗, “分岐型 DNA による DNA チューブ構造形成の制御”
- 5) 坂本雅典・蔡喜臣・藤塚守・真嶋哲朗, “ベンゾフェノンケチルラジカルの励起状態から親分子への 2 つの電子移動過程”
- 6) 大関陽介・藤塚守・趙大源・藤乗幸子・真嶋哲朗, “アミドスペーサーを有するチオフェン 4 量体とベンゼン誘導体のドナー・アクセプター分子における高速の電荷分離状態生成と再結合”
- 7) 佐守真悟・藤乗幸子・藤塚守・真嶋哲朗, “エチニル基でリンクしたドナーアクセプター型分子におけるラジカルイオンの電荷再結合による高効率発光”
- 8) 中島悟・秋山公男・川井清彦・高田忠雄・生駒忠昭・真嶋哲朗・手老省三, “DNA 中に生成するラジカルイオン対の時間分解 EPR による観測(2)”
- 9) 高田忠雄・川井清彦・藤塚守・真嶋哲朗, “ジフェニルアセチレン修飾 DNA における高効率電荷分離反応”
- 10) 藤塚守・趙大源・大下浄治・九内淳堯・真嶋哲朗, “オリゴチオフェンーオリゴシリレン交互共重合体の高分子鎖内エネルギーマイグレーションの解明”
- 11) 立川貴士・内藤一也・藤塚守・真嶋哲朗, “非接触型酸化チタン光触媒反応の単一分子蛍光イメージング”
- 12) 藤塚守・趙大源・山代智子・新名主輝男・真嶋哲朗, “シクロファン類の分子内ダイマーラジカルカチオン”
- 13) 川井清彦・藤塚守・真嶋哲朗, “ピレンダイマーカチオン形成を利用した 1 本鎖 DNA のダイナミクス”

光化学討論会 (仙台, 2006. 9)

- 1) 藤塚守・趙大源・大下浄治・九内淳堯・真嶋哲朗, “オリゴチオフェンーオリゴシリレン交互共重合体の高分子鎖内エネルギーマイグレーション”
- 2) 川井清彦・藤塚守・真嶋哲朗, “A 型 DNA/RNA ハイブリッド構造中のホール移動”
- 3) 遠藤政幸・藤塚守・真嶋哲朗, “ピレンを導入したタバコモザイクウイルス超分子の光化学的性質”
- 4) 立川貴士・藤乗幸子・藤塚守・真嶋哲朗, “シクロデキストリン修飾 TiO₂ 光触媒による芳香族化合物の一電子酸化反応”
- 5) 高田忠雄・川井清彦・藤塚守・真嶋哲朗, “連続アデニン配列における DNA 内高速ホール移動”
- 6) 坂本 雅典、蔡 喜臣、藤塚守、真嶋哲朗, “ケチルラジカルの励起状態”
- 7) 藤塚守・趙大源・白上努・保田昌秀・真嶋哲朗, “S2 励起アンチモンポルフィリン誘導体の電荷分離過程”
- 8) 木村巧・川井清彦・真嶋哲朗, “DAN 修飾 DNA を用いた Z 型 DNA の水和環境の観測”

9) 立川貴士・内藤一也・藤塚守・真嶋哲朗, “非接触型 TiO₂ 光触媒反応の単一分子蛍光イメージング”

10) 中島悟・秋山公男・川井清彦・高田忠雄・生駒忠明・真嶋哲朗・手老省三, “時間分解 EPR 法を利用した DNA 中における電荷移動の考察”

放射線化学討論会 (高崎, 2006. 10)

1) 藤塚守・蔡喜臣・藤乗幸子・真嶋哲朗, “ナフタレンダイマーラジカルカチオンの光解離”

2) 藤乗幸子・安井伸郎・藤塚守・真嶋哲朗, “トリアリールホスフィンペルオキシラジカルカチオンの反応性”

3) 佐守真悟・藤乗幸子・藤塚守・真嶋哲朗, “ドナーアクセプター型分子を用いたラジカルイオンの電荷再結合による高効率発光”

第 45 回電子スピンサイエンス学会年会 (京都, 2006. 11)

中島悟・秋山公男・川井清彦・高田忠雄・生駒忠昭・真嶋哲朗・手老省三, “ナフタルジイミドとフェノチアジンとを修飾した合成 DNA 中で光誘起電子移動により生成するラジカルイオン対”

第 6 2 回大阪大学産業科学研究所学術講演会 (大阪大学産業科学研究所, 2006. 11)
真嶋哲朗, “新しい酸化チタン光触媒”

堀井厚志・松井嘉津也・滝澤忍・笹井宏明, “二重活性化機構を有する不斉有機分子触媒の開発と応用” 第 33 回有機反応懇談会, 京都, 8 月 (2006)

亀山千明・片山智美・滝澤忍・鬼塚清孝・笹井宏明, “新規二核オキソバナジウム錯体の開発と触媒的酸化カップリング反応への応用” 第 33 回有機反応懇談会, 京都, 8 月 (2006)

国際会議発表

T. Tachikawa, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, “Development of New TiO₂ Photocatalysts”, The 13th International Joint Seminar of The Japan-Korea Core University Program (CUP) [JSPS-KOSEFF], (Nagaoka, 2006.2)

XXIst IUPAC Symposium on Photochemistry (Kyoto, 2006.4)

1) K. Kawai, Y. Osakada, M. Fujitsuka, and T. Majima, “Mechanism of Photosensitized DNA Damage: Hole Transfer in DNA and the Role of Oxygen”

2) A. G. Griesbeck and T. Majima, "Photochemistry of Amino Acid Derivatives: Stereoselective Synthesis of β -Lactames and Cyclobutanols"

209th ECS Meeting at Denver (The Electrochemical Society) Symposium on "Porphyrins and Supramolecular Assemblies" (Denver, 2006.5) T. Majima, "Energy and Charge Transfer in Porphyrin Supramolecular Systems"

International Symposium on Radical Ion Reactivity (ISRIR2006) (Rome, 2006.7).T. Majima, "Photosensitized one electron oxidation of DNA towards photodynamic therapy"

Symposium in Instituto de Tecnología Química UPV-CSIC, (Valencia, Spain, 2006.10)
T. Majima, "Development of New TiO₂ Photocatalysts"

CLUSTOXDNA Meeting on the Chemistry and Biochemistry of Oxidative DNA Damage (Gandia, Spain, 2006.10) T. Majima, "Charge Transport in DNA"

2006 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience (2006KJFP) (Seoul, 2006.11)

M. Endo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Pyrene-Assembled Nanostructures Constructed in the Tobacco Mosaic Virus Scaffold"

1) K. Kawai, Y. Osakada, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Hole Transfer in DNA and Photosensitized DNA Damage: Importance of Adenine Oxidation"

2) M. Fujitsuka, D. W. Cho, and T. Majima, "Energy Migration along Photofunctional Polymers"

3) T. Tachikawa, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima Development of New TiO₂ Photocatalysts"

SANKEN International Symposium on "Advanced Science and Technology for Materials, Biology, and Information by Quantum Beams" (Ibaraki, 2006.2)

1) M. Fujitsuka, S. Tojo, and T. Majima, "Supramolecular Chemistry by Quantum Beams"

2) K. Kawai, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "DNA Chemistry by Quantum Beams"

3) T. Tachikawa, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Exclusion of Aromatic Radical Cations from Cyclodextrin Nanocavity Studied by Pulse Radiolysis"

4) S. Samori, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Efficient Emission from Charge Recombination during the Pulse Radiolysis of Electrochemical Luminescent Donor-Acceptor Molecules with an Ethynyl Linkage"

5) S. Tojo, T. Tachikawa, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Oxidation reaction by hydroxyl radicals in colloidal solution of TiO₂ during pulse radiolysis"

International Symposium on “Supramolecular Systems and Hybrid Biomolecular Devices Using Photoirradiation”, (Ibaraki, 2006.2)

- 1) T. Majima, "Overview of Supramolecular Systems and Hybrid Biomolecular Devices Using Photoirradiation"
- 2) M. Fujitsuka, D. W. Cho, N. Solladié, and T. Majima, "Rapid Energy Migration in Porphyrin Polypeptides"
- 3) T. Tachikawa, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "TiO₂ Photocatalytic One-Electron Oxidation of Organic Compounds Studied by Laser Flash Photolysis"
- 4) T. Takada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima,, "Efficient Charge Separation in Diphenylacetylene-Modified DNA"
- 4) M. Sakamoto, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Anomalous Fluorescence from Azaxanthone Ketyl Radical in the Excited States"
- 6) D. W. Cho, M. Fujitsuka, U. C. Yoon, T. Majima, "Intramolecular Exciplex and Intermolecular Excimer Formation of 1,8-Naphthalimide-linker-Phenothiazine Dyads"
- 7) X. Cai, M. Sakamoto, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Properties and Reactions of Organic Molecules in the Higher Triplet Excited States"
- 8) M. Endo and T. Majima, "DNA nanostructures using DNA-porphyrin conjugates"
- 9) K. Nakayama, M. Endo, and T. Majima, "Photochemical Regulation of the Activity of a Restriction Enzyme BamHI Using an Azobenzene Moiety Incorporated into the Dimer Interface"
- 10) T. Kimura, K. Kawai, and T. Majima, "Monitoring of Microenvironmental Changes in the Major and Minor Grooves of DNA by Dan Modified Oligonucleotides"
- 11) Y. Oseki, M. Fujitsuka, D. W. Cho, A. Sugimoto, S. Tojo, and T. Majima, "Ultrafast Photoinduced Intramolecular Charge Separation and Recombination Processes in the Oligothiophene-Substituted Benzene Dyads with an Amide Spacer"
- 12) S. Samori, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Efficient Emission from Charge Recombination during the Pulse Radiolysis of Electrochemical Luminescent Donor-Acceptor Molecules with an Ethynyl Linkage"

1st Workshop on Nanoscience and Nanotechnology between Sanken and CNRS—Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience—(Paris, 2006.2)

- 1) T. Majima "Hole transfer in DNA"
- 2) M. Fujitsuka and Tetsuro Majima "Beam-induce chemistry of supramolecules"

SANKEN International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006. Perspective on Interdisciplinary Nanobiology and Industrial Nanotechnology, (Suita, 2006.9)

- 1) T. Takada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Charge Separation in Diphenylacetylene-Modified DNA"

- 2) K. Nakayama, Masayuki Endo, and Tetsuro Majima, "Photochemical Control of a Restriction Enzyme BamHI Activity Using Azobenzene-Bearing Amino Acids"
- 3) T. Kimura, K. Kawai, and T. Majima, "Monitoring the B-A Conformational Transition of Nucleic Acids by Dan-Modified DNA"

2006 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience (2006KJFP) (Seoul, 2006.11)

- 1) M. Sakamoto, S. S. Kim, T. Tachikawa, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Two-color Two-laser Fabrication of Gold Nanoparticles in a PVA Film"
- 2) T. Takada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Rapid Hole Transfer through Consecutive Adenine Sequences"
- 3) K. Nakayama, M. Endo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Detection of the Local Structural Changes in the Dimer Interface of BamHI Initiated by DNA Binding and Dissociation Using a Solvatochromic Fluorophore"
- 4) M. Endo and T. Majima, "DNA Nano-Structures Controlled by Branched DNA Connectors"
- 5) M. Fujitsuka, T. Shinmyozu, and T. Majima, "Transannular Distance Dependence of Stabilization Energy of Intramolecular Dimer Radical Cation of Cyclophanes"
- 6) K. Kawai, Y. Osakada, A. Sugimoto, M. Fujitsuka and T. Majima, "Transfer Rates in A-from DNA/2'-OMeRNA Hybrid"
- 7) X. Cai, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Photodissociation of Naphthalene Dimer Radical Cation during the Two-color Two-laser Flash Photolysis and Pulse Radiolysis-Laser Flash Photolysis"
- 8) K. Nakayama, M. Endo, and T. Majima, "Photochemical Regulation of BamHI Activity Using an Azobenzene Moiety Site-selectively Introduced into the Protein-Protein Interface"
- 9) M. Sakamoto, S. S. Kim, X. Cai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Solvent effect on benzophenone ketyl radicals in the excited state"
- 10) A. Sugimoto, K. Kawai, M. Fujitsuka and T. Majima, "Kinetics of Transient End-to-End Contact of Single-Stranded DNAs"
- 11) T. Takada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Charge Separation in Diphenylacetylene-Modified DNA"

International Symposium on "Recent Progress of Laser Chemistry", (Ibaraki, 2006.11)

- 1) T. Majima, "Laser-induced Molecular Chemistry and its Application"
- 2) M. Endo and T. Majima, "DNA Supramolecular Structures for the Creation of Functional Nannomaterials"
- 3) M. Fujitsuka and T. Majima, "Photochemistry of Short-lived Species using Multi-beam Irradiation"

- 4) K. Kawai and T. Majima, "Spectroscopic Investigation of Oxidative Hole Transfer in DNA"
- 5) T. Tachikawa and T. Majima, "Photoinduced Charge Separation on the TiO₂ Surface"
- 6) M. Sakamoto and T. Majima, "Photochemical Formation of Gold Nanoparticles in a PVA Film during Two-color Two-laser irradiation"
- 7) T. Kimura, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Monitoring G-quadruplex structures and G-quadruplex-ligand complex by 2-aminopurine modified oligonucleotides"
- 8) T. Takada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "High Yield Generation of Long-Lived Charge-Separated State in Diphenylacetylene-Modified DNA"
- 9) K. Nakayama, M. Endo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Detection of the Local Structural Changes in the Dimer Interface of BamHI Initiated by DNA Binding and Dissociation Using a Solvatochromic Fluorophore"
- 10) S. Samori, S. Tojo, M. Fujitsuka, S.-W. Yang, T.-I. Ho, J.-S. Yang, and T. Majima, "Emission from charge recombination during the pulse radiolysis of arylethynylpyrenes"
- 11) K. Naito, T. Tachikawa, S.C. Cui, A. Sugimoto, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Single-Molecule Detection of Airbone Singlet Oxygen"
- 12) Y. Osakada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Charge Transfer through DNA Nanoscaled Assembly"

International Symposium on "Photochemistry of Nanomaterials" , (Ibaraki, 2006.12)

- 1) T. Majima, "Laser Chemistry of Nanomaterials and its Application"
- 2) M. Endo and T. Majima, "DNA Supramolecular Structures for the Creation of Functional Nanomaterials"
- 3) M. Fujitsuka and T. Majima, "Photochemistry of Short-lived Species using Multi-beam Irradiation"
- 4) K. Kawai and T. Majima, "Spectroscopic Investigation of Oxidative Hole Transfer in DNA"
- 5) T. Tachikawa and T. Majima, "Photoinduced Charge Separation on the TiO₂ Surface"
- 6) M. Sakamoto and T. Majima, "Photochemical Formation of Gold Nanoparticles in a PVA Film during Two-color Two-laser irradiation"
- 7) T. Kimura, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Monitoring G-quadruplex structures and G-quadruplex-ligand complex by 2-aminopurine modified oligonucleotides"
- 8) T. Takada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "High Yield Generation of Long-Lived Charge-Separated State in Diphenylacetylene-Modified DNA"
- 9) K. Nakayama, M. Endo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Detection of the Local Structural Changes in the Dimer Interface of BamHI Initiated by DNA Binding and Dissociation Using a Solvatochromic Fluorophore"

- 10) S. Samori, S. Tojo, M. Fujitsuka, S.-W. Yang, T.-I. Ho, J.-S. Yang, and T. Majima, "Emission from charge recombination during the pulse radiolysis of arylethynylpyrenes"
- 11) K. Naito, T. Tachikawa, S.C. Cui, A. Sugimoto, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Single-Molecule Detection of Airbone Singlet Oxygen"
- 12) Y. Osakada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Charge Transfer through DNA Nanoscaled Assembly Programmable with DNA Building Blocks"

International Symposium of Fifth 21st Century COE "Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience" (Awaji, 2006.12)

- 1) T. Majima, "Beam-induced molecular chemistry"
- 2) T. Tachikawa, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "One-Electron Oxidation Pathways during β -Cyclodextrin-Modified TiO₂ Photocatalytic Reaction"
- 3) T. Takada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Long-Distance Hole Transfer through Consecutive Adenine Sequence"
- 4) S. S. Kim, M. Sakamoto, X. Cai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Solvent effect on benzophenone ketyl radicals in the excited state"
- 5) K. Nakayama, M. Endo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Detection of the Local Structural Changes in the Dimer Interface of BamHI Initiated by DNA Binding and Dissociation Using a Solvatochromic Fluorophore"
- 6) Y. Oseki, M. Fujitsuka, M. Sakamoto, X. Cai, and T. Majima, "Energy levels of oligothiophenes in the higher excited triplet states"
- 7) Y. Osakada, K. Kawai, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Effects of reaction rate of radical anion of a photosensitizer with molecular oxygen on the photosensitized DNA damage"
- 8) K. Naito, T. Tachikawa, S.C. Cui, A. Sugimoto, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Single-Molecule Detection of Airborne Singlet Oxygen"
- 9) S. Samori, S. Tojo, M. Fujitsuka, and T. Majima, "Emission from Charge Recombination during the Pulse Radiolysis of Organic Electrochemiluminescent Compounds"
18. Commemorative Workshop of Opening SANKEN USA Branch in San Francisco, (San Francisco, 2006.12)
- T. Majima, "Charge Transfer in DNA"

"Design and Synthesis of Novel Chiral Spiro Ionic Liquids" M. L. Patil, C. V. L. Rao, K. Yonezawa, S. Takizawa, K. Onitsuka, H. Sasai, 8th International Symposium on Organic Reactions, Kobe, Japan, 2006.4.23-26.

"Development of Catalytic Enantioselective Reaction utilizing Chiral Spiro-type Ligands" T. Tsujiyama, P. Koranne, J. Yogo, K. Wakita, T. Shinohara, S. Takizawa, K. Onitsuka, H. Sasai, International Molecular Chirality Conference (IMCT, MC2006), Toyama, Japan,

2006.5.18-19.

“Design and Synthesis of Novel Chiral Spiro Ionic Liquids” M. L. Patil, C. V. L. Rao, K. Yonezawa, S. Takizawa, K. Onitsuka, H. Sasai, International Molecular Chirality Conference (IMCT, MC2006), Toyama, Japan, 2006.5.18-19.

“A Novel Bifunctional Asymmetric Organocatalysts for aza-Morita-Baylis-Hillman (aza-MBH) Reaction” K. Matsui, S. Takizawa, H. Sasai, 7th Tetrahedron Symposium Challenges in Organic Chemistry, Kyoto, Japan, 2006.5.25-26.

“Enantioselective Catalyses using Novel Spiro-type Ligands” P. Koranne, T. Tsujihara, S. Takizawa, J. Yogo, K. Onitsuka, H. Sasai, 7th Tetrahedron Symposium Challenges in Organic Chemistry, Kyoto, Japan, 2006.5.25-26.

“Development of Novel Chiral Isoxazoline/Isoxazole Hybrid-type Ligands” P. Koranne, T. Tsujihara, S. Takizawa, K. Onitsuka, H. Sasai, 18th International Symposium on Chirality (Chirality-2006), Busan, Korea, 2006.6.25-28.

“Bifunctional Organocatalysts for Enantioselective aza-Morita-Baylis-Hillman Reaction” Takizawa, S. Matsui, K. Tanaka, K. Horii, A. Sasai, H. 18th International Symposium on Chirality (Chirality-2006), Busan, Korea, 2006.6.25-28.

“Development of New Methods towards the Synthesis of Novel Chiral Spiro Ionic Liquids” M. L. Patil, C. V. L. Rao, K. Yonezawa, S. Takizawa, K. Onitsuka, H. Sasai, 18th International Symposium on Chirality (Chirality-2006), Busan, Korea, 2006.6.25-28.

“Bifunctional Organocatalysts for Enantioselective aza-Morita-Baylis-Hillman Reaction” Matsui, K.; Tanaka, K.; Horii, A.; Takizawa, S.; Sasai, H. International Symposium on Organocatalysis in Organic Synthesis, Glasgow, UK, 2006.7.5-7.

“Development of Metal-bridged Polymers as Enantioselective Catalysts” S. Takizawa, N. Inoue, H. Sasai, XXII International Conference on Organometallic Chemistry, Zaragoza, Spain, 2006.7.23-28.

“Enantioselective Catalyses using SPRIX Ligands and Novel Spiro Isoxazoline-isoxazole Hybrid Ligands” P. Koranne, T. Tsujihara, S. Takizawa, J. Yogo, K. Onitsuka, H. Sasai, 232nd ACS National Meeting, CA, USA, 2006.9.10-14.

“Bifunctional Organocatalysts for Enantioselective aza-Morita-Baylis-Hillman (aza-MBH) Reaction” K. Matsui, K. Tanaka, A. Horii, S. Takizawa, H. Sasai, 1st International Conference of Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia, Okinawa, Japan, 2006.10.16-20.

“Bifunctional Organocatalysts for Enantioselective aza-Morita-Baylis-Hillman (aza-MBH) Reaction” K. Matsui, K. Tanaka, A. Horii, S. Takizawa, H. Sasai, 10th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-10), Kyoto, Japan, 2006.11.13-17.

“Dual Activation in an Enantioselective Homolytic Coupling Reaction” T. Katayama, C. Kameyama, S. Takizawa, K. Onitsuka, H. Sasai, 10th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-10), Kyoto, Japan, 2006.11.13-17.

“Enantioselective Synthesis of Heterocyclic Compounds Utilizing Pd(II)-SPRIX Catalyst” G. B. Bajracharya, P. Koranne, T. Tsujihara, K. Takenaka, S. Takizawa, K. Onitsuka, H. Sasai, 10th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-10), Kyoto, Japan, 2006.11.13-17.

“Development of chiral isoxazoline/isoxazole ligands and their application in enantioselective catalyses” P. Koranne, G. B. Bajracharya, M. L. Patil, T. Tsujihara, C. V. L. Rao, S. Takizawa, K. Onitsuka, H. Sasai, 5th 21st Century COE Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanosience International Symposium, Awaji, Japan, 2006.12.8-9.

“Development of Novel Asymmetric Cascade Reaction Catalyzed by Pd-SPRIX” T. Tsujihara, K. Takenaka, S. Takizawa, K. Onitsuka, H. Sasai, 5th 21st Century COE Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanosience International Symposium, Awaji, Japan, 2006.12.8-9.

“Development of Artificial Enzyme Utilizing Multiple Interactions in Catalytic Site” T. Kawase, R. N. Nadaf, G. R. Kassem, D. Jayaprakash, S. Takizawa, H. Sasai, 5th 21st Century COE Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanosience International Symposium, Awaji, Japan, 2006.12.8-9.

受賞、特許等

第86春季年会優秀講演賞 川井清彦 “ピレンダイマーカチオン形成を利用した1本鎖DNAのダイナミクス”

特許題目 金属ナノ粒子の形成方法
出願者名 真嶋哲朗、坂本雅典、立川貴士、藤塚守
出願日 H18(2006) 4.26.特願2006-121694.

特許題目 媒体中に金属ナノ粒子を形成する方法
出願者名 真嶋哲朗、坂本雅典、立川貴士、藤塚守
出願日 H18(2006) 5.22.特願2006-142132.

特許題目 光機能性を有する変異タンパク質、及びそれを含むガンの治療薬剤
出願者名 遠藤政幸、真嶋哲朗
出願日 H18(2006).2.1特願2006-25110 特開2006-169258

特許題目 DNAナノブロックを利用したDNAナノエレクトロニクス
出願者名 真嶋哲朗、川井清彦、小阪田泰子、藤塚守
出願日 H18(2006) 10.26.特願2006-291734.

特許題目 活性酸素種を単一分子レベルで検出する方法
出願者名 真嶋哲朗、立川貴士、藤塚守
出願日 H18(2006) 11.22. 特願2006-316047.

特許題目 新規バナジウム化合物
出願者名 滝澤忍、笹井宏明、片山智美
特許番号（特許出願） 2006-240632

特許題目 ビナフトール骨格を有する新規有機分子触媒およびその製造法と応用
出願者名 笹井宏明、滝澤忍、松井嘉津也
特許番号（特許公開） 2006-28021

特許題目 Novel organic molecular catalyst having binaphthol skeleton and processes for producing the same and application thereof.
出願者名 Sasai, Hiroaki; Takizawa, Shinobu; Matsui, Katsuya.
特許番号 United States Patent Application 20060009646

特許題目 光学活性スピロビスイソオキサゾリン誘導体とその製造方法およびその金属錯体を用いた不斉触媒反応
出願者名 笹井宏明、脇田和彦、加藤考浩、荒井緑、篠原俊夫、滝澤忍
特許番号（特許公開） 2006-076939

特許題目 光学活性スピロビスイソオキサゾール誘導体およびその製造法、並びにその金属錯体を用いた不斉触媒反応

出願者名 笹井宏明、脇田和彦、加藤考浩、荒井緑、篠原俊夫、滝澤忍

特許番号（特許公開） 2006-076915

特許題目 スピロキラリティを有する第4級アンモニウム塩およびその製造法、並びに該アンモニウム塩を用いた不斉触媒反応

出願者名 下元愛、米澤浩司、滝澤忍、笹井宏明

特許番号（特許公開） 2006-076911

特許題目 新規スピロ構造化合物とその製造法

出願者名 マヘッシュ エル パティル、シラムコッティ ベンカット ラクシュマン
ラオ、滝澤忍、笹井宏明

特許番号（特許公開） 2006-076887

特許題目 スピロ骨格を持つキラルな相間移動触媒およびその製造法、並びにそれを用いた不斉触媒反応

出願者名 米澤浩司、下元愛、滝澤忍、笹井宏明

特許番号（特許公開） 2006-070001

共同研究、学会活動、国際交流等

共同、連携、関連企業：不二製油㈱、松下電器産業㈱、三菱化学㈱、旭硝子㈱、IDEC
㈱、㈱サタケ

科研費、助成金

真嶋哲朗「光機能性DNAのナノサイエンス」，科学研究費補助金基盤研究（S），平成18年，14,800,000円

真嶋哲朗「光機能界面における有機物の反応機構の解明」，科学研究費補助金特定領域研究，平成18年，10,200,000円

真嶋哲朗「DNA自己組織化に基づくカーボンナノチューブアレイの構築」，科学研究費補助金萌芽研究，平成18年，1,000,000円

川井清彦「DNAナノ光電荷分離システムの構築」，科学研究費補助金若手研究（B），平成18年，2,500,000円

川井清彦「DNAナノ構造体を利用した光電変換システムの構築」，財団法人国際科学技術財団研究助成（若手），平成18年, 1,000,000円

滝澤忍「自己組織化による機能性ナノマテリアルの創製」，平成18年度科学技術振興調整費若手任期付研究員支援, 19,430,000円

立松健司, 滝澤忍, 松井嘉津也「多機能ナノ粒子の標的指向性ドラッグデリバリーシステムへの応用」，平成 18 年度 21 世紀 COE プログラム若手・学生支援共同研究, 2,000,00 円

大阪大学・産業科学研究所

ナノマテリアル・デバイス研究部門 ナノバイオデバイス分野

所在地 〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1 TEL:06-6879-4292

構成

教授（兼任） 谷澤 克行（Katsuyuki TANIZAWA） TEL:06-6879-8460,
E-mail: tanizawa@sanken.osaka-u.ac.jp

助教授 岡島 俊英（Toshihide OKAJIMA） TEL:06-6879-4292,
E-mail: tokajima@sanken.osaka-u.ac.jp

助手 中島 良介（Ryosuke NAKASHIMA） TEL:06-6879-8546,
E-mail: nakashi@sanken.osaka-u.ac.jp

研究概要

生体に由来するタンパク質、核酸、及びその複合体の大きさはすべてナノスケールの構造体であり、これら生体素子やその集合体はナノバイオデバイスと位置付けられる（図1）。このうち、タンパク質は生体内で遺伝情報にもとづいて、20種類のアミノ酸が一定の配列で重合されて生成される。基本的にその配列が自発的に形成される一定の立体構造を規定し、ときにはタンパク質同士やDNA・RNAとの複合体を形成させる。酵素などの化学反応を触媒するタンパク質の多くは、金属イオンや補酵素と呼ばれる低分子有機化合物を自発的に結合する。つまり、どのように立体構造と複合体が形成されるのかは、基本的にアミノ酸配列という“設計書”に書きこまれているといえる。さらに、形成された複雑な構造によって、化学反応の触媒ばかりでなく、分子の回転などの機械的な運動、化学物質の輸送などの多様な機能性を実現している。また、抗体やレセプタータンパク質は、ときに極めて高い分子認識能を有する。最終的に、タンパク質及び核酸自身も、リボゾームやDNAポリメラーゼなどのナノバイオデバイスによって作り出されている。

しかし、このような自己形成能と機能性を兼ね備えたナノデバイスを設計し人工的に作り出すことは、未だに困難である。当研究分野では、自然が作り出したナノバイオデバイスのナノ構造と機能の解析を詳細に行い、その精緻な作用メカニズムと設計指針を解明している。さらに、その成果にもとづいて、新規有用酵素の作製、ナノバイオデバイスを用いる超高感度バイオセンサーの開発、ナノマシンの創製などを目標している。

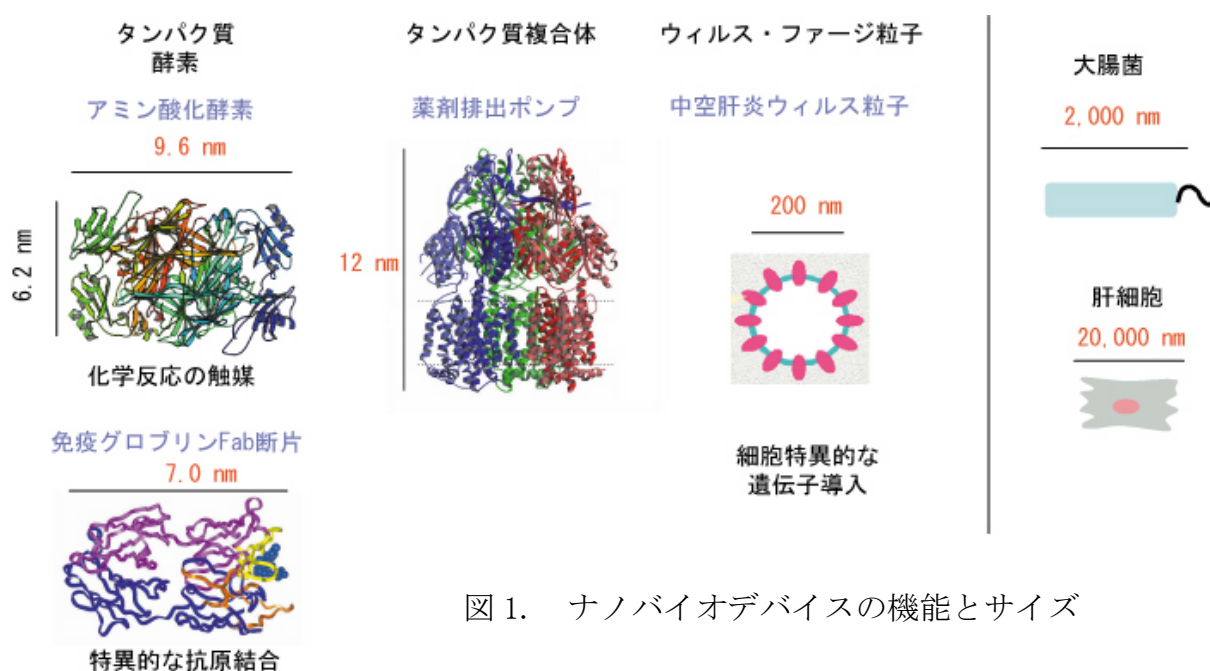


図 1. ナノバイオデバイスの機能とサイズ

1. 触媒ナノマシンとしての酵素タンパク質

当分野では、銅含有アミン酸化酵素とキノヘムプロテイン・アミン脱水素酵素 (QHNDH) という 2 種類の補酵素を含んだ複合型酵素を主な研究対象として、触媒ナノマシンである酵素が化学反応を触媒する詳細なメカニズムを解明している。補酵素は多くの酵素において存在する低分子有機化合物であり、アミノ酸側鎖のみでは得ることができない反応性を酵素に付与している。補酵素によって、酵素が触媒しうる化学反応のレパートリーが大きく広がるとともに、反応効率は飛躍的に向上する。特に対象とする二つの酵素においては、補酵素は翻訳後修飾によって、タンパク質上のアミノ酸残基から作り出されていることが明らかにされている。本研究の目的は、このようなビルトイン型補酵素を含有する複合型酵素の設計原理を解明するとともに、新規なナノバイオデバイスのデザインに応用することにある。以下に、QHNDH の補酵素を含む γ -サブユニットの生合成機構に関する本年度の研究成果を報告する。

QHNDHは、培地中の n -ブチルアミンやベンジルアミンなどの一級アミンを資化するために、*Paracoccus denitrificans*などのグラム陰性細菌のペリプラズムに誘導生成される。本酵素は α, β, γ -サブユニットからなるヘテロ三量体構造を有し、最も小さな γ -サブユニットは、新規キノン補酵素、システイントリプトフィルキノン (CTQ) を含有する。さらに興味深いことに、 γ -サブユニット内ではCTQを形成しているシステイン残基以外の全てのシステイン残基が、近傍のアスパラギン酸残基あるいはグルタミン酸残基のメチレン炭素原子とチオエーテル結合を形成している (図2A)。このような分子内架橋は明確な二次構造含量が少ない γ -サブユニット (図2B) の構造維持に必要であると考えられるが、酵素機能における役割や翻訳後修飾による生成機構は未解明である。一方、QHNDH遺伝子はゲノム上でオペロンを形成していると考えられ、その第2番目のORF (ORF2) は、本酵素のどのサブユニットとも対応していない約55 kDaの未知タンパク質をコードしている (図2C)。配列比較に基づく、このタンパク質は、ビタミン類の生合成に関わる酵素や種々の酵素活性化因子を含むラジカルSAMスーパーファミリー

に属すると考えられるが、QHNDHとの関係は未解明に残されている。本研究では、*P. denitrificans* のORF2タンパク質に着目し、QHNDHの生合成過程、特に γ -サブユニット内のCTQ生成やチオエ

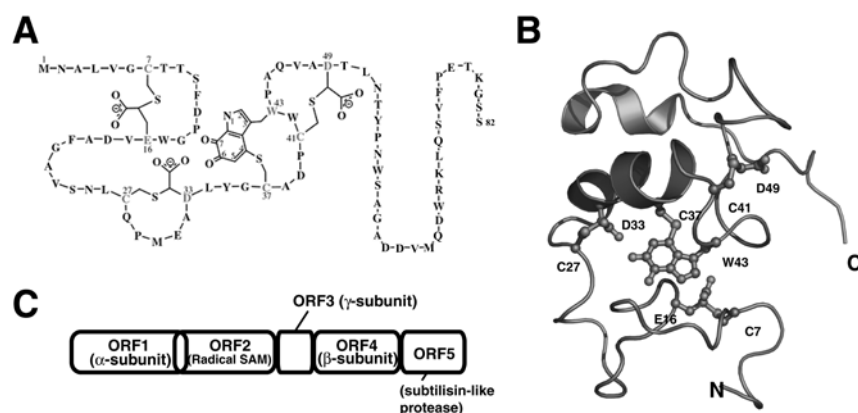


図2 γ -サブユニットの模式図 (A), 立体構造モデル (B), 及び QHNDH オペロンの遺伝子構造 (C)

一テル架橋構造の形成に果たす役割を解明した。

1) ORF2遺伝子の破壊とレスキュー

ORF2タンパク質の機能について解析するため、まず相同組換えによって*P. denitrificans*のORF2遺伝子内にカナマイシン耐性遺伝子を導入した。さらに、同様の操作により、カナマイシン耐性遺伝子を除去し、ORF2遺伝子破壊株 (Δ ORF2株)を得た。*n*-ブチルアミンを唯一のC/N源として含有する最小培地において、野生株と Δ ORF2株の増殖能とQHNDH活性を比較した結果、 Δ ORF2株はQHNDH活性を欠失して

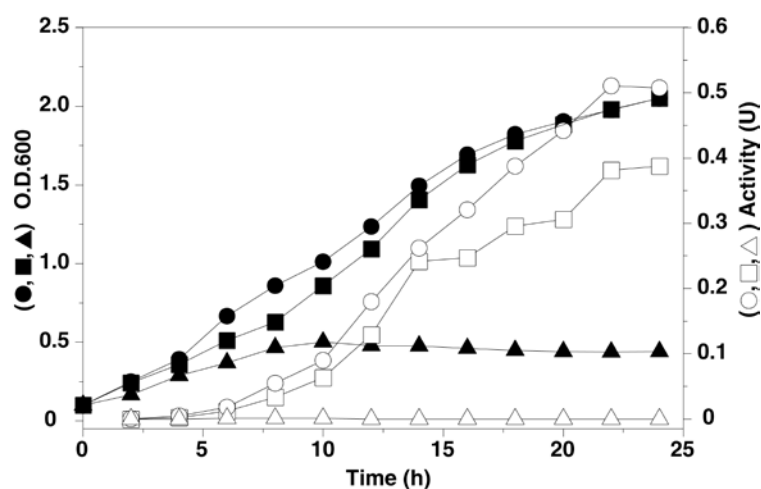


図 3. ORF2 遺伝子導入による Δ ORF2 株の増殖とQHNDH 活性の回復。

▲, △: Δ ORF2、■, □: Δ ORF2 + ORF2、●, ○: Δ ORF2 + ORF1-4

おり、この培地中に増殖することができなかった。培地中に炭素源としてコリンを追加したところ、菌体の増殖は回復したが、それでもQHNDH活性は誘導されなかった(図3)。野生株と Δ ORF2株においてウェスタンブロットによりORF2タンパク質の発現を比較した結果、野生株において細胞質画分に著量発現していたORF2は、 Δ ORF2株において、全く発現していないことが確認できた。また、ORF2タンパク質は最小培地に*n*-ブチルアミンを添加したQHNDH誘導条件下にその発現が検出されたことから、QHNDH遺伝子と同一のプロモーターに支配されていることがわかった。 Δ ORF2株の最小培地における増殖能とQHNDH活性は、広宿主域ベクターを用いて構築したORF2タンパク質発現プラスミドを Δ ORF2株に導入することによって回復させることができた(図3)。しかし、鉄硫黄クラスターおよびS-アデノシルメチオニン(SAM)結合と推定される配列に変異を導入したORF2遺伝子を持つ発現プラスミドでは、 Δ ORF2株の同培地での増殖能力を回復しなかった。以上の結果から、ORF2タンパク質がラジカルSAMタンパク質としてQHNDH生合成に必須の役割を果たしていることが明らかとなった。QHNDHの各サブユニットの細胞内局在について調べたところ、 α -および β -サブユニットは野生株と同様に Δ ORF2株においてもペリプラズム画分に存在していたが、 γ -サブユニットは細胞質画分に蓄積していた。この γ -サブユニットはキノン染色に反応しなかったため、CTQ補酵素は形成されていないことがわかった。

2) ORF2遺伝子破壊株における γ -サブユニットの解析

Δ ORF2株の細胞質に蓄積した γ -サブユニットの翻訳後修飾の状態を解析するため、同サブユニット・ペプチドをHPLCにより精製し、その質量分析を行った(図4)。そ

の結果、成熟型 γ -サブユニットとは対比的に、細胞質内蓄積 γ -サブユニットは、補酵素生成とチオエーテル結合形成のいずれの翻訳後修飾も受けていないことが明らかになった。さらに、成熟型 γ -サブユニットにはない28残基のプレ配列がN末端に存在することが明らかになった。このプレ配列は、通常のペリプラズムへの輸送シグナルとは異なり、塩基性及び酸性残基に富んでいた。また、遺伝子欠失株において、このプレ配列を除去した γ -サブユニットはペリプラズムに輸送されず、QHNDH活性も検出されなかった。以上の結果から、 γ -サブユニットは極めて複雑な翻訳後修飾機構とペリプラズムへの輸送機構をもつと考えられる。

一方、CTQ補酵素の生成機構に関しては、類似のキノン補酵素であるトリプトファントリプトフィルキノンがヘムタンパク質によってペリプラズムにおいて形成されることから、CTQもペリプラズムにおいて合成されると推定され、細胞質に存在するORF2タンパク質はCTQ生成には直接関与していないと考えられる。

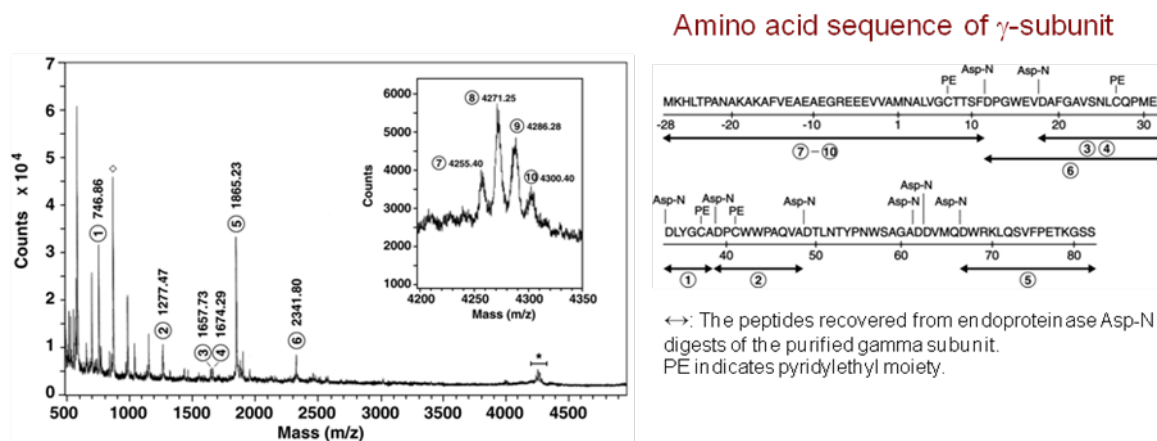


図 4. 質量分析による γ -サブユニット前駆体の解析

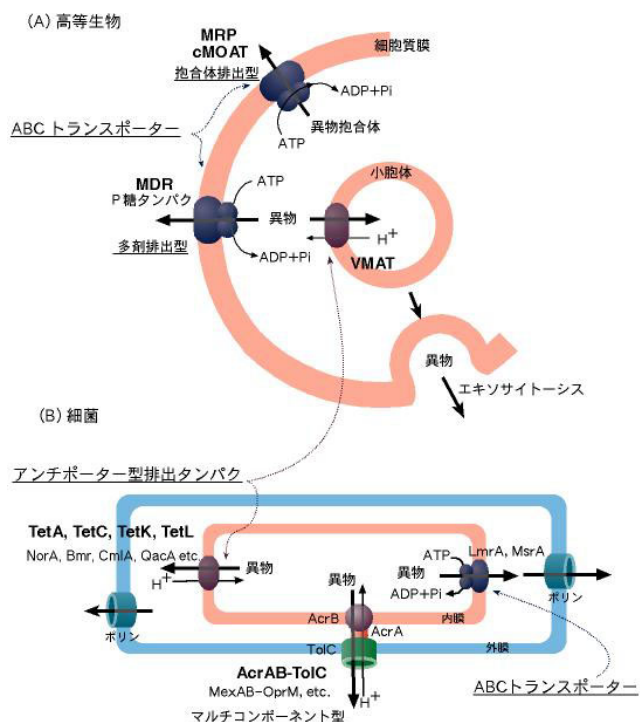
2. ナノマシンとしての薬剤排出蛋白質

生物界には、生体異物排出ポンプと呼ばれる一群の膜輸送体が広く分布していて、細胞レベルにおける最も基本的な生体防御機構となっていることが近年注目されてきている。これらの排出ポンプは、ガン細胞や病原細菌の多剤耐性の原因となるばかりでなく、血液脳関門やその他の組織にも分布していて、さまざまな細胞機能を担っている。私たちは、生体異物排出ポンプの立体構造と分子機構を解明することを目標に研究を進めている。

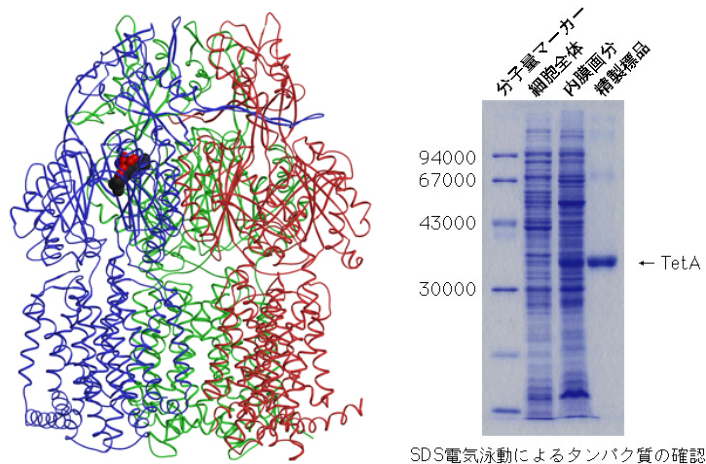
異物排出タンパクは化学構造の大きく異なる幅広い化合物を認識し排出する。そのようなことを可能にする異物認識の分子機構が、基質認識部位のどのような分子構造に支えられているのかはきわめて興味深い。私たちは大腸菌の持つ AcrB 多剤排出蛋白質の立体構造決定に世界に先駆けて成功した。そして 2006 年にはさらに基質結合型 AcrB 結晶の構造解析に成功した。基質は AcrB 三量体のうち一つの単量体のフェニルアラニン

クラスターに結合しており、3量体は非対称で、基質結合→放出→結合準備という膜輸送の3段階それぞれのスナップショットであった。これにより、3量体が機能的に回転して順次結合放出を繰り返すという全く新しい輸送機構モデルが確立された。

また、異物の認識に関しては、AcrBのように化学構造に全く相関のない広範な物質を基質として排出する多剤排出型のものと、特定の化合物のみを排出する単剤排出型のものがある。両者の構造を解明し比較することは異物認識機構の原理を知る上で有効である。私は既に大量産製系が構築されているテトラサイクリン特異的排出タンパク質 TetA を単剤排出型の素材とし、構造解析を目指して研究している。基質を認識するが輸送しない変異体を用いて結晶化条件のスクリーニングをおこなっている。



異物排出タンパクの種類と分布。
高等生物にはATPに依存したABCトランスポーター；
細菌には水素イオンのアンチポーターが多い。



基質結合型 AcrB 結晶構造

論文

1. Initial Repertoire of Anti-(4-hydroxy-3-nitrophenylacetyl) Antibodies as Potential Donors for Effective Affinity Maturation.
K. Furukawa, A. Manabe, A. Furukawa, H. Kuba, T. Okajima, and T. Azuma
Mol. Immunol., 2006, 43, 1751-1760.
2. Hydrogen Tunneling in Bacterial Copper Amine Oxidase Reaction.
T. Murakawa, T. Okajima, S. Kuroda, M. Taki, Y. Yamamoto, H. Hayashi, and K. Tanizawa
Biochem. Biophys. Res. Commun., 2006, 342, 414-423.
3. Kinetic and Structural Studies on the Catalytic Role of the Aspartic Acid Residue Conserved in Copper Amine Oxidase.
Y.-C. Chiu, T. Okajima, T. Murakawa, M. Uchida, M. Taki, S. Hirota, M. Kim, H. Yamaguchi, Y. Kawano, N. Kamiya, S. Kuroda, H. Hayashi, Y. Yamamoto, and K. Tanizawa
Biochemistry, 2006, 45, 4105-4120.
4. Crystal Structures of Cytochrome c_L and Methanol Dehydrogenase from *Hyphomicrobium denitrificans*: Structural and Mechanistic Insights into Interactions between the Two Proteins.
M. Nojiri, D. Hira, K. Yamaguchi, T. Okajima, K. Tanizawa, and S. Suzuki
Biochemistry, 2006, 45, 3481-3492.
5. Involvement of a Putative [Fe-S]-Cluster-binding Protein in the Biosynthesis of Quinohemoprotein Amine Dehydrogenase.
K. Ono, T. Okajima, M. Tani, S. Kuroda, D. Sun, V. L. Davidson, and K. Tanizawa
J. Biol. Chem., 2006, 281, 13672-13684.
6. Secretory Production System of Bionanocapsules Using a Stably Transfected Insect Cell Line.
T. Shishido, M. Muraoka, M. Ueda, M. Seno, K. Tanizawa, S. Kuroda, H. Fukuda, and A. Kondo
Appl. Microbiol. Biotechnol., 2006, 73, 505-511.
7. Conformational Changes during Apoplastocyanin Folding Observed by Photocleavable Modification and Transient Grating.
S. Hirota, Y. Fujimoto, J. Choi, N. Baden, N. Katagiri, M. Akiyama, R. Hulsker, M. Ubbink, T. Okajima, T. Takabe, N. Funasaki, Y. Watanabe, and M. Terazima
J. Am. Chem. Soc., 2006, 128, 7551-7558.
8. Engineered Bio-nanocapsules, the Selective Vector for Drug Delivery System.
D. Yu, T. Fukuda, Tuoya, S. Kuroda S, K. Tanizawa, A. Kondo, M. Ueda, T. Yamada, H.

Tada, and M. Seno

IUBMB Life, 2006, 58, 1-6.

9. Crystal structures of a Multidrug Transporter Reveal a Functionally Rotating Mechanism.

S. Murakami, R. Nakashima, E. Yamashita, T. Matsumoto, and A. Yamaguchi

Nature, 2006, 443, 173-179.

解説・総説

1. 中空バイオナノ粒子を用いた DDS の開発とその産業化

近藤昭彦, 黒田俊一, 谷澤克行, 妹尾昌治, 上田政和

Drug Delivery System, 2006, 4, 435-443.

2. 遺伝子・薬剤の生体内ピンポイントデリバリーを可能にするバイオナノカプセルの現状とこれから.

粕谷武史, 鄭 周姫, 谷澤克行, 黒田俊一

化学と生物, 2006, 44, 760-766.

国際学会

1. Active-site Structure of Copper Amine Oxidase Probed by Three Hydrazine Derivatives Reactive with the TPQ Cofactor (Poster).

T. Murakawa, T. Okajima, M. Taki, Y. Yamamoto, S. Kuroda, H. Hayashi, and K. Tanizawa
Gordon Research Conference on Protein Derived Cofactors, Radicals and Quinones, Jan. 22-27, 2006, Ventura, California, U.S.A.

2. Involvement of a Hypothetical [Fe-S]-binding Protein in the Biosynthesis of Quinohemoprotein Amine Dehydrogenase (Poster).

K. Ono, M. Tani, T. Okajima, D. Sun, V. L. Davidson, S. Kuroda, and K. Tanizawa
Gordon Research Conference on Protein Derived Cofactors, Radicals and Quinones, Jan. 22-27, 2006, Ventura, California, U.S.A.

3. Reaction Mechanism of Bacterial Copper Amine Oxidase: X-ray Crystal Structures of Catalytic Intermediates with Reduced Forms of the TPQ Cofactor (Poster).

T. Okajima, T. Murakawa, S. Kuroda, and K. Tanizawa

Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Suita, Osaka, Japan, January 30-February 1, 2006.

4. Quantum Mechanical Hydrogen Tunneling in Bacterial Copper Amine Oxidase Reaction (Poster).
T. Murakawa, T. Okajima, S. Kuroda, M. Taki, Y. Yamamoto, H. Hayashi, and K. Tanizawa
20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June 18-23, 2006.
5. Reaction Mechanism of Bacterial Copper Amine Oxidase: Conformational Changes of the TPQ Cofactor during the Catalytic Cycle (Poster).
T. Okajima, T. Murakawa, S. Kuroda, K. Tanizawa
20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June 18-23, 2006.
6. Involvement of a Putative Radical SAM Protein in the Posttranslational Formation of Intra-peptidyl Thioether Crosslinks in Quinohemoprotein Amine Dehydrogenase (Poster).
K. Ono, T. Okajima, M. Tani, S. Kuroda, D. Sun, V. L. Davidson, and K. Tanizawa
20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June 18-23, 2006.
7. Anterograde Mitochondrial Transport is Promoted by FEZ1 in Neurites of NGF-differentiated PC12 cells (Poster).
J. Ikuta, A. Maturana, T. Fujita, K. Tanizawa, and S. Kuroda
20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June 18-23, 2006.
8. Improvement of In Vivo Pinpoint Drug Delivery System using Bio-nanocapsules (Poster).
J. JUNG, T. Yamada, A. Kondo, M. Seno, M. Ueda, K. Tanizawa, and S. Kuroda
20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June 18-23, 2006.
9. Pinpoint Drug and Gene Delivery System Using ZZ tag-displaying Bio-nanocapsule and Targeting Molecule-fused IgG Fc protein (Poster).
H. Tono, H. Tada, A. Ueda, A. Kondo, M. Seno, M. Ueda, K. Tanizawa, and S. Kuroda
20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June 18-23, 2006.

10. Hepatitis B Virus Envelope Pre-S peptide Applicable for the Human Liver-specific Protein Delivering System (Poster).
T. Kasuya, A. Uyeda, K. Tanizawa, and S. Kuroda
20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June 18-23, 2006.
11. ENH1 Scaffolds the PKC ϵ -PKD1 Signaling Complex at the Z-discs of Cardiomyocytes (Poster).
M. Ishida, A. Maturara, M. Iwata, J. V. Lint, K. Tanizawa, and S. Kuroda
20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June 18-23, 2006.
12. Novel Functions of a Splice Variant of a RING-IBR Protein RBCK1 in Proteasomal Protein Degradation (Poster).
N. Yoshimoto, K. Tatematsu, K. Tanizawa, and S. Kuroda
20th IUBMB International Congress of Biochemistry and Molecular Biology and 11th FAOBMB Congress, Kyoto, Japan, June 18-23, 2006.
13. Pinpoint Drug and Gene Delivery System Using ZZ-displaying Bio-nanocapsule and Homing Peptide-fused IgG Fc Protein (Poster).
H. Tono, A. Ueda, T. Kasuya, K. Tatematsu, T. Okajima, K. Tanizawa, and S. Kuroda
Sanken International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006, Suita, Osaka, Japan, September 19-20, 2006.
14. Involvement of a Putative Radical SAM Protein in the Posttranslational Formation of Intra-peptidyl Thioether Crosslinks in Quinohemoprotein Amine Dehydrogenase (Poster).
K. Ono, T. Okajima, M. Tani, S. Kuroda, D. Sun, V. L. Davidson, and K. Tanizawa
Sanken International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006, Suita, Osaka, Japan, September 19-20, 2006.

国内学会

1. 枯草菌増殖に必要な二成分情報伝達系タンパク質 YycF の X 線結晶解析
岡島 俊英、岡田 在郎、伊藤潤二、後藤恭宏、土井章弘、山本兼由、谷澤克行、内海龍太郎
日本農芸化学会 2006 年度大会、京都、平成 18 年 3 月 25 日—28 日

2. 枯草菌の二成分制御系 YycF の結晶構造と大腸菌 PhoB との類似性
土井 章弘, 岡田 在郎, 後藤 恭宏, 岡島 俊英, 内海 龍太郎
日本農芸化学会関西支部大会 (第 446 回講演会)、京都、平成 18 年 9 月 30 日—10 月 1 日
3. キノヘモプロテイン・アミン脱水素酵素の触媒サブユニットの翻訳後修飾機構の解明に向けて
小野 和利、長見 篤、新山 真由美、岡島 俊英、谷澤 克行
平成 18 年度酵素・補酵素を楽しむ会、別府、平成 18 年 10 月 6 日—7 日

科研費、助成金等

1. 谷澤 克行
科学研究費・基盤研究 (B)
「ペプチド・ビルトイン型キノン補酵素の生合成機構と触媒機能」
2. 谷澤 克行
受託研究 「構造生物化学及び機能生物化学分野に関する学術動向の調査・研究」
日本学術振興会
3. 谷澤 克行
受託研究 (生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業 [異分野融合研究開発型]) 「酵母由来中空バイオナノ粒子を用いる革新的超高感度バイオセンシング技術の開発」 農業・生物系特定産業技術研究機構
4. 谷澤 克行
受託研究 (NEDO基盤技術研究促進事業 [民間基盤技術研究支援制度]) 「ゲノム研究成果産業利用のための細胞内シグナル網羅的解析技術」 三菱電機
5. 谷澤 克行
受託研究 (戦略的創造研究推進事業CREST) 「細胞対話型分子システムを用いる革新的遺伝子送達概念の創製」 科学技術振興機構
6. 谷澤 克行
谷澤教授研究助成金 ビタミン B 研究協議会
7. 岡島 俊英

科学研究費・基盤研究 (B)

「プロトン・電子移動を伴うビルトイン型キノン補酵素依存性酵素の精密反応機構」

8. 岡島 俊英

受託研究 (生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業 [異分野融合研究開発型]) 「情報伝達阻害剤の作用機構解析と細菌情報ネットワークの立体構造解析」 農業・生物系特定産業技術研究機構

9. 中島良介

科学研究費・若手研究 B

「テトラサイクリン排出タンパク質の結晶化」

特許

該当なし

学会活動

谷澤 克行

所属学会：日本生化学会、日本農芸化学会、日本ビタミン学会、日本生物工学会、日本タンパク質科学会、米国生化学・分子生物学会、米国化学会 他
役職：アジア・オセアニア生化学・分子生物学連合 (FAOBMB) 日本代表
日本生化学会評議員、日本農芸化学会評議員、日本ビタミン学会評議員

岡島 俊英

所属学会：日本生化学会、日本蛋白科学会、日本農芸化学会、日本分子生物学会、米国蛋白質学会

共同研究

谷澤 克行、岡島 俊英

1. 「銅含有アミン酸化酵素の構造機能解析」

山口 宏（関西学院大学）、山本 育男（京都大学大学院）、林 秀行（大阪医科大学）、村川 武志（大阪医科大学）、廣田 俊（京都薬科大学）

2. 「キノヘムプロテイン・アミン酸化酵素の補酵素生成機構の解明」

V. Davidson（Univ. of Mississippi, USA）、S. Mathews（Washington Univ.）

岡島 俊英

1. 「機能性抗体分子の開発」

古川 功治（産業技術総合研究所）

中島 良介

1. 「異物排出膜輸送体の結晶構造解析」

村上 聡（大阪大学産業科学研究所）、山口 明人（大阪大学産業科学研究所）、山下 栄樹（大阪大学蛋白質研究所）

大阪大学・産業科学研究所

ナノ量子ビーム研究部門 **量子ビームナノファブリケーション研究分野**

(吉田陽一研究室)

所在地 〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1 FAX 06-6879-4287

構成

教授 吉田 陽一 (Yoichi YOSHIDA) TEL:06-6879-4284, E-mail:yoshida@sanken.osaka-u.ac.jp

助教授 楊 金峰 (Jinfeng YANG) TEL:06-6879-4285, E-mail: yang@sanken.osaka-u.ac.jp

特任教授 小方 厚 (Atsushi OGATA) TEL:06-6879-4285, E-mail:ogata81@sanken.osaka-u.ac.jp

学生 D1: 1名, M2:2名, M1:2名, B4:3名, 秘書: 寺下美絵

研究概要

極限量子ビームナノファブリケーションの研究

阪大産研では、S-バンドレーザーフォトカソード RF 電子銃ライナックの研究開発を行い、低エミッタンスシングルバンチのフェムト秒電子ビームの発生を行っている。発生した極限短電子線パルスを用いてフェムト秒・アト秒という高時間分解能を持つパルスラジオリシスを開発し、時間空間反応解析を通して、量子ビーム誘起初期過程の本質を明らかにし、微細加工の精度を決めるナノ空間における反応機構の解明を行っている。

平成 18 年度には、パルスラジオリシスの時間分解能を向上するため、サンプル中での光と電子の速度差による時間分解能の劣化が生じない等価速度分光法パルスラジオリシス測定システムの開発を行い、ライナックでのエネルギー変調と磁気パルス圧縮との組み合わせにより、等価速度分光法に最も重要である電子線パルス形状の制御と計測に成功した。サブフェムト秒・アト秒パルスラジオリシスの基礎研究として、同期ジッターをなくすことのできるダブルデッカー電子ビーム利用したパルスラジオリシスの測定システムを開発する共に、サブフェムト秒・アト秒電子パルスの発生方法をシミュレーションなどにより検討した。

1. 等価速度分光法フェムト秒パルスラジオリシスの研究

等価速度分光法フェムト秒パルスラジオリシスの測定システムを図 1 に示す。本測定システムは、フォトカソードRF電子銃ライナックと分析用のフェムト秒レーザー、時間ジッター補正と電子バンチ波面の測定に用いるフェムト秒ストリークカメラから構成されている。光吸収の測定には、Siフォトダイオードを用いた。分析レーザー

光をレーザー室から照射室内の照射位置まで約50m輸送する必要がある。伝搬中、光強度の変動による測定のス/Nの劣化を防止するために、AOMパルスセクターを用いて、繰り返し79.3MHzのフェムト秒レーザーパルスから数パルスを切り出し、ダブルパルス測定法を採用した。ダブルパルス法では、近接するパルスから参照光を取り出すため、ドリフト、振動、音波などの低周波数の光強度の変動を除去することができる。その結果、S/N比が、従来のシングルパルス法の場合の4.7%から1.8%まで改善でき、微小なODも測定可能となった。

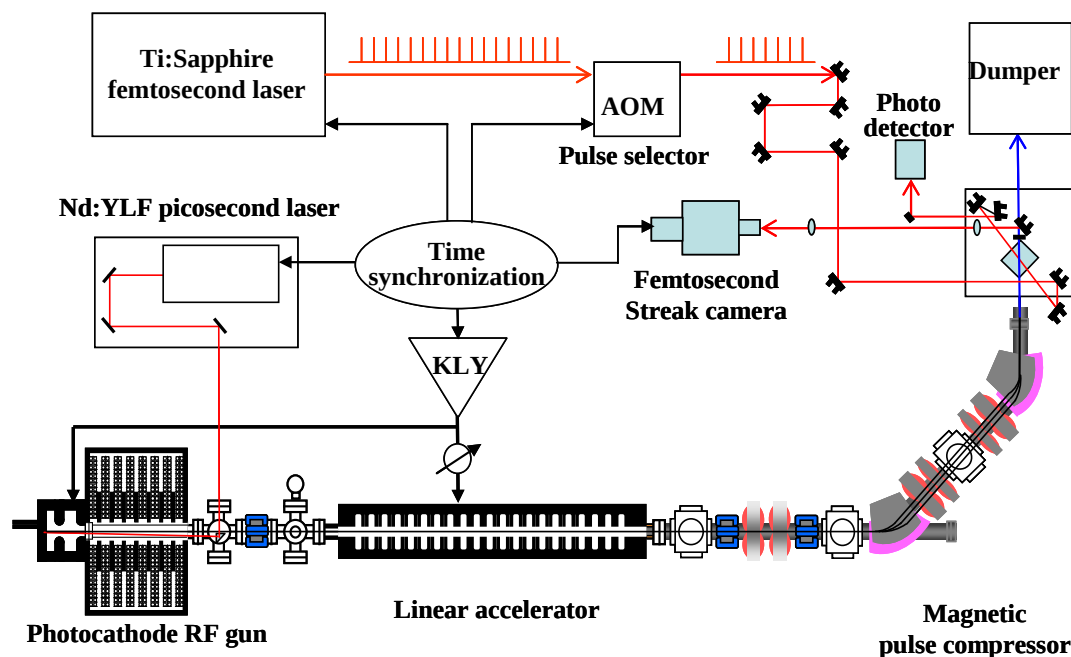


図1 フェムト秒パルスラジオリシスシステム

本測定では、分析光レーザーのオシレーターは、クロックロックにより電子ビーム加速用の2856MHzのRFを分周した79.3MHzのRFの位相に同期されている。レーザーパルスと電子パルスの時間同期ジッターが1ps以内に抑えられたが、フェムト秒の時間分解能を実現するために、フェムト秒ストリークカメラを用いた時間ジッター補正システムを導入した。

電子線パルスが発したチェレンコフ光とレーザーパルス光を測定したストリークカメラ像を図2に示した。レーザーと電子線の同期ジッターによる時間分解能の劣化を200フェムト秒以下に抑えられることを確認した。

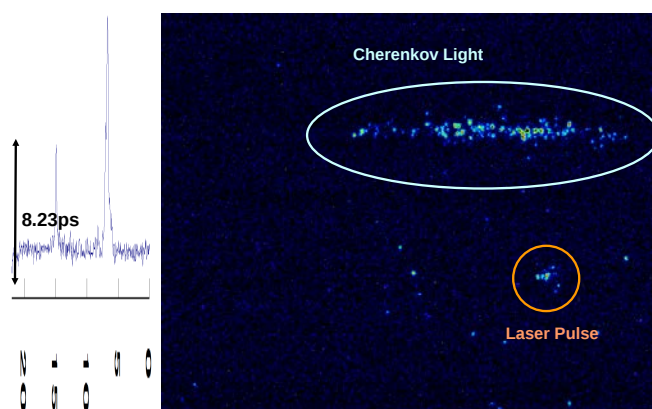


図2 電子パルスが発したチェレンコフ光と、レーザー光のストリークカメラ像

本年度は等価速度分光法に最も重要である電子パルス形状の制御技術と計測技術を開発した。等価速度分光法の概念を図3に示した。サンプルの屈折率が n の時、サンプル中での光速は $v_1=c/n$ となり、サンプル中でもほぼ光速を保つ電子との間に速度差が生じる。この速度差が時間分解能劣化を生じ、これまでフェムト秒電子線パルスラジオリシスを不可能にしていた。等価速度分光法では、電子線と分析光を斜めに入射し、電子線の光方向速度成分がサンプル中での光速と等しくなるように配置する。その上で、電子パルスと光パルスが重なりながら交差するように電子線パルスの形状を制御する（波面を回転させる）。電子パルスの回転角度が、交差領域での時間分解能劣化に反映される。このために、電子パルス形状を計測する技術と形状を制御（回転させる）技術が必要である。

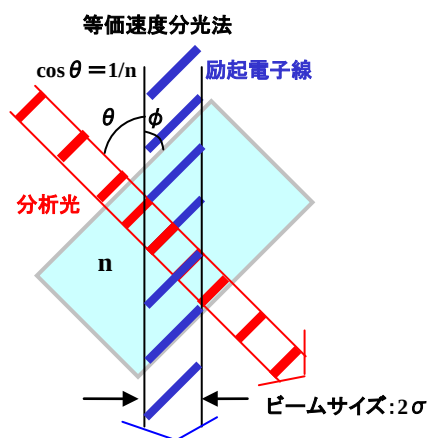


図3 等価速度分光法

電子パルス形状の制御は、電子加速のRF位相と、2台の偏向電磁石と4台の四極電磁石から構成された磁気パルス圧縮器での磁場分布の調整により行われた。電子パルス形状の評価は、フェムト秒ストリークカメラを用いて電子パルスから発するチェレンコフ光を測定することにより行われた。図4に、電子加速のRF位相とサンプルでの電子パルスの形状を示す。電子加速のRF位相が 418° のとき、サンプル位置での電子パルス波面の回転が約 42° であり、水サンプルを用いた時の最適の角度であった。従って、回転された電子パルスを利用することにより、水中での分析光と電子の速度差による時間分解能劣化の問題が一気に解決できる。また、サンプルの長さに依存しないため、電荷量が低い電子ビームを用いても高いS/Nを得ることができる。

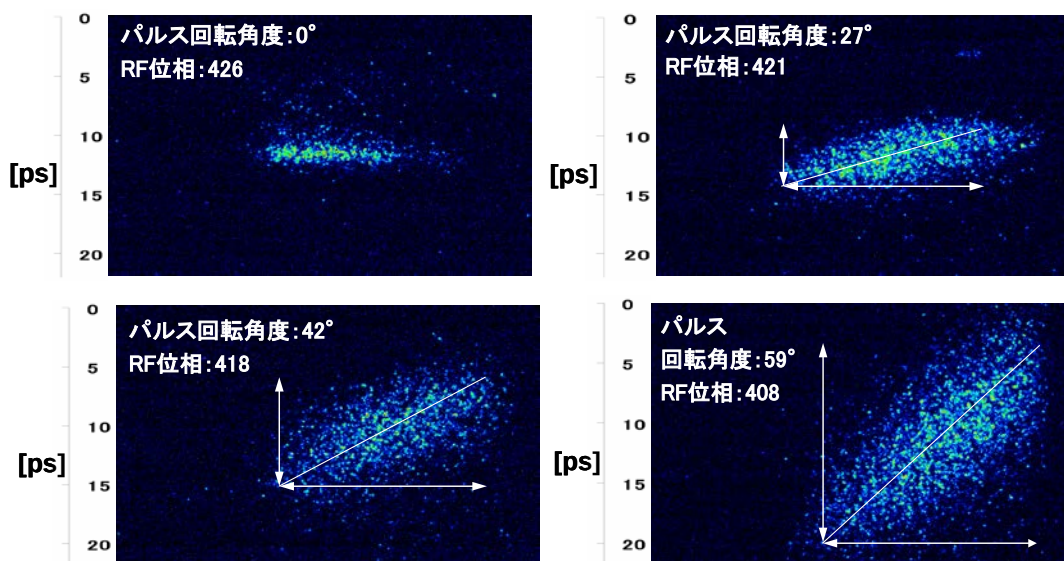


図4 電子パルス形状の制御と測定結果

2. ダブルデッカー電子ビームパルスラジオリシスの研究

電子線パルスと分析光パルスの同期ジッターを無くすため、従来の分析レーザーを使わない、昨年度に発生したダブルデッカー電子ビームを利用したパルスラジオリシスの研究を行った。ダブルデッカー電子ビームは、フォトカソードへの入射レーザーを分岐して加速RF周期350psの整数倍の時間差をつけてカソードに入射させて電子を発生するため、原理的には同期ジッターが生じないという利点がある。

本年度は、ダブルデッカー電子ビームを用いたパルスラジオリシスに最も重要である電子線パルスから分析光パルスの発生を研究した。そこで、空气中よりも1000倍程強力な分析光を得るために、チェレンコフラジエータを設計した。チェレンコフラジエータを作成し、石英中でのチェレンコフ放射による分析光パルスの発生実験を行った。図5にチェレンコフラジエータの設計図を示した。これを基に作成したラジエータが、左下写真である。これに電子線パルスを照射したときの発光をCCDカメラで観測したのが写真中央下である。非常に強い分析光パルスの発生に成功した。発生した分析光を用いたダブルデッカーパルスラジオリシス測定系を図5右側に示した。チェレンコフラジエータで発生した分析光は、光学遅延とウェッジを通して斜めにサンプルに入射し、フォトマルで測定する。等価速度分光法を行うため、電子波面を回転したことによるチェレンコフ光パルスの斜めの波面をウェッジを通して元に戻す。

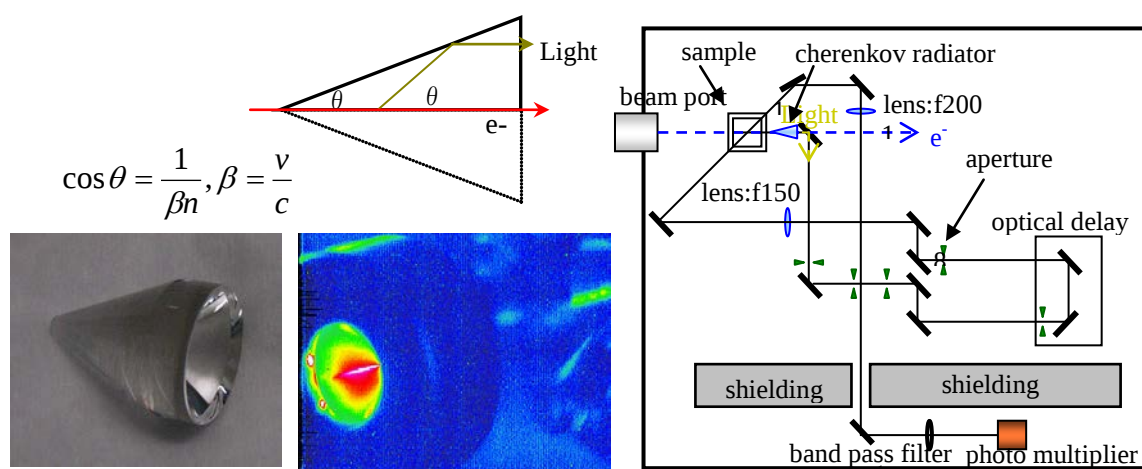


図5 チェレンコフラジエータとダブルデッカーパルスラジオリシスシステム。

加えて、チェレンコフ放射より光発散角度が小さく、光パルス発生が境界面で起きるためにパルス幅の伸長がほとんど生じないOptical Transition Radiation (OTR光)についても検討した。Al蒸着ミラーによるOTR光の発生実験も行った。両者とも、パルスラジオリシスのために、非常に強い分析光が得られた。

3. サブフェムト秒・アト秒電子パルス発生の研究

サブフェムト秒・アト秒電子線パルスを発生するためには、エミッタンス、空間電荷効果、磁気パルス圧縮中高次効果によるパルス幅増大の解明が必要である。特に、磁気パルス圧縮器における高次効果の補正は、アト秒電子線パルスの生成には極めて重要である。そこで、我々は、フォトカソード RF 電子銃にフェムト秒レーザー照射による極低エミッタンス電子ビームを発生し、ライナックでの電子パルスの非線形エネルギー変調による磁気パルス圧縮中高次効果の補正法を考案し、サブフェムト秒・アト秒電子線パルスの発生研究を行った。特に、磁気パルス圧縮器における2次と3次の効果は、フェムト秒・アト秒電子線パルスの生成には極めて問題となり、補正する必要がある。磁場による電子パルスの圧縮は、ライナックでエネルギー変調した電子が磁場中を通過するパスの差を調整することにより行われ、そのパスの差とエネルギーの関係は次の式で表せる。

$$\Delta z = R_{56} \left(\frac{\Delta E}{E} \right) + T_{566} \left(\frac{\Delta E}{E} \right)^2 + U_{5666} \left(\frac{\Delta E}{E} \right)^3$$

ここで、 $\Delta E/E$ はエネルギー分散、 R_{56} 、 T_{566} 、 U_{5666} はそれぞれ磁気パルス圧縮中の線形項と、非線形の2次、3次の項である。その2次と3次の効果は、磁気パルス圧縮器における偏向電磁石のフリンジングフィールド(電子ビームの進行方向に対して横方向の磁場)と、四極電磁石のフリンジングフィールド($x(y)$ 方向に純粋な1次でない)に起因する。このフリンジングフィールドによる影響が電子ビームの進行方向において収差を起し、パルス幅増大の原因となる。本磁気パルス圧縮器において、 R_{56} は-63 mm に対して $|T_{566}|$ は 560 mm 以上、 $|U_{5666}|$ は 1000mm 以上であった。フェムト秒超短電子パルス発生には、2次以上の高次効果を補正もしくは低減する必要がある。

これを解決するために、我々はライナックでの電子パルスの非線形エネルギー変調による磁気パルス圧縮器中の2次効果の補正方法を考案した。シミュレーションにより、電荷量が 0.1nC のときフォトカソード RF 電子銃ライナックにおいて最短で 78fs の電子パルスが発生できることが分かった。空間電荷効果を低減するために電荷量を減らした結果、1フェムトクーロンまで減らすと、最短で、640アト秒の電子線パルスが発生できることが分かった (図 6)。

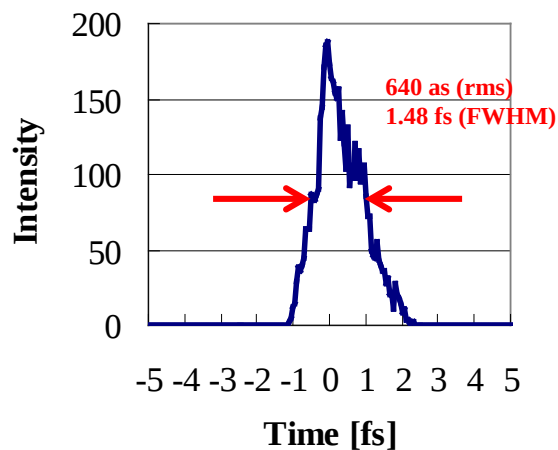


図 6: アト秒電子線パルス発生シミュレーション結果

論文

- 1) J. Yang, T. Kondoh, K. Kan, T. Kozawa, Y. Yoshida, S. Tagawa, Femtosecond single electron bunch generation by rotating longitudinal bunch phase space in magnetic field Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 556, 52-56, 2006.
- 2) J. Yang, T. Kondoh, T. Kozawa, Y. Yoshida, S. Tagawa , Pulse radiolysis based on a femtosecond electron beam and a femtosecond laser light with double-pulse injection technique, Radiation Physics and Chemistry, 75, 1034-1040, 2006.
- 3) Jinfeng Yang, Takafumi Kondoh, Akira Yoshida, Youichi Yoshida, Double-decker femtosecond electron beam accelerator for pulse radiolysis, Review of Scientific Instruments, 77, 043302, 2006.
- 4) T. Kondoh, J. Yang, T. Kozawa, S. Tagawa, and Y. Yoshida, Equivalent Velocity Spectroscopy for Femtosecond Pulse Radiolysis, Japanese Journal of Applied Physics, to be published
- 5) J. Yang, K. Kan, T. Kondoh, A. Yoshida, Y. Yoshida , Femtosecond Single-bunch Electron Linear Accelerator Based on a Photocathode RF Gun, Proceedings of EPAC 2006, Edinburgh, Scotland, 2514-2516, 2006.
- 6) S. Takemoto, T. Kondoh, J. Yang, Y. Yoshida , Equivalent Velocity Spectroscopy Based on Femtosecond Electron Beam Accelerator, Proceedings of EPAC 2006, Edinburgh, Scotland, 2511-2513, 2006.
- 7) K. Kan, T. Kondoh, J. Yang, Y. Yoshida , Higher-order Effect Compensation in Magnetic Compressor for < 50 fs Electron Bunch Generation, Proceedings of EPAC 2006, Edinburgh, Scotland, 2502-2504, 2006.
- 8) Y. Kuroda, T. Kondoh, J. Yang, Y. Yoshida , Development of Double-decker Electron Beam Accelerator for Femto/attosecond Pulse Radiolysis, Proceedings of EPAC 2006, Edinburgh, Scotland, 2505-2507, 2006.
- 9) T. Kondoh, S. Tagawa, J. Yang, Y. Yoshida , Electron Beam Pulse Processing toward the Intensity Modified Radiation Therapy (IMRT), Proceedings of EPAC 2006, Edinburgh, Scotland, 2334-2336, 2006.

国際会議

- 1) J. Yang, K. Kan, T. Kondoh, A. Yoshida, T. Kozawa, Y. Yoshida and S. Tagawa, Generation of femtosecond electron beam for ultrafast reaction analysis in nanospace, Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, 2006, Jan.30-Feb.1, Osaka Univ.
- 2) Y. Yoshida, Generation of 98-Femtosecond Single Electron Bunch in Photocathode Linear Accelerator, SANKEN International Symposium 2006 (SIS-2006), Feb.8-9, 2006, Osaka, Japan.
- 3) Takafumi Kondoh, Jinfeng Yang, Akira Yoshida, Tamotsu Yamamoto, Yoichi Yoshida and Seiichi Tagawa, Generation of a gradation electron beam pulse toward the intensity modified radiation therapy (IMRT), SANKEN International Symposium 2006 (SIS-2006), Feb.8-9, 2006, Osaka, Japan.
- 4) K. KAN, J. YANG, T. KONDOH, A. YOSHIDA, Y. YOSHIDA, Study of Beam Dynamics in photocathode RF Linac and Magnetic Bunch Compressor for Femtosecond Electron Bunch Generation, SANKEN International Symposium 2006 (SIS-2006), Feb.8-9, 2006, Osaka, Japan.
- 5) J. Yang, K. Kan, T. Kondoh, A. Yoshida, T. Kozawa, Y. Yoshida and S. Tagawa, 100-femtosecond electron beam generation and ultrafast reaction analysis in nano-space, SANKEN International Symposium 2006 (SIS-2006), Feb.8-9, 2006, Osaka, Japan.
- 6) A. Asano, J. Yang, T. Kondoh, A. Yoshida and Y. Yoshida, A new picosecond pulse radiolysis based on a photocathode linear accelerator, SANKEN International Symposium 2006 (SIS-2006), Feb.8-9, 2006, Osaka, Japan.
- 7) Yoichi Kuroda, Jinfeng Yang, Takafumi Kondoh, Akira Yoshida, Yoichi Yoshida, A concept of double-decker electron beam accelerator for att/femtosecond reaction analysis, SANKEN International Symposium 2006 (SIS-2006), Feb.8-9, 2006, Osaka, Japan.
- 8) Akira Yoshida, Yang Jinfeng, Takafumi Kondoh, Yoichi Yoshida, Atsushi Ogata, 3D-Measurement for Short Electron Bunch, SANKEN International Symposium 2006 (SIS-2006), Feb.8-9, 2006, Osaka, Japan.
- 9) Takafumi Kondoh, Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida and Seiichi Tagawa, Electron Beam

Pulse Processing toward the Intensity Modified Radiation Therapy (IMRT), Proceedings of the 2006 European Particle Accelerator Conference, Edinburgh, Scotland, 26-30 June, 2006, WEPOCH172, (2006)

- 10) Koichi Kan, Takafumi Kondoh, Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida, Higher-order Effect Compensation in Magnetic Compressor for <50fs Electron Bunch, Proceedings of the 2006 European Particle Accelerator Conference, Edinburgh, Scotland, 26-30 June, 2006, WEPLS054, (2006)
- 11) Yoichi Kuroda, Takafumi Kondoh, Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida, Development of Double-decker Electron Beam Accelerator for Femto/attosecond Pulse Radiolysis, Proceedings of the 2006 European Particle Accelerator Conference, Edinburgh, Scotland, 26-30 June, 2006, WEPLS055, (2006)
- 12) Susumu Takemoto, Takafumi Kondoh, Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida, Equivalent Velocity Spectroscopy Based on Femtosecond Electron Beam Accelerator, Proceedings of the 2006 European Particle Accelerator Conference, Edinburgh, Scotland, 26-30 June, 2006, WEPLS057, (2006)
- 13) Jinfeng Yang, Takafumi Kondoh, Yoichi Yoshida, Femtosecond Single-bunch Electron Linear Accelerator Based on a Photocathode RF Gun, Proceedings of the 2006 European Particle Accelerator Conference, Edinburgh, Scotland, 26-30 June, 2006, WEPLS058, (2006)
- 14) Jinfeng Yang, High-brightness electron source based on photocathode RF gun in Osaka Univ., Agenda for 7th Beam Physics Seminar in Pusan (JSPS Core University Program), 13th September, Pusan National University, Korea, (2006)
- 15) Jinfeng Yang, 1 mm-mrad electron beam at 1 nC, Agenda for 7th Beam Physics Seminar in Pusan (JSPS Core University Program), 13th September, Pusan National University, Korea, (2006)
- 13) Takafumi Kondoh, Jinfeng Yang, Tamotsu Yamamoto, Yoichi Yoshida and Seiichi Tagawa, SPATIAL MODULATION OF ELECTRON BEAM FOR THE IMRT, SANKEN International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006 (SISNN-2006), Sep. 19-20, 2006, Osaka Univ. (2006)
- 14) Jinfeng Yang, Koichi Kan, Yoichi Kuroda, Takafumi Kondoh and Yoichi Yoshida,

Ultrashort Electron Beam for Reaction Analysis in Nanofabrication, SANKEN International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006 (SISNN-2006), Sep. 19-20, 2006, Osaka Univ. (2006)

- 15) Yoichi Yoshida, Jinfeng Yang, Takafumi Kondoh, Takahiro Kozawa, Seiichi Tagawa, Femtosecond pulse radiolysis based on photocathode electron accelerator, The 1st ASIAN-PACIFIC SYMPOSIUM ON RADIATION CHEMISTRY, 17-21 Sep. , 2006, Shanghai, China,(2006)
- 16) Jinfeng Yang, Ryuji Nagaishi, Takafumi Kondoh, Yoichi Yoshida, Pulse radiolysis study on solvated electrons in ionic liquid with controlling water content, The 1st ASIAN-PACIFIC SYMPOSIUM ON RADIATION CHEMISTRY, 17-21 Sep. , 2006, Shanghai, China,(2006)
- 17) Takafumi Kondoh, Hiroaki Kashima, Jinfeng Yang, Tamotsu Yamamoto, Yoichi Yoshida, Seiichi Tagawa, Processing of incident light by the DMD for the photocathode RF gun, 5th 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter- Nanoscience” International symposium, Awaji Yumebutai International Conference Center, Japan, Dec. 8-9, 2006
- 18) Ogata, T. Kondoh, J. Yang, Y. Yoshida, Collective Ionization by Attosecond Electron Bunches, 5th 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter- Nanoscience” International symposium, Awaji Yumebutai International Conference Center, Japan, Dec. 8-9, 2006
- 19) K. Kan, J. Yang, T. Kondoh, Y. Yoshida, Simulation study on sub-femtosecond electron bunch generation, 5th 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter- Nanoscience” International symposium, Awaji Yumebutai International Conference Center, Japan, Dec. 8-9, 2006
- 20) Jinfeng Yang, Takafumi Kondoh, Takahiro Kozawa, Yoichi Yoshida, Seiichi Tagawa, Femtosecond Electron Beam and Femtosecond Pulse Radiolysis for Reaction Analysis in Nano-space, 5th 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter- Nanoscience” International symposium, Awaji Yumebutai International Conference Center, Japan, Dec. 8-9, 2006

国内会議

- 1) 近藤孝文、楊金峰、菅晃一、吉田陽一、柴田裕実、田口光正、小嶋拓治, イオンビーム励起時間分解吸収分光法, 第1回高崎量子応用研究シンポジウム
- 2) Takafumi Kondoh, Jinfeng Yang, Koichi Kan, Yoichi Kuroda, Susumu Takemoto Akira Asano, Akira Yoshida, Yoichi Yoshida and Seiichi Tagawa, Development of femto second pulse radiolysis, PROCEEDINGS OF THE 3rd ANNUAL MEETING OF PARTICLE ACCELERATOR SOCIETY OF JAPAN AND TH 31TH LINEAR ACCELERATOR MEETING IN JAPAN, WO18 p.48-p.50, (2006)
- 3) Jinfeng Yang, Koichi Kan, Yoichi Kuroda, Takafumi Kondoh, Akira Yoshida, Tamotsu Yamamoto, Takahiro Kozawa, Yoichi Yoshida, Seiichi Tagawa, Photocathode RF gun linear accelerator in Osaka University, PROCEEDINGS OF THE 3rd ANNUAL MEETING OF PARTICLE ACCELERATOR SOCIETY OF JAPAN AND TH 31TH LINEAR ACCELERATOR MEETING IN JAPAN, WO15 p.39-p.41, (2006)
- 4) Koichi Kan, Jinfeng Yang, Takafumi Kondoh, Akira Yoshida, Yoichi Yoshida, Stabilities of Femtosecond Electron Beam based on Photocathode Linac, PROCEEDINGS OF THE 3rd ANNUAL MEETING OF PARTICLE ACCELERATOR SOCIETY OF JAPAN AND TH 31TH LINEAR ACCELERATOR MEETING IN JAPAN, TP10, P.538-p.540, (2006)
- 5) Susumu Takemoto, Takafumi Kondoh, Jinfeng Yang, Yoichi Yoshida, Measurement System of Femtosecond Pulse Radiolysis Based on Photocathode Linac, PROCEEDINGS OF THE 3rd ANNUAL MEETING OF PARTICLE ACCELERATOR SOCIETY OF JAPAN AND TH 31TH LINEAR ACCELERATOR MEETING IN JAPAN, TP19 p.562-p.564 , (2006)
- 6) Yoichi Kuroda, Jinfeng Yang, Takafumi Kondoh, Akira Yoshida, Yoichi Yoshida, Development of double-decker electron beam accelerator and its application for pulse radiolysis, PROCEEDINGS OF THE 3rd ANNUAL MEETING OF PARTICLE ACCELERATOR SOCIETY OF JAPAN AND TH 31TH LINEAR ACCELERATOR MEETING IN JAPAN, TP77 p.732-p.734, (2006)
- 7) 近藤孝文、楊金峰、菅晃一、吉田陽一、田口光正、小嶋拓治、柴田裕実、イオンビーム

ームパルスラジオリシス, 第 49 回放射線化学討論会, 高崎, 2006 年 10 月 12 日～14 日

- 8) 楊金峰, 近藤孝文, 武本将, 菅晃一, 黒田洋一, 古澤孝弘, 吉田陽一, 田川精一, フェムト秒パルスラジオリシスの研究, 第 49 回放射線化学討論会, 高崎, 2006 年 10 月 12 日～14 日
- 9) 黒田洋一, 楊金峰, 近藤孝文, 吉田亮, 吉田陽一, ダブルデッカー電子ビームを用いたパルスラジオリシスシステム, 第 49 回放射線化学討論会, 高崎, 2006 年 10 月 12 日～14 日
- 10) 武本将, 近藤孝文, 楊金峰, 吉田陽一, 等価速度分光パルスラジオリシス, 第 49 回放射線化学討論会, 高崎, 2006 年 10 月 12 日～14 日
- 11) 浅野晃, 近藤孝文, 楊金峰, 永石隆二, 高橋憲司, 吉田陽一, ピコ秒パルスラジオリシス法によるイオン液体中の溶媒和電子の挙動の解明, 第 49 回放射線化学討論会, 高崎, 2006 年 10 月 12 日～14 日
- 12) 近藤孝文, 加嶋宏章, 楊金峰, 吉田陽一, 新規 IMRT のための電子ビーム強度変調, 第 4 回高輝度・高周波電子銃研究会, 東海村, 2006 年 11 月 20-21 日
- 13) 楊金峰, 近藤孝文, 吉田陽一, 阪大産研フォトカソード RF 電子銃の現状, 第 4 回高輝度・高周波電子銃研究会, 東海村, 2006 年 11 月 20-21 日

共同研究

- 1) フォトカソード RF 電子銃と高品質電子ビームの開発
住友重機械工業株式会社技術開発センター
- 2) ナノストラクチャー内放射線誘起反応高時間分解測定
日本原子力研究開発機構 東海研究所
- 3) パルスラジオリシス法を用いたイオン液体の研究
日本原子力研究開発機構 東海研究所
- 4) イオンパルスラジオリシス法による中間活性種の挙動の解明
日本原子力研究開発機構 高崎研究所

- 5) イオンビームによる超微細構造体の形成
日本原子力研究開発機構 高崎研究所
- 6) 金属酸化物微粒子による電子線誘起水素発生の研究
大阪府立大学
- 7) 粒子線がん治療のためのビーム制御に関する研究
放射線医学総合研究所
- 8) 高輝度高速応答金属酸化物電子ビームモニターの開発
東京大学

科研費・助成金等

- 1) 吉田陽一, 科学研究費補助金 基盤研究(A)、研究課題「サブフェムト秒・アト秒パルスラジオリシス等価速度分光法の研究」、29,800 千円、H18-20
- 2) 楊金峰, 科学研究費補助金 基盤研究(C), 研究課題「高速重イオンビーム励起時間分解吸収分光法の基礎研究」, 1,800 千円

ナノ量子ビーム研究部門

ナノ量子ビーム開発分野

磯山悟朗（いそやま ごろう）

略歴

- 1973年 東北大学理学部物理第二学科卒業
- 1978年 東北大学大学院理学研究科原子核理学専攻博士後期課程修了
- 1978年 日本原子力研究所東海研究所核融合特別研究生
- 1979年 東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設助手
- 1989年 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所極短紫外光実験施設助教授
- 1994年 大阪大学産業科学研究所教授



専門分野 : 加速器物理学

所属学会 : 日本物理学会、放射光学会、放射線安全管理学会、日本加速器学会

私の専門分野は、加速器科学と、放射光や自由電子レーザーなどの新しい量子ビームの開発研究です。加速器量子ビーム実験室の加速器の高性能化や高安定化と、低速陽電子ビームや遠赤外自由電子レーザーなどの高輝度量子ビームの開発研究を通じて、産業科学ナノテクノロジーセンターに貢献したいと思います。

趣味： 身体を動かすこと

誉田義英（ほんだ よしひで）

略歴

- 1981年 名古屋大学理学部物理学科卒業
- 1983年 大阪大学大学院工学研究科電磁エネルギー工学専攻博士前期課程修了
- 1988年 大阪大学大学院工学研究科電磁エネルギー工学専攻博士後期課程退学
- 1988年 大阪大学産業科学研究所助手
- 1989年 工学博士（大阪大学）
- 2003年 大阪大学産業科学研究所助教授



専門分野 : 放射線科学

所属学会 : 日本物理学会、応用物理学会、日本原子力学会

木村徳雄 (きむら のりお)

略歴

1971年 近畿大学理工学部応用化学科卒業
1971年 大阪大学産業科学研究所、教務職員
1979年 大阪大学産業科学研究所、助手
1996年 博士(工学)(大阪大学)

専門分野 : 物理有機化学、有機薄膜

所属学会 : 日本化学会

趣味 : 山歩き



1. 電子線形加速器の高性能化とナノ量子ビームの研究

加速器量子ビーム実験室の電子線形加速器は、ナノサイエンスやナノテクノロジー分野での基礎研究と応用研究やビーム科学の研究に活発に利用されている。これらの研究を画期的に進展させるために、輝度の高い量子ビームが必要不可欠である。高輝度量子ビームを発生するために用いる電子加速器に高い安定性が要求される。

L バンド電子ライナックは、加速器量子ビーム実験室の主要な装置の一つであり、パルスラジオリシスによるサブピコ秒・ナノメートル領域の時空間反応解析や遠赤外自由電子レーザー (FEL) の研究に利用されている。L バンド電子ライナックのタイミングシステムシステムは、加速器の運転とパルスラジオリシスなどの実験の両方に使われる。タイミングシステムの時間精度を向上させるために、同期回路を更新した。これまで、Phillips 社のコインシデンスモジュール (PS-756) と他の NIM モジュールを組み合わせて同期回路を形成しており、1300 MHz RF と電子銃のトリガーパルスとの同期精度は約 5.8 ps であった。今回、高速の GaAs-RF スイッチ (MiniCircuit 社 ZASW-2-50DR) を使い 27 MHz のクロックパルスからタイミング信号を切出す事で同期精度を約 2 ps 以下まで向上させる事ができた。このスイッチを用いた同期回路のジッターを測定したところ、入力信号のジッター $\sigma = 1.03\text{ps}$ に対し、RF スイッチの出力は $\sigma = 1.17\text{ps}$ であり、この同期回路自身のジッターは $\sigma = 0.55\text{ps}$ と見積もられる。

S バンドライナックには現在 2 種類あるが、本研究室における陽電子に関連する実験では、従来からの 3 本の加速管を使用する、代表的電子エネルギーが 100 MeV の電子ライナックを主として利用している。前年度は直流電源に関するトラブルの原因が電圧制御系のフィードバック回路に乗るノイズが原因であることがわかったため、接地系の配線のし直し、電源内ノイズ除去フィルターの改良や時定数の変更などを行ったが、依然として長時間安定に運転することはできなかった。今年度も引き続き接地系の取り回しやケーブルの交換等を行ったが、長時間安定に運転を行うことができなかった。そこで、矩形パルス形成回路およびサイラトロンの放電回路を含むモジュレーター筐体を更新することにした。来年度は新たな筐体を用いて安定な連続運転を目指す。

2. 陽電子を用いた高分子内自由体積の研究

高分子材料中におけるナノスケールサイズの自由体積は高分子の性質に大きく寄与するため、自由体積サイズや分布を評価することは、高機能高分子材料を設計・製作する上で重要である。多くの高分子材料内では入射陽電子の一部は周囲の電子とともに水素様のポジトロニウム (Ps) と呼ばれる原子を形成する。特にお互いのスピンの平行のものはオルソポジトロニウム (o-Ps) と呼ばれ、高分子内の自由体積評価に利用されている。

従来から行われてきている陽電子を用いた自由体積評価のための測定法として

o -Ps の寿命測定や S パラメーター測定がある。これらの内、 o -Ps の寿命は自由体積を構成する空隙の大きさの評価に用いられているため、特に重要なパラメーターとなっている。一般に o -Ps の寿命はその周辺の電子密度に依存しているため、欠陥等では寿命が長くなる。これまで井戸型ポテンシャル中での o -Ps を形成する陽電子が周囲の電子と消滅（以下ピックオフ消滅と呼ぶ）するまでの寿命を用いて、自由体積の大きさ（ここでは自由体積は粒状の空間で構成されていると仮定）の評価がなされてきているが、特に反応性の高い高分子材料内でのポジトロニウムの消滅過程は、様々な官能基の存在や分子構造の複雑さのためこのような単純なモデルでは考え難い。更に入射陽電子が生成する 2 次電子が生成されることによる、捕捉電子やラジカル電子の存在が陽電子や o -Ps の消滅過程に大きな影響を及ぼすこともわかってきており、この消滅過程を詳しく調べるのが重要な課題となっている。このような実験では γ 線の検出効率が著しく低下するため、高強度陽電子源が必要である。

2.1 本研究分野における研究課題（装置開発を中心として）

- ・ モデレーターの改良による高強度陽電子ビームの生成

陽電子寿命と消滅 γ 線エネルギースペクトルの同時測定法（AMOC 法）や同期したドップラー拡がり計測など、同期回路を多く持つ計測法が重要となってきたが、このような測定系では γ 線の検出効率が著しく低下するため、高強度短パルス陽電子ビームが不可欠である。ライナックを用いた陽電子発生では、低速陽電子を生成するための、モデレーターと呼んでいる部分の効率を、如何に上げるかが重要な研究課題である。本年度も、前年度に引き続き小型で低速陽電子生成効率がよいと考えられるモデレーターを用いて陽電子生成効率の測定を行う予定であったが、ライナックの不調によりこれを行うことができなかった。

- ・ 陽電子ビームを用いた AMOC 測定

AMOC とは消滅ガンマ線のエネルギースペクトルと陽電子の寿命を同時に測定する手法であり、各寿命成分に対応するエネルギースペクトルが評価できる計測法である。放射性同位元素を用いる場合 ^{22}Na を利用しているが、計数効率を上げるため放射能の大きい線源を用いると、バックグラウンドも増大し、高い S/N で測定することができなくなる。このため AMOC 測定のように計数効率が悪い実験では、高強度ビームの利用が望まれる。パルス化された陽電子ビームを用いて寿命測定を行う場合、更に高計数効率（毎秒 1000 カウント程度）を得るために検出器（ BaF_2 シンチレーター）をできるだけ試料に近づけて計測しているが、本計測法では対向して BaF_2 シンチレーターと高純度ゲルマニウム検出器を配置する必要があり、このためチェンバーを含めた改造が必要となる。また、高純度ゲルマニウムに代わり位置検出型の BGO シンチレーターを用いて角相関も寿命と同時測定する方法を準備している。このシステムを用いて官能基の異なる高分子材料における陽電子や o -Ps の消滅過程を調べることで、高分子内のナノ空間構造との関係を見出すことを目的としている。

- ・ 陽電子回折実験系の整備

陽電子回折実験を行うためには高輝度陽電子ビームが必要となる。高輝度化とは陽電子が物質(リモデレーター)から再放出される際、放出角度の拡がり小さいことを利用してビームのエミッタンスを低減させ、結果的に輝度($\propto$ ビーム強度/エミッタンス)を向上させる方法である。以前行った陽電子ビームの高輝度化実験では、リモデレーター上でのビーム径が大きかったために、輸送効率が悪化し、回折実験を行なうまでには至らなかった。本年度も小型モデレーターを用いた高輝度化実験を行い、反射高エネルギー陽電子回折実験を行う予定であったが、ライナックのトラブルにより実験を行うには至っていない。しかし、本年度は新たにリモデレータの搬送部や陽電子回折実験用のステージ等を購入し、ライナックが復調し次第実験を行えるよう準備を行った。

2.2 陽電子消滅法を用いた高分子電解質膜に関する研究

燃料電池に使用される電解質膜に対しては、高発電効率、腐食に強く劣化し難いもの、安いもの、機械的強度の高い材料が求められている。中でもデュポン社の Nafion が最もバランスの取れた良い膜とされているが、高価格であること、及び使用温度が低いことなどの難点があり、これに代わる高分子膜の開発が進められている。本研究では陽電子消滅法を用いて電解質膜の構造評価、劣化の評価を行うことを目的としている。電解質膜に主として使われているテフロン骨格にはスルホ基がついており、官能基が陽電子消滅過程に与える影響を考慮する必要がある。言い換えると陽電子消滅法で固体高分子形燃料電池電解質膜中の自由体積空孔サイズを計測することができるのかどうか、また、陽電子消滅法で見ている場所がイオン交換サイトに関する場所なのかどうかを調べるのがまず重要となる。これまでの陽電子を用いた電解質膜の研究では、自由体積空孔径の評価が特に重視されてきたが、本研究では特に AMOC 法や消滅 γ 線を同期させて測定する方法等を用いて陽電子の消滅過程を調べること、空隙の大きさだけでなく官能基近傍の電位変化も調べることにした。

本研究は工学研究科環境エネルギー工学専攻西嶋研究室との共同研究であり、本年度は NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）からの支援も受け行った。以下に本年度の成果を示す。

PTFE(polytetrafluoroethylene)と PFSA(perfluorosulfonic acid)に対する陽電子寿命評価、消滅電子の運動量を評価するためのドップラー拡がり測定(Sパラメーター測定)の結果から、電解質膜での陽電子消滅場所がスルホ基近傍であり、 σ -Ps が存在している場所もスルホ基の付いた側鎖近傍であることがわかった。また、Nafion-117 における含水状態の評価については、含水前と含水後における陽電子寿命、Sパラメーター測定から、スルホ基と水とが水素結合を介し相互作用している結果を反映しているものと考えられる。更に Nafion-117 における熱劣化解析では、AMOC 測定の結果から Sパラメータは熱付加を与えたときの方が大きく、また時間と共に単調に

減少しており、**o-Ps** における増加は見られなかった。このことから **o-Ps** のスピン交換反応する割合が小さく、**o-Ps** の寿命から Tao-Eldrup の式から空隙の評価をすることは可能だと考えられる。また、プロトン伝導率を調べた結果、熱処理をした試料では低下し、熱処理した後含水させた場合でも、プロトン伝導率は元に戻らなかった。これを陽電子の結果とあわせ考えると、プロトン伝導率の低下は官能基近傍での化学的構造が不可逆的に変化した結果だと考えられる。

陽電子寿命測定による電解質膜のナノ空間分布解析法の開発では、電解質膜の自由体積評価および官能基のポテンシャル評価が陽電子消滅法で行えることを確認したが、更に詳細に空間構造を評価するためには、評価対象の電解質膜の種類を増やすと共にAMOCおよびコインシデンスドップラー測定を行い、これら測定結果と分子軌道計算結果とを比較していくことが望まれる。

2.3 陽電子寿命測定法による解離型電子捕捉反応の研究

一電子付加によるハロゲン化アルキルの炭素—ハロゲン (C-X) 結合の還元的解離は解離型電子移動反応の一番簡単な反応系である。このような還元的解離反応は電子線レジスト材料中でも起こり、機構的解明が重要である。近年、この反応の反応動力学が理論計算によって求められ、反応が極短時間 (10^{-13} s) に完結することが報告されている。しかし、このような極短時間の実時計測は現段階では非常に難しい。

近年、陽電子寿命測定法が高分子材料中のナノ空孔の測定に利用されている。ポジトロンを物質中に照射すると、電子線照射の場合と同様にイオン化が起こり、電子と陽イオンを生成する。熱化したポジトロンがこの二次電子を捕捉することによってポジトロニウム (Ps) 生成する。この Ps の生成過程は、電子と陽イオンの再結合やハロゲン化アルキルによる電子捕捉反応と競争的に起こる。本研究では Ps の生成時間が数ピコ秒 (10^{-12} s) であることから、再結合や電子捕捉反応と競争的に起こる Ps の生成量を測定することによって、二次電子の電子捕捉剤に対する反応性を調べることを目的としている。

論文

1. 陽電子消滅寿命測定法および熱分析を用いた生体高分子ゲルの膨潤過程の解析
三町博子, 秋山庸子, 武田真一, 泉佳伸, 誉田義英, 西嶋茂宏
RADIOISOTOPES 55 (2006) 525-531.
2. Study of annihilation processes of positrons in polystyrene-related polymers
Y. Honda, T. Shimada, M. Tashiro, N. Kimura, Y. Yoshida, G. Isoyama, S. Tagawa
Radiat. Phys. Chem. **76** (2007) 169-171.

国際学会

1. Study on polymer electrolyte membrane for fuel cell by using AMOC technique
Y. Honda, Y. Shibahara, Y. Akiyama, N. Kimura, G. Isoyama, S. Tagawa, S. Takeda, Y. Izumi, S. Nishijima
14th International Conference on Positron Annihilation, July 23-28, 2006, Hamilton, Canada.
2. The investigation of swollen process in gelatin gel by using positron annihilation spectroscopy
Y. Akiyama, Y. Shibahara, S. Takeda, Y. Izumi, S. Nishijima, Y. Honda
14th International Conference on Positron Annihilation, July 23-28, 2006, Hamilton, Canada.
3. Study on Polymer Electrolyte Membrane by using Positron Annihilation Spectroscopy
Y. Honda, Y. Shibahara, Y. Akiyama, N. Kimura, G. Isoyama, S. Tagawa, S. Takeda, Y. Izumi, S. Nishijima
SANKEN International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006, September 19-20, 2006, Osaka, Japan
4. Tightness of Hydrogen Bonding in Polymers Studied by Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy
N. Kimura, Y. Honda, G. Isoyama, S. Tagawa
SANKEN International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006, September 19-20, 2006, Osaka, Japan
5. Structure Analysis of Polymer Electrolyte Membrane for Fuel Cell Using Positron Annihilation Spectroscopy
Y. Akiyama, Y. Shibahara, N. Kimura, S. Tagawa, S. Takeda, Y. Izumi, Y. Honda, S. Nishijima

- 5th 21th Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience”
Internal Symposium, December 8-9, 2006, Awaji, Japan.
6. Preparation of Polymer Nanogel Using Quantum-ray and Its Swelling-shrinking Process
H. Miyauchi, Y. Akiyama, Y. Shibahara, S. Takeda, Y. Izumi, Y. Honda, S. Nishijima
5th 21th Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience”
Internal Symposium, December 8-9, 2006, Awaji, Japan.
7. Study of structural analysis of macrocyclic polyethers using positron annihilation measurements
Y. Shibahara, Y. Akiyama, S. Takeda, Y. Izumi, Y. Honda, S. Nishijima
5th 21th Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience”
Internal Symposium, December 8-9, 2006, Awaji, Japan.
8. Nano-structural Analysis of Biopolymer Gels Using Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy
Y. Honda, Y. Akiyama, Y. Shibahara, N. Kimura, S. Tagawa, S. Takeda, Y. Izumi, S. Nishijima
5th 21th Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience”
Internal Symposium, December 8-9, 2006, Awaji, Japan.

国内学会

1. 陽電子消滅寿命測定法を用いた生体高分子の含水過程の解析
秋山庸子, 三町博子, 芝原雄司, 武田真一, 泉佳伸, 誉田義英, 西嶋茂宏
日本原子力学会2006年秋の大会、2006、札幌
2. 阪大産研における電子ライナックの現状、
加藤龍好、誉田義英、楊 金峰、柏木 茂、古澤孝弘、関 修平、佐伯昭紀、木村徳雄、近藤孝文、山本 保、末峰昌二、吉田陽一、磯山悟朗、田川精一、真嶋哲朗
第31回リニアック技術研究会、2006、仙台
3. 高分子電解質膜のAMOC法による解析
誉田義英、木村徳雄、田川精一、秋山庸子、武田真一、西嶋茂宏
第43回アイソトープ・放射線研究発表会、2006、東京

大阪大学・産業科学研究所

ナノ量子ビーム研究部門 ナノビームプロセス研究分野

所在地 〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1 FAX 06-6876-3287

構成

教授（兼任） 田川 精一（Seiichi TAGAWA） TEL:06-6879-8500, E-mail:tagawa@sanken.osaka-u.ac.jp

助教授 古澤 孝弘（Takahiro KOZAWA） TEL:06-6879-8502, E-mail: kozawa@sanken.osaka-u.ac.jp

研究概要

Extreme Ultraviolet (EUV) リソグラフィ用化学増幅型レジストの反応機構

1. はじめに

現在主流の化学増幅型レジストは次世代リソグラフィにおいて重要な役割を果たすことが期待されるが、パターンの微細化に伴い、レジストに要求される感度・解像度等の性能は材料の極限に迫るものであり、LER (Line Edge Roughness) あるいは LWR (Line Width Roughness) といった解決困難な問題が山積している。これらの問題の解決のためには反応機構の詳細を理解することが最も重要である。微細化の要求に対して、産業界は露光源の短波長化、つまり高エネルギー化で対応してきた。g線では2.8 eVであった光子エネルギーは、i線で3.4 eV、KrFエキシマレーザーで5.0 eV、ArFエキシマレーザーでは6.4 eVと徐々に増加してきたが、ArF液浸リソグラフィ以降は、EUV (92.5 eV) や電子線 (1~100 keV) が次期露光源として期待され、材料のイオン化エネルギー (10 eV 前後) を一気に超えることとなる。化学増幅型レジストの酸発生機構はイオン化エネルギーを境に大きく変わることが報告されており¹⁾、電子線・EUV 用新規レジスト開発には放射線化学・物理的アプローチが必要である。

2. 化学増幅型レジストの反応機構と感度・解像度の関係

電子線やEUVがレジストに入射すると、主にポリマーのイオン化を介してエネルギーが付与される。イオン化で生成した電子が十分減速した後、オニウム塩のような典型的な酸発生剤は低エネルギーの電子と電子

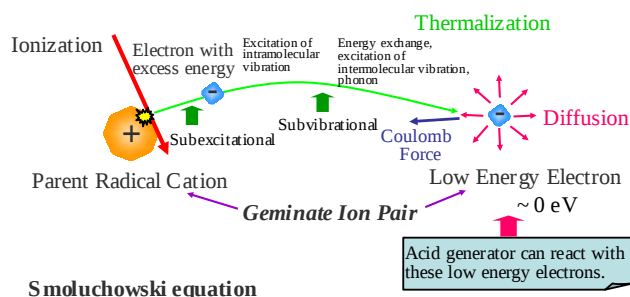


Fig. 1. Schematic drawing of early processes in radiation chemistry

付着乖離反応を起こし、酸のカウンターアニオンを生成する(図1)。多くの酸発生剤は熱エネルギー($\sim 0\text{eV}$)レベルの電子と効率よく(拡散律速で)反応することができる²⁾。電子線・EUVレジストにおいて、露光源からのエネルギーはポリマーと酸発生剤の区別なくランダムに付与されるにもかかわらず効率よく酸が発生するのは、この酸発生剤と低エネルギー電子の反応性のよさに起因するが³⁾、一方で、この酸発生機構はエネルギーが付与された位置と実際酸が発生する位置が違ふことを意味し、解像度ボケを誘発する⁴⁾。イオン化した電子の減速過程は、熱化過程と呼ばれ多くの研究が行われている。イオン化・励起で急速にエネルギーを落とした電子は、材料の励起エネルギー以下の領域では、分子内振動を励起することにより、振動エネルギー以下では分子間振動を励起あるいはエネルギー交換等でエネルギーを失い減速すると考えられるが、振動エネルギー以下の領域でのエネルギー散逸過程は非効率的で、最終的に電子が熱化されるまでに、数nmを要することが知られている。凝縮系では熱化は数百フェムト秒

以下で完了するため、直接的に観測することは困難である。しかし、多くの場合熱化した電子とその親ラジカルカチオンのペアは他のペアから空間的に離れた状態で孤立系を形成するため、電子もしくはカチオンの時間挙動を測定することにより、熱化電子の初期分布とその時間変化を知ることができる⁵⁾。電子の熱化距離はベンゼンで 3.2 nm ⁶⁾、ドデカンで 6.6 nm である⁵⁾。PHSのような芳香族ポリマーの熱化距離は同じくこの範囲にあり⁷⁾、NGLにおいてターゲットとされる解像度を考えると無視できない距離である。

化学増幅型レジストの反応機構と感度・解像度の関係を明らかにするため、PHSをベースとした化学増幅型レジスト中での酸生成に至る中間反応体の空間分布の時間変化を計算した。計算手法は論文8で報告している。フローチャートを図2に示す。

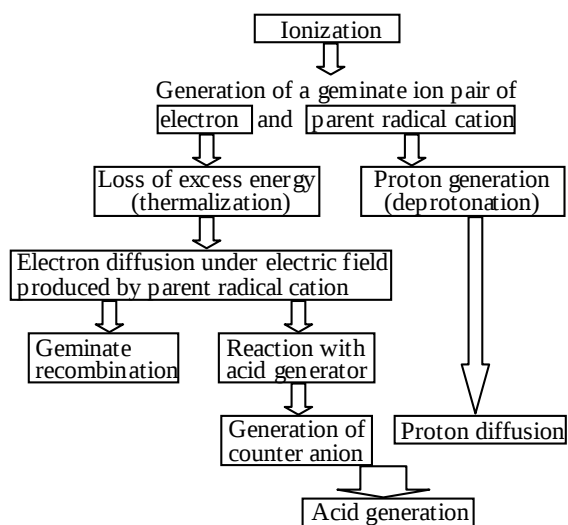


Fig. 2. Schematic chart of acid generation processes starting with the ionization of polymers. Some details are omitted for simplicity.

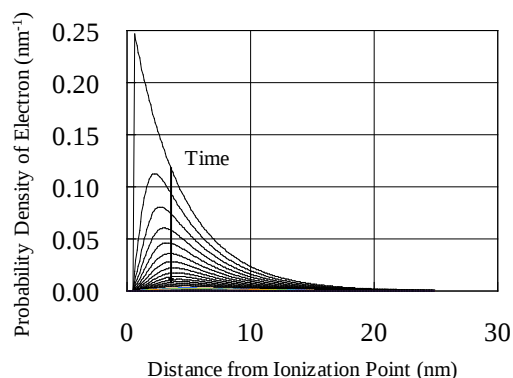


Fig. 3. Distribution change of electrons around an ionization point. The vertical axis represents the probability density of electrons per unit spherical shell thickness.

PHSレジスト中での電子の熱化距離は4 nmである⁷⁾。図3に熱化直後の低エネルギー電子の分布(確率密度)とその後の時間変化を示す。これらの電子は、イオン化点に生成するカチオン種と再結合するか、酸発生剤と反応することにより減少する。図4に電子との反応によって生成する酸のカウンターアニオンの空間分布の時間変化を示す。原点がイオン化(二次電子発生)点で、横軸がイオン化点からの距離、縦軸が原点からの単位距離あたりのアニオンの発生確率を現す。酸のプロトンは原点近傍でポリマーのラジカルカチオンの脱プロトン反応で発生する⁹⁾。プロトンとアニオンは互いに正負逆の電荷を持つので、互いに引き合うと考えられるが、プロトンが常温でレジストマトリクス中を移動できるのに対して^{10,11)}、分子サイズの大きいアニオンは常温では動くことができないと考えられ、最終的に酸の分布は図5に示したアニオン分布と同じになると考えられる。このとき、イオン化点から生成した酸までの平均距離は6.0 nmである。PMMAのような従来型の高解像度レジストでは、イオン化点近傍で主鎖分解反応が起こるが、化学増幅型レジストの場合は、酸の拡散を極限まで抑えても依然として反応機構に由来する解像度のボケが存在する。また、この解像度のボケは潜像のコントラストの劣化を意味し、LERあるいはLWRの発生に寄与している(図6)^{12,13)}。

図4に示した結果から、イオン化一回あたりの酸の生成確率を求めることができ、今回計算に用いたパラメーターでは0.68である。32 nmノードで要求される解像度を達成するためには酸の拡散距離を数nm以下に抑える必要があると考えられ、酸の初期生成量と初期分布が重要になる。

3. まとめ

ここでは、PHSベースの化学増幅型レジストを例にとり、反応機構と感度・解像度

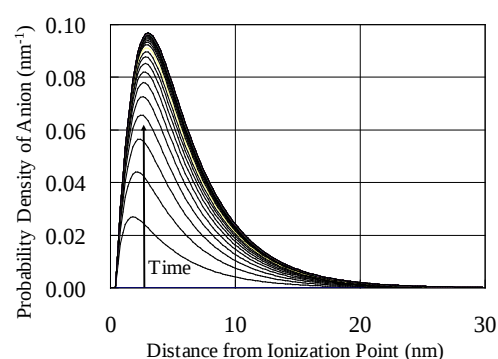


Fig. 4. Evolution of counter anion distribution. The vertical axis represents the counter anion probability density per unit spherical shell thickness.

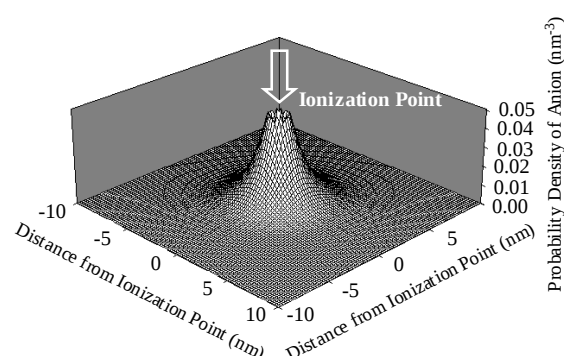


Fig. 5. Distribution of probability density of counter anions in the x-y plane after the survival probability of electrons reached less than 0.1 % of initial yield. The coordination of ionization point is the origin. Proton generation efficiency at the ionization point depends on polymer structures.

の関係を議論したが、アクリル系^{11,14)}、ノボラック系¹⁵⁾あるいは臭素化したPHS¹⁶⁾等他の高分子についても反応機構の詳細が報告されている。また、本報告では酸発生剤の反応とアニオンの生成を中心に議論を行ったが、プロトンの生成に関しては、PHSの保護基の種類の違いによる酸の収量の違いが報告されている^{17,18)}。また、EUVレジストに関しても研究が行われ、上記反応機構が当てはまることが報告されている¹⁹⁾。

参考文献

- 1) T. Kozawa, Y. Yoshida, M. Uesaka and S. Tagawa, Jpn. J. Appl. Phys. **31**, 4301 (1992).
- 2) A. Nakano, T. Kozawa, S. Tagawa, T. Szreder, J. F. Wishart, T. Kai and T. Shimokawa, Jpn. J. Appl. Phys. **45**, L197 (2006).
- 3) T. Kozawa, A. Saeki, Y. Yoshida and S. Tagawa, Jpn. J. Appl. Phys. **41**, 4208 (2002).
- 4) T. Kozawa, A. Saeki, A. Nakano, Y. Yoshida and S. Tagawa, J. Vac. Sci. Technol. **B21**, 3149 (2003).
- 5) A. Saeki, T. Kozawa, Y. Yoshida and S. Tagawa, Jpn. J. Appl. Phys. **41**, 4213 (2002).
- 6) K. Okamoto, A. Saeki, T. Kozawa, Y. Yoshida and S. Tagawa, Chem. Lett. **32**, 834 (2003).
- 7) T. Kozawa, T. Shigaki, K. Okamoto, A. Saeki, S. Tagawa, T. Kai and T. Shimokawa, J. Vac. Sci. Technol. **B24**, 3055 (2006).
- 8) T. Kozawa, A. Saeki and S. Tagawa, J. Vac. Sci. Technol. **B22**, 3489 (2004).
- 9) A. Nakano, T. Kozawa, K. Okamoto, S. Tagawa, T. Kai and T. Shimokawa, Jpn. J. Appl. Phys. **45**, 6866 (2006).
- 10) H. Yamamoto, T. Kozawa, A. Nakano, K. Okamoto, Y. Yamamoto, T. Ando, M. Sato, H. Komano and S. Tagawa, Jpn. J. Appl. Phys. **43**, L848 (2004).
- 11) A. Nakano, K. Okamoto, T. Kozawa and S. Tagawa, Jpn. J. Appl. Phys. **43**, 4363 (2004).
- 12) T. Kozawa, H. Yamamoto, A. Saeki and S. Tagawa, J. Vac. Sci. Technol. **B23**, 2716 (2005).
- 13) T. Kozawa and S. Tagawa, J. Appl. Phys. **99**, 054509 (2006).
- 14) A. Nakano, K. Okamoto, T. Kozawa and S. Tagawa, Jpn. J. Appl. Phys. **43**, 3981 (2004).

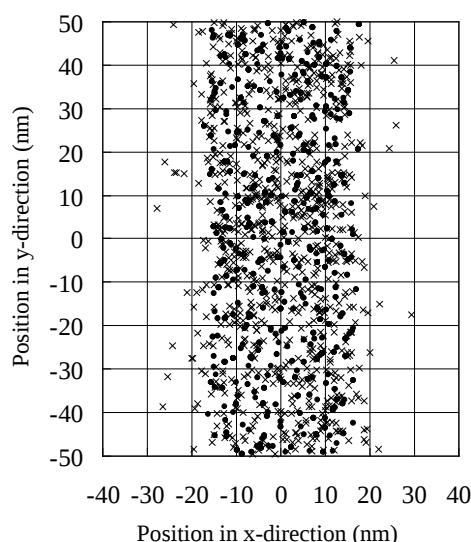


Fig. 6. Top down view of proton and counter anion distribution in poly(4-hydroxystyrene) with 10 wt.% TPS-tf generated by the exposure with the dose of $2 \mu\text{C}/\text{cm}^2$. A solid circle and a cross represent a proton and a counter anion, respectively.

- 15) T. Kozawa, S. Nagahara, Y. Yoshida and S. Tagawa, *J. Vac. Sci. Technol.* **B15**, 2582 (1997).
- 16) H. Yamamoto, T. Kozawa, A. Nakano, K. Okamoto, S. Tagawa, T. Ando, M. Sato and H. Komano, *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, L842 (2005).
- 17) H. Yamamoto, T. Kozawa, A. Nakano, K. Okamoto, S. Tagawa, T. Ando, M. Sato and H. Komano, *J. Vac. Sci. Technol.* **B22**, 3522 (2004).
- 18) H. Yamamoto, T. Kozawa, A. Nakano, K. Okamoto, S. Tagawa, T. Ando, M. Sato and H. Komano, *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, 5836 (2005).
- 19) T. Kozawa, S. Tagawa, H. Oizumi and I. Nishiyama, *J. Vac. Sci. Technol.* **B24**, L27 (2006).

論文

- 1) Acid Generation Mechanism of Poly(4-hydroxystyrene)-Based Chemically Amplified Resists for Post-Optical Lithography: Acid Yield and Deprotonation Behavior of Poly(4-hydroxystyrene) and Poly(4-methoxystyrene),
A. Nakano, T. Kozawa, K. Okamoto, S. Tagawa, T. Kai and T. Shimokawa,
Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 6866-6871.
- 2) Effects of Low Energy Electrons on Pattern Formation in Chemically Amplified Resist,
T. Kozawa, H. Yamamoto, A. Saeki and S. Tagawa,
J. Photopolym. Sci. Technol. 19 (2006) 361-366.
- 3) Relationship between Acid Generator Concentration and Acid Yield in Chemically Amplified Electron Beam Resist,
T. Shigaki, K. Okamoto, T. Kozawa, H. Yamamoto, S. Tagawa, T. Kai and T. Shimokawa,
Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 5735-5737.
- 4) Reaction mechanism of fluorinated chemically amplified resists,
H. Yamamoto, T. Kozawa, K. Okamoto, A. Saeki, S. Tagawa, T. Ando, M. Sato and H. Komano,
J. Vac. Sci. Technol. B24 (2006) 1833-1836.
- 5) Pulse radiolysis of polystyrene in cyclohexane -Effect of carbon tetrachloride on kinetic dynamics of dimer radical cation-,
K. Okamoto, T. Kozawa, M. Miki, Y. Yoshida and S. Tagawa,
Chem. Phys. Lett. 426 (2006) 306-310.
- 6) Dependence of Acid Yield on Chemically Amplified Electron Beam Resist Thickness,
T. Shigaki, K. Okamoto, T. Kozawa, H. Yamamoto and S. Tagawa,
Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 5445-5449.
- 7) Pulse radiolysis based on a femtosecond electron beam and a femtosecond laser light with

- double-pulse injection technique,
J. Yang, T. Kondoh, T. Kozawa, Y. Yoshida and S. Tagawa,
Radiat. Phys. Chem. 75 (2006) 1034-1040.
- 8) Resolution blur of latent acid image and acid generation efficiency of chemically amplified resists for electron beam lithography,
T. Kozawa and S. Tagawa,
J. Appl. Phys. 99 (2006) 054509.
- 9) Line edge roughness of a latent image in post-optical lithography,
A. Saeki¹, T. Kozawa, S. Tagawa and H. B. Cao,
Nanotechnology 17 (2006) 1543-1546.
- 10) Reactivity of Acid Generators for Chemically Amplified Resists with Low-Energy Electrons,
A. Nakano, T. Kozawa, S. Tagawa, T. Szreder, J. F. Wishart, T. Kai and T. Shimokawa,
Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) L197-L200.
- 11) Femtosecond single electron bunch generation by rotating longitudinal bunch phase space in magnetic field,
J. Yang, T. Kondoh, K. Kan, T. Kozawa, Y. Yoshida and S. Tagawa,
Nucl. Instrum. Meth. A 556 (2006) 52-56.
- 12) Picosecond pulse radiolysis using femtosecond white light with a high S/N spectrum acquisition system in one beam shot,
A. Saeki, T. Kozawa and S. Tagawa,
Nucl. Instrum. Meth. A 556 (2006) 391-396.
- 13) Protonation sites in chemically amplified resists for electron beam lithography,
K. Natsuda, T. Kozawa, K. Okamoto and S. Tagawa,
Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) L1256-L1258.
- 14) Analysis of Acid Yield Generated in Chemically Amplified Electron Beam Resist,
T. Kozawa, T. Shigaki, K. Okamoto, A. Saeki, S. Tagawa, T. Kai and T. Shimokawa,
J. Vac. Sci. Technol. B 24 (2006) 3055-3060.
- 15) Acid generation efficiency in a model system of chemically amplified extreme ultraviolet resist,
T. Kozawa, S. Tagawa, H. Oizumi and I. Nishiyama,
J. Vac. Sci. Technol. B 24 (2006) L27-L30.
- 16) Correlation between proton dynamics and line edge roughness in chemically amplified resist for post-optical lithography,
A. Saeki, T. Kozawa, S. Tagawa, and H. B. Cao,
J. Vac. Sci. Tehcnol. B 24 (2006) 3066-3072.

国際会議

- 1) Tri-layer resists process for fabricating 45-nm L&S patterns by EPL,
F. Koba, K. Matsumaro, E. Soda, T. Watanabe, Y. Matsubara, H. Arimoto, T. Matsumiya, D. Kawana, N. Yamashita, Y. Fujii, K. Ohmori, M. Sato, T. Kozawa and S. Tagawa,
31st Int. Symp. Microlithography 2006, 2006, Feb. 19-24, San Jose, California, USA.
- 2) Reactivity of model compounds of ArF immersion, ArF, and KrF resists with diphenylsulfinyl radical cation, a cage-escape product of photochemistry of triphenylsulfonium salts,
Y. Matsui, H. Sugawara, S. Tsuji, T. Itani, S. Seki, T. Kozawa and S. Tagawa,
31st Int. Symp. Microlithography 2006, 2006, Feb. 19-24, San Jose, California, USA.
- 3) Difference between initial distributions of proton and counter anion in chemically amplified electron-beam resist,
T. Kozawa, H. Yamamoto, A. Saeki and S. Tagawa,
31st Int. Symp. Microlithography 2006, 2006, Feb. 19-24, San Jose, California, USA.
- 4) The reaction mechanism of poly[4-hydroxystyrene-co-4-(1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-hydroxypropyl)-styrene],
H. Yamamoto, T. Kozawa, K. Okamoto, S. Tagawa, T. Ando, M. Sato and H. Komano,
31st Int. Symp. Microlithography 2006, 2006, Feb. 19-24, San Jose, California, USA.
- 5) Effect of Acid Diffusion and Polymer Structure on Line Edge Roughness,
H. Yamamoto, T. Kozawa, A. Saeki, K. Okamoto, S. Tagawa, K. Ohmori, M. Sato and H. Komano,
Int. Microprocesses and Nanotechnology Conf., 2006, Oct. 25-27, Kamakura, Japan.
- 6) Proton Dynamics and Amines in Chemically Amplified Resist,
K. Natsuda, T. Kozawa, K. Okamoto and S. Tagawa,
Int. Microprocesses and Nanotechnology Conf., 2006, Oct. 25-27, Kamakura, Japan.
- 7) Line edge roughness in chemically amplified resist of electron beam lithography,
A. Saeki, T. Kozawa, S. Tagawa and H. B. Cao,
50th EIPBN, 2006, May 30-June 2, Baltimore, Maryland, USA.
- 8) Analysis of Acid Yield Generated in Chemically Amplified Electron Beam Resist,
T. Kozawa, T. Shigaki, K. Okamoto, A. Saeki and S. Tagawa,
50th EIPBN, 2006, May 30-June 2, Baltimore, Maryland, USA.

- 9) Polymer structure dependence of acid generation in chemically amplified EUV resists,
H. Yamamoto, T. Kozawa, S. Tagawa, H. B. Cao, H. Deng and M. J. Leeson,
2006 Int. EUVL Symp., 2006, Oct. 15-18, Barcelona, Spain.
- 10) Acid generation in chemically amplified EUV resists,
T. Kozawa, S. Tagawa, H. Oizumi and I. Nishiyama,
2006 Int. EUVL Symp., 2006, Oct. 15-18, Barcelona, Spain.
- 11) Exposure dose dependence on LER of latent image in EB/EUV lithographies studied by
Monte Carlo technique,
A. Saeki, T. Kozawa, S. Tagawa, H. B. Cao, H. Deng and M. J. Leeson,
2006 Int. EUVL Symp., 2006, Oct. 15-18, Barcelona, Spain.
- 12) Study on Photo-Chemical Analysis System for EUV Lithography,
A. Sekiguchi, Y. Kono, M. Kadoi, Y. Minami, T. Kozawa and S. Tagawa,
2006 Int. EUVL Symp., 2006, Oct. 15-18, Barcelona, Spain.
- 13) Formation of Aggregated radical cations of benzene and polystyrene in condense phases,
K. Okamoto, S. Seki, T. Kozawa, Y. Yoshida and S. Tagawa,
Gorden Research Conference, 2006, July 2-8, Maine, USA.
- 14) Pico/subpicosecond pulse radiolysis and research on nanolithography by EB/EUV,
A. Saeki, T. Kozawa and S. Tagawa,
Gorden Research Conference, 2006, July 2-8, Maine, USA.
- 15) Femtosecond pulse radiolysis based on photocathode electron accelerator,
Y. Yoshida, J. Yang, T. Kondoh, T. Kozawa, S. Tagawa,
Asian and Pacific Symposium on Radiation Chemistry (APSRC), 2006, Sep. 17-21,
Shanghai, China.

解説・総説等

- 1) Tri-layer resists process for fabricating 45-nm L&S patterns by EPL,
F. Koba, K. Matsumaro, E. Soda, T. Watanabe, Y. Matsubara, H. Arimoto, T. Matsumiya, D.
Kawana, N. Yamashita, Y. Fujii, K. Ohmori, M. Sato, T. Kozawa and S. Tagawa,
Emerging Lithographic Technologies X (2006) 615127-1(-10).
- 2) Reactivity of model compounds of ArF immersion, ArF, and KrF resists with
diphenylsulfinyl radical cation, a cage-escape product of photochemistry of
triphenylsulfonium salts,
Y. Matsui, H. Sugawara, S. Tsuji, T. Itani, S. Seki, T. Kozawa and S. Tagawa,

Advances in Resist Technology and Processing XXII (2006) 61530I-1(-12).

- 3) Difference between initial distributions of proton and counter anion in chemically amplified electron-beam resist,
T. Kozawa, H. Yamamoto, A. Saeki and S. Tagawa,
Advances in Resist Technology and Processing XXII (2006) 615314-1(-9).
- 4) The reaction mechanism of poly[4-hydroxystyrene-co-4-(1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-hydroxypropyl)-styrene],
H. Yamamoto, T. Kozawa, K. Okamoto, S. Tagawa, T. Ando, M. Sato and H. Komano,
Advances in Resist Technology and Processing XXII (2006) 61533O-1(-9).

著書

共同研究

共同研究 化学増幅レジストの反応機構の研究
技術研究組合 超先端電子技術開発機構(ASET)

共同研究 EUVレジストに関する研究
(株) 半導体先端テクノロジーズ(SELETE)

共同研究 レジスト評価用EUV露光装置の研究
リソテックジャパン (株)

共同研究 ArFフォトリソレジストに関する基礎研究
(株) 三菱瓦斯化学

共同研究 超微細加工レジスト材料のナノスケール密度分布の解明
(株) 東京応化工業、SPring8

科研費、助成金等

科学研究費補助金(基盤研究(S))
フェムト秒パルスラジオリシス法によるナノ時空間反応プロセスの解明
ーナノスケール量子ビーム利用の新展開ー
直接経費 19,700千円 間接経費 5,910千円
田川精一

科学研究費補助金(若手研究(B)(2))
フェムト秒パルスラジオリシスによる極限ナノビームプロセスの創生
1,100千円
古澤孝弘

受託研究 平成18年度原子力安全基盤調査研究(放射線化学の最先端の研究を基盤とした安心安全の確保のための目に見える線量計材料の開発)

独立法人 原子力安全基盤機構

受託研究 化学増幅EUVレジスト中で生成される酸のナノスケール分布形状
(株) インテル

特許

ナノテクノロジー産業応用研究部門 環境調和ナノマテリアル研究分野 (菅沼研究室)

構成

教授 菅沼 克昭 (Katsuaki SUGANUMA) TEL : 06-6879-8520,

E-mail: suganuma@sanken.osaka-u.ac.jp

助教授 奥 健夫 (Takeo OKU) TEL : 06-6879-8521,

E-mail: oku@sanken.osaka-u.ac.jp

助手 山口 俊郎 (Shunro YAMAGUCHI) TEL : 06-6879-8521

E-mail: shunro@sanken.osaka-u.ac.jp

助手 井上 雅博 (Masahiro INOUE) TEL : 06-6879-8521,

E-mail: inoue@sanken.osaka-u.ac.jp

特任研究員 蔣 君祥, 金 道燮, 多田 泰徳,

技術補佐員 畑村 眞理子, 樋口 博雄

学生 D3: 李 在彦, 金野 元紀, 中川 登志子, 山中 公博

D2: 隈元 聖史, 出田 吾朗

D1: 河染 満, 蔵本 雅史, 斎藤 俊

M2: 2 名, M1: 1 名, 研究生: 2 名

秘書 井手こずえ, 松下 美佐

研究概要

高温鉛はんだ代替技術開発

携帯電話などの携帯機器は、エレクトロニクス最先端の集積化技術を実現するものだが、その微細接合部制御が、新たなエレクトロニクス機器開発の最重要課題になっている。材料は、低温実装と高温はんだ代替を担う導電性接着剤が注目を集めている。本研究では、半導体の内部接続には欠かせない高温鉛はんだの代替技術開発のため、ナノレベルの組織・機能解析および制御に基づく基礎技術開発し、協力企業・大学連合との連携で、新産業技術として高温鉛はんだ代替技術の世界デファクト形成を目指す。

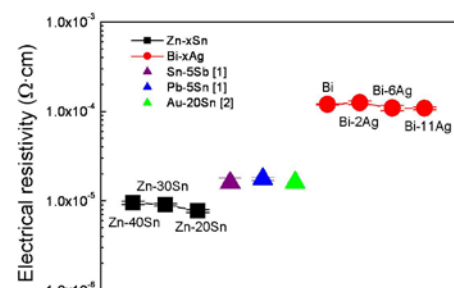


図1. 金属系高温鉛フリーはんだの電気抵抗率

指している。今年度は、高温鉛はんだ代替高機能材料開発、高温鉛はんだ代替信頼性技術開発を行った。

高温鉛はんだ代替信頼性技術開発：導電性接着剤や金属系はんだを適用した新しい接続構造に対する信頼性評価技術の確立を目標とし、今年度は、微細接続部の衝撃の影響を理解するため、接合部位に高剛性のハンマを衝突させ、衝撃力及び衝撃吸収エネルギーなどを計測し、耐衝撃接合強度の評価試験方法の開発を行った。

(連絡先：菅沼克昭教授)

Printed Electronics のためのナノ粒子微細配線技術

ナノテクノロジーの粋を集めた、ナノ粒子インクとインクジェット印刷が、新しいエレクトロニクス機器造りの世界を開こうとしている。それが、Printed Electronics である。オンデマンドでフレキシブルな回路と微細 3 次元配線が実現できるので、自由自在に曲げられるエレクトロニクス機器、いわゆる電子ペーパーのもう一つの形が開かれる。今年度は、ナノ粒子インクの合成から低温配線形成まで取り組みを進め、低温での配線形成に成功した。図 2 に当研究室で合成した銀インクの 10°C/min の速度で 150°C まで昇温時の変化を示す。室温では、透明であったが、100°C を超えると銀色に変わり、150°C で完全に銀色になった。さらに、金属ナノ粒子を低温で結合させる方法として、加熱処理ではなく化学的な処理を行い、常温で銀ナノ粒子を焼結させることに成功した。電気抵抗は、 $10^{-5} \Omega \text{ cm}$ オーダーの低抵抗が実現できた。

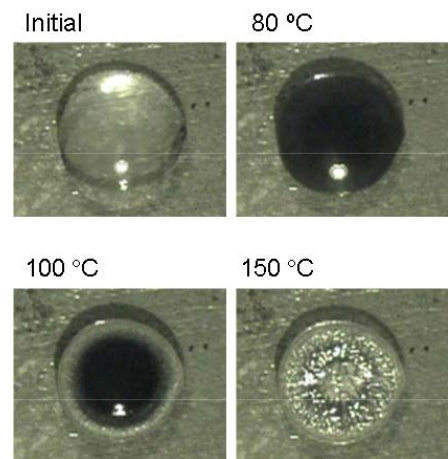


図 2. 加熱による銀インク変化

(連絡先：菅沼克昭教授)

超フレキシブル配線を用いたソフトヒューマンインターフェースの開発

本研究室では、等方性導電性接着剤や異方性導電性接着剤などの導電性接着剤を用いたエレクトロニクス実装技術(部品実装、配線形成等)に関する基礎および応用研究を包括的に進めている。ここでは、そのひとつのテーマである超フレキシブル配線技術に関する研究内容を紹介する。

従来のフレキシブル配線板は、曲げたり、折畳んだりすることは可能であったが、引張に対しては対応することができなかった。本研究室では、シリコンなどのエラストマーをバインダーとする導電性接着剤を用いて曲げのみでなく引張にも対応できる超フレキシブル配線技術の開発とその応用研究を進めている。この実装技術は、ヒューマノイドロボットの皮膚センサネットワークシステムや医療・介護機器を始め、今後さまざまな電子機器に搭載が考えられている柔軟なヒューマンインターフェースをはじめとする Stretchable Electronics への応用が期待できる。

図3に超フレキシブル配線を用いて作製した触覚センサシートを示す。このセンサシートの基材とコーティング層はシリコンゴムで構成されており、センサ素子としては圧電性を有するポリフッ化ビニルフィルムを使用している。センサ素子からの信号は超柔軟配線を介して伝達され触覚センサとして機能する。図4には、このセンサシートを16枚連結させることにより作製した大面積触覚センサシステムのプロトタイプを示す。このシステムではセンサからのアウトプットが256チャンネルとなり、すべてのチャンネルからの情報を集約して情報処理を行う方法では非効率であるため、センサシートの裏面に形成した分散処理プロセッサのネットワークと接続している。このネットワークは自己組織化機能も有しているため、部分的に断線等の故障が発生した場合でも自動的に有効な経路を探索して機能することができる。現在、分散処理プロセッサのワンチップ化には至っていないが、ワンチップ化ができればよりコンパクトな実装が可能になる。

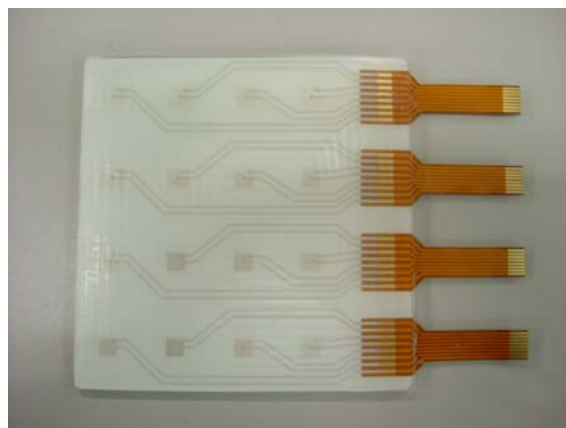


図3 触覚センサシートの一例



図4 自己組織化ネットワークシステムと一体化した大面積センサシステムの一例

(連絡先：菅沼克昭教授，井上雅博助手)

原子配列調和物質

新物質は、新たなエネルギー・情報材料への発展が期待され、人類の将来的なエネルギー・情報化社会問題を解決するための新デバイス実現の上で基本となる領域である。この新物質が生み出す様々な特性は、その原子配列が最も重要な鍵となっている。現在、下図にまとめられた ATOMATERIAL-PROJECT を推進している。これは原子配列調和マテリアルを中心とした Project であり、新物質の原子の世界を直視することにより、新しい原子マテリアルサイエンスの発見・開拓を目的としており、新規先端物質設計原理の確立を通して、21 世紀に向かい人類・社会・自然に貢献していくことを大きな目標としている。詳しいテーマ等はホームページ参照。

(<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/~oku/frame.html>)

プロジェクトの選択基準としては、科学と人類社会へ大きなインパクトを与え、自分の直観・情熱・興味を大事にして、重要でオリジナリティのあるものに集中するよ

うにしている。

具体的には図に表現されているように、様々な新規構造・物性発現が期待される、金属・無機・有機物質の原子配列が機能的に調和したエネルギー物質と情報物質（原子配列調和物質）を中心として、形成機構・プロセス・高次物性を評価し、理論計算による原子配列デザイン・HREM 計算・画像処理から極微細領域 3 次元原子配列直接決定法を確立し、上記目的を達成していく。対象となる原子配列調和マテリアルは、異元素を内包した新規ナノ量子構造による高機能・多機能の発現を期待した、人と環境に優しい、ホウ素、窒素、炭素をベースとした BN・C フラーレンナノ物質等、様々な物質を取り扱っている。さらに究極の原子配列調和物質として、生体物質・高分子・医薬品等も今後の大きな課題となるであろう。ATOMATERIAL PROJECT に関して、様々なグループと共同研究を推進している。（連絡先：奥健夫助教授）



材料工学と生体組織工学を融合した新しい人工関節軟骨モデルの研究

人間は一日に約 10 万回も関節を動かしていると言われている。股関節や膝関節では、立ったり、座ったりといった日常的な使用に耐えることができるように、非常に複雑な構造をしている。しかし、関節軟骨はそれ自身に修復能が無く、1 度損傷を受けてしまうと関節機能に大きな障害が生じるために、最終的な外科的治療として、人工関節術が広く行われている。

ところが、人工関節置換術は疼痛除去効果が著しく、その耐久性は 15 年程である。また生体骨に埋め込まれた人工関節ステムの緩みや UHMWPE（超高密度ポリエチレン）磨耗粉による炎症反応が生じ、再手術が必要になる。これとは別に、損傷した関節軟骨の部分的な修復が期待できる生体組織工学手法を用いた治療方法が開発され、細胞の直接移植による方法や人工培養軟骨移植による方法が近年注目を浴びている。

しかしながら、これらの方法では、(1) 移植した細胞や培養軟骨と移植周辺部の関節軟骨または生体骨と接着しない、(2) 移植した細胞や培養軟骨中の細胞分化を制御しなければならない、という2つの大きな問題点があった。

そこで、私たちの研究室では、まず前者(1)の問題である培養軟骨と生体骨との接着を改善するために、生体骨と置換する人工骨と培養軟骨を組み合わせる培養し、その細胞成長によって培養軟骨と人工骨との接着させるタイプの培養軟骨-多孔質リン酸カルシウム接合システムを用いた新しい人工関節軟骨モデルを考案し、作製した。用いた多孔質リン酸カルシウムは、生体吸収性に優れた多孔質リン酸三カルシウム(β -TCP)である。更に、(2)の問題を解決するために、培養軟骨/多孔質リン酸カルシウム接合システムに中の多孔質リン酸カルシウムの代わりに、細胞増殖因子の一つである骨形成タンパク質-6(BMP-6)を強固に吸着した多孔質 β -TCPを用い、培養軟骨と多孔質 β -TCPの界面付近の軟骨細胞の石灰化を試みた。

その結果、細胞成長に適した多孔質 β -TCPを泡セラミックス法と水熱処理法を組み合わせる方法で作製することができ、それを用いて培養軟骨-多孔質 β -TCP接合システムを用いた新しい人工関節軟骨モデルを作製することができた。また、本システムにおいて軟骨細胞は成長し、コラーゲン線維及びプロテオグリカンを排出した。これにより培養軟骨と多孔質 β -TCPの接着性は向上した。更に、BMP-6を強固に吸着した多孔質 β -TCPを用いることによって、多孔質 β -TCP付近の軟骨細胞の石灰化が促進し、本システムをより生体関節軟骨に近い構造持つことが明らかとなった。

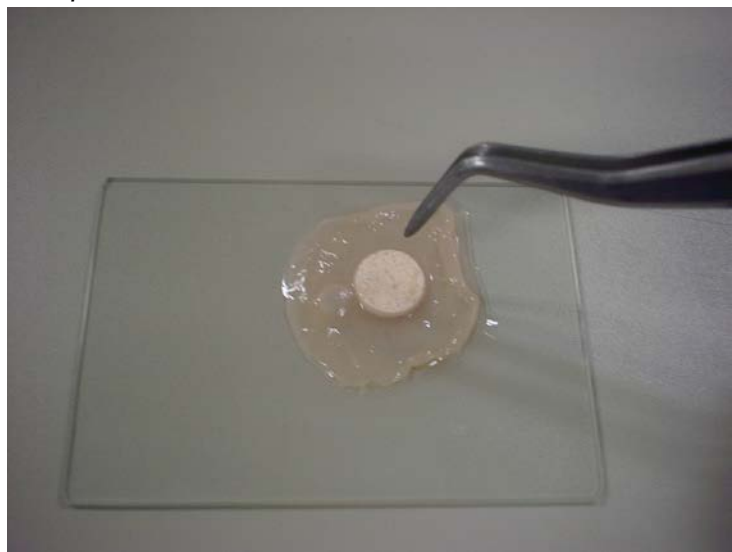


図6 培養軟骨・多孔質 β -TCP接合システム

(連絡先：山口俊郎助手)

論文

1. Synthesis of Co nanocapsules coated with BN layers by annealing of KBH_4 and $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$
I. Narita, T. Oku, H. Tokoro and K. Suganuma
Solid State Comm., 137(2006), 44-48.
2. Simultaneous measurements of conductivity and magnetism by using microprobes and electron holography
Y. Murakami, N. Kawamoto, D. Shindo, I. Ishikawa, S. Deguchi, K. Yamazaki, M. Inoue, Y. Kondo and K. Suganuma
Appl. Phys. Lett. 88, 223103 (2006).
3. Effect of curing conditions on the electrical properties of isotropic conductive adhesives composed of an epoxy-based binder
M. Inoue and K. Suganuma
Soldering & Surface Mount Technology, 18[2](2006), 40-45.
4. Synthesis and structures of iron nanoparticles coated with boron nitride Nanomaterials
I. Narita, T. Oku, H. Tokoro and K. Suganuma
J. Electron Microscopy 55[3] (2006), 123-127.
5. New Glass Sealing Method with Lead-free Solders
K. Sakaguchi, S. Domi, and K. Suganuma
Advances in Science and Technology, 45 (2006), 1604-1607.
6. Synthesis and Characterization of Calcium Phosphate-AMP Layered Materials
M. Kaneno, K. Sakamoto, S. Yamaguchi and K. Suganuma
Key Engineering Materials, 317-318(2006), 769-772.
7. Formation of hydroxyapatite from mechanochemically treated β -tricalcium Bis(orthophosphate),
M. Kaneno, K. Sakamoto, S. Yamaguchi and K. Suganuma
Key Engineering Materials, 317-318(2006), 781-784.
8. Development of an electrophoretic sol-gel coating process for porous metals
M. Inoue, S.-K. Hyun, K. Suganuma, H. Nakajima
Mater. Trans., 47 [9], (2006) 2161-2166.
9. Formation of ceramic coatings on porous metals by electrophoretic sol-gel deposition,
M. Inoue, S.-K. Hyun, K. Suganuma, H. Nakajima:
Porous Metals and Metal Foaming Technology (Proc. of MetFoam 2005, Japan Inst. Metals), ed. by H. Nakajima and N. Kanetake, 655-658 (2006)
10. Influential factor in determining the thermal conductivity of isotropic conductive adhesives,
M. Inoue, H. Muta, T. Maekawa, S. Yamanaka and K. Suganuma:
Proc. EcoDesign 2006 Asia-Pacific Conference, pp.87-92 (2006)

11. Role of Acidic Amino Acid for Regulating Hydroxyapatite Crystal Growth, Dental
T. Matsumoto, M. Okazaki, M. Inoue, J. Sasaki, Y. Hamada and J. Takahashi
Materials Journal, 25 [2] (2006) 360-364.
12. Synthesis and structures of iron nanoparticles coated with boron nitride nanomaterials
I. Narita, T. Oku, H. Tokoro and K. Suganuma
J. Electron Microsc. 55 (2006) 123 - 127.
13. Atomic structures of bamboo-type boron nitride nanotubes with cup-stacked structures
T. Oku, I. Narita and A. Nishiwaki
J. Euro. Ceram. Soc. 26 (2006) 443-448
14. Atomic structures and formation mechanism of boron nitride nanotubes and nanohorns
synthesized by arc-melting LaB₆ powders
A. Nishiwaki and T. Oku
J. Euro. Ceram. Soc. 26 (2006) 435-441
15. Epitaxial growth of Cu nanodot arrays using an AAO template on a Si substrate
T. Shimizu, M. Nagayanagi, T. Ishida, O. Sakata, T. Oku, H. Sakaue, T. Takahagi and S.
Shingubara
Electrochem. Solid-State Lett. 9 (2006) J13-16.
16. Synthesis and magnetic property of boron nitride nanocapsules encaging iron and cobalt
nanoparticles
T. Oku, I. Narita and H. Tokoro
J. Phys. Chem. Solids 67 (2006) 1152-1156.
17. Fabrication of hollow and sandwiched structure Ag nanoclusters by high-dose ion
implantation
F. Ren, C. Jiang, C. Liu, J. Wang and T. Oku
Phys. Rev. Lett. 97 (2006) 165501-1-4

解説・総説

1. 鉛フリーはんだと導電性接着剤実装技術
菅沼克昭
クリーンテクノロジー、16[3] (2006), 38-41.
2. セラミックスの接合技術の現状と課題
菅沼克昭
セラミックス、41[6] (2006), 416-423.
3. セラミックス/金属接合における熱応力
菅沼克昭
セラミックス、41[6] (2006), 434-439.
4. 超柔軟性接触センサの開発～ロボットの柔らかい皮膚をつくる～

- 井上雅博, 菅沼克昭, 宮下敬宏, 石黒浩
検査技術, 11[10] (2006)、44-48.
5. 中国版RoHS「電子情報製品汚染防止管理法」の概要
菅沼克昭、蔣 君祥
EcoClip、25(2006)、32-37.
 6. 実装鉛フリー化の完遂、その先の高付加価値化へ
菅沼克昭
未来材料、Vol.6, No.12(2006), pp.32-37.
 7. Current status of joining ceramics and metals
K. Suganuma
Korean Ceramics Society, (2006), in press
 8. 韓国と米国のRoHS関連規制の状況
菅沼克昭、金 槿銖
EcoClip、(2006)、印刷中.
 9. BN ナノホーンの原子配列と電子状態
奥 健夫、西脇 篤史
Boundary, Vol. 22, No. 3 (2006) 12-17.
 10. BN ナノ物質の応用を目指して
小井 成弘、奥 健夫
Boundary, Vol. 22, No. 3 (2006) 18-22.
 11. YB₅₆ の 3 次元高分解能像
奥 健夫
日本金属学会報 Materia, Vol. 45, No. 12 (2006) 864.
 12. ロボットの皮膚感覚
石黒浩, 井上雅博, 宮下敬宏
総合臨牀, 55, [9](2006) 2216-2218.

著書

1. 鉛フリーはんだ付け界面の反応と組織
菅沼克昭
材料開発のための顕微鏡法と応用写真集、日本金属学会、(2006.3), 88-96.
2. 改訂版鉛フリーはんだ付け技術 (単著)
菅沼克昭
K ブックシリーズ, 工業調査会, (2006.1)
3. 金属ナノ粒子ペーストのインクジェット微細配線 (監修)
菅沼克昭
シーエムシー出版、(2006.3)
4. セラミックス/金属の各種接合技術とその留意点 (分担執筆)
菅沼克昭
異種材料の接着・接合技術、シーエムシー出版、(2006)、pp.241-249.
5. Printed Electronics のためのナノ粒子微細配線技術
河染 満、金 槿銖、畑村真里子、菅沼克昭

- 粉碎、Vo.50(2006/2007), pp.27-31.
6. IC 関連金属材料（分担執筆）
菅沼克昭
電子材料ハンドブック、朝倉書店、(2006.12), pp.110-117.
 7. 金属ナノ粒子ペーストのインクジェット微細配線
井上雅博
ペーストキュアの熱分析法 pp.195-203, シーエムシー出版, (2006)
 8. 異導電フィルム／ペーストの接合技術と信頼性向上
井上雅博
異種材料の接着・接合”, pp.214-227, 技術情報協会, (2006)

国際会議

1. Thermal and Humidity Stability of Zn-xSn and Zn-30In Alloys as High Temperature Lead-Free Solder
J.-E. Lee, K.-S. Kim, K. Suganuma
135th TMS Annual Meeting & Exhibition, San Antonio, TX, March 13-16, 2006.
2. New Glass Sealing Method with Lead-free Solders
Koichi Sakaguchi, Shinjiro Domi and Katsuaki Suganuma
CIMTEC2006
3. Synthesis and structures of boron nitride nanotubes
T. Oku, N. Koi, K. Suganuma, R. V. Belosludov and Y. Kawazoe
Working Group Meeting on Clusters and Nanomaterials of ACCMS (Asian Consortium on Computational Materials Science, September 7-9(7), 2006 in Sendai
4. Low Temperature Printing Wiring with Ag Salt Pastes
M. Kawazome, K. Suganuma, M. Hatamura, K-S. Kim, S. Horie, A. Hirasawa, and H. Tanaami
39TH International Symposium on Microelectronics (IMAPS2006), San Diego, California USA, Oct 8-12(2006)
5. Development of an electronic packaging technique using conductive adhesives for novel human-machine interfaces
M. Inoue, H. Sasaki, K. Suganuma, T. Kawasaki, T. Rokuhara, T. Miyashita and H. Ishiguro
HNM 2006, (Feb., 2006, Nagaoka, Japan)
6. Thermal conductivity of isotropic conductive adhesives composed of an epoxy-based binder
M. Inoue, H. Muta, T. Maekawa, S. Yamanaka and K. Suganuma
Proc. HDP'06 (IEEE CPMT Conference), pp.63-68 (2006) (Jun., 2006, Shanghai, China)
7. Influential factor in determining the thermal conductivity of isotropic conductive adhesives
M. Inoue, H. Muta, T. Maekawa, S. Yamanaka and K. Suganuma.
Proc. EcoDesign 2006 Asia-Pacific Conference, pp.87-92 (2006) (Dec., 2006, Tokyo, Japan)
8. Oxidation behavior of Zn-Sn and Zn-30 In alloys as high temperature lead-free solder during thermal and humidity exposure.
Jae-Ean Lee, Keun-Soo Kim, M. Inoue and K. Suganuma.
9th SANKEN International Symposium, Osaka, Japan, 8-9 Feb. (2006)

国内会議

1. Ag 及び Cu 添加による Sn-Zn 共晶合金の耐酸化性の改善
李 在彦, 金 憧辣, 井上雅博, 蔣 君祥, 菅沼克昭
MES2006 (第 16 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム), 大阪, (2006),
2. 導電性接着剤の電氣的・熱的特性に及ぼす熱履歴の影響
井上雅博、菅沼克昭
MES2006 (第 16 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム), 大阪, (2006),
3. 導電性接着剤配線技術を用いたヒューマノイドロボット用皮膚センサの開発
井上雅博, 佐々木啓恵, 菅沼克昭, 河崎俊実, 六波羅哲雄, 宮下敬宏, 石黒浩
第 20 回エレクトロニクス実装学会講演大会, 日本大学理工学部, 東京, 2006 年 3 月 22~24 日, pp.247-248.
4. 高温用鉛フリーはんだ Zn-Sn 合金と Cu 基板との接合界面と引張特性
李 在彦, 金 権鉄, 井上雅博, 菅沼克昭
第 20 回エレクトロニクス実装学会講演大会, 日本大学理工学部, 東京, 2006 年 3 月 22~24 日, pp.227-228.
5. 導電性接着剤の接続特性に及ぼす高分子バインダーの影響
井上雅博, 菅沼克昭
第 55 回高分子学会予稿集(Polymer Preprints, Japan), 2006 年 9 月 20~22 日, 富山, 1H12

学会活動、共同研究

菅沼 克昭

1. 経済産業省標準化プロジェクト「低温鉛フリーはんだ実装技術開発」委員長
2. NEDO「高温鉛はんだ代替技術開発」プロジェクト・リーダー
3. 社) 電子情報産業技術協会、錫ウイスカ抑制技術研究委員会委員長
4. 社) エレクトロニクス実装学会関西支部顧問
5. 社) 日本金属学会欧文誌編集委員
6. 社) 溶接学会界面接合研究委員会委員
7. 社) 粉体粉末冶金協会参事
8. TMS Annual Meeting, Committee of Phase Stability, Phase Transformation, and Reactive Phase Formation in Electronic Materials (米国)
9. MRS 2007 Spring Meeting, Chairman of Symposium E: Pb-Free and RoHS-Compliant Materials and Processes for Microelectronics, Symposium E: Pb-Free and RoHS-Compliant Materials and Processes for Microelectronics Image, April 11 - 12, 2007
10. CIMTEC2006, International Advisory Board (欧州)
11. Plastic Electronics, Scientific Advisory Board (欧州)

奥 健夫

所属学会：日本金属学会、日本セラミックス協会、日本物理学会、日本顕微鏡学会
共同研究：

1. 東北大学金属材料研究所、川添良幸教授
2. 東北大学ナノテクノロジー支援、西嶋雅彦研究員
3. 日立金属(株) 先端エレクトロニクス研究所、所久人研究員、藤井重男主任研究員

山口 俊郎

共同研究：

1. 生体アフィニティー結合を応用した骨セメントの開発
岡崎正之（広大歯），坂本清子(大阪産大)，佐々木洋(近大理工)，
中山尋重(神戸薬大)，J. C. Elliot (Univ. of London)，松本卓也（阪大歯）
2. 骨吸収性リン酸カルシウム系骨セメントの開発
菅野（阪大医），新原（長岡技大），関野（阪大産研）

井上 雅博

共同研究：

1. エレクトロニクス用有機材料の熱伝導特性評価
大阪大学大学院工学研究科 原子力工学専攻 牟田浩明助手
2. ポーラス金属の表面改質法の開発
大阪大学産業科学研究所 新産業創造物質基盤技術研究センター 玄丞均助教授
大阪大学産業科学研究所 金属材料プロセス研究分野 中嶋英雄教授
3. 超フレキシブル配線技術を用いたソフトヒューマンインターフェースの開発
大阪大学大学院工学研究科 知能機能創成工学専攻 石黒浩教授

学会活動： エレクトロニクス実装学会・関西支部 役員同 若手研究会 幹事

科研費・助成金等

1. 21 世紀 COE プログラム事業推進担当者
菅沼 克昭
2. 地域新生コンソーシアム研究開発事業
「超柔軟接触センサの開発」
菅沼 克昭

3. NEDO 平成 18 年度高温はんだ代替技術開発プロジェクト
「高温鉛はんだ代替技術開発」
菅沼 克昭
4. NEDO 平成 18 年度大学発事業創出実用化研究開発助成金
「低温焼結金属ナノ粒子を用いた電子情報媒体の開発」
菅沼 克昭
5. 経済産業省平成 18 年度産学連携製造中核人材育成事業
「デジタル情報家電産業の競争力強化のための人材育成事業」
菅沼 克昭
6. NEDO 平成 18 年度パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発
プロジェクト
「高効率・高密度インバータ革新的高度化基盤技術開発」
菅沼 克昭
7. 科学研究費・萌芽研究：平成 18 年
「超柔軟性導電性接着剤における金属フィラー界面のナノ構造制御」
井上 雅博

ナノテクノロジー産業応用部門 計算機ナノマテリアルデザイン分野

(吉田博研究室)

所在地 〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1 FAX 06-6879-8539

構成

教授 吉田 博 (Hiroshi KATAYAMA-YOSHIDA)

TEL:06-6879-8535, E-mail:hiroshi@sanken.osaka-u.ac.jp

助教授 白井 光雲 (Koun SHIRAI)

TEL:06-6879-4302, E-mail:koun@sanken.osaka-u.ac.jp

助手 佐藤 和則 (Kazunori SATO)

TEL:06-6879-4303, E-mail:ksato@cmp.sanken.osaka-u.ac.jp

博士研究員 ディンバンアン、濱田幾太郎、柳澤将、李 揆浩、山内邦彦

学生 D2:木崎栄年、福島鉄也、豊田雅之、M2:竹内康祐、出倉春彦、名兒耶 彰洋、
平松雅規、南井仁、M1:中野 洋輔、原田 邦彦、江藤基比古、山口宏信、
B4: 實宝 秀幸、魚住 昭文、秘書:浅田美香

●メンバー



教授（兼任）吉田博

私は大阪大学大学院理学研究科・物理学専攻の物性理論分野（磁性理論）で理学博士の学位を授与され、日本学術振興会の奨励研究員を経て、東北大学理学研究科・物理学専攻で半導体物理学、高温超伝導研究、第一原理計算による物性予測やマテリアルデザインなどの理論的研究を行い、助手、助教授を経て、現在、産業科学研究所ナノテクノロジーセンターの計算機ナノマテリアルデザイン分野を兼担しております。本務は量子機能科学研究部門の量子物性研究分野です。私の夢は実験を用いずに理論的手法によって新機能を持つナノ超構造の新物質を次々にデザインすることのできる「21世紀の錬金術師」になることです。実験を一切用いずに、原子番号だけを入力パラメータにして、物質の微視的世界の基本法則である量子力学（第一原理）に基づいて、ナノ構造を持つ新物質や新機能を予言し、今までになかったような新機能物質をデザインし、これを実証するという研究です。

現在では、計算手法とコンピュータの計算能力の進歩により物質の基底状態における物性はかなりの精度で予言でき、世の中に存在しない仮想物質についてもかなりのレベル（基底状態の構造をきめる格子定数や体積弾性率などは実験と比べて1%以内の誤差）で予言でき、予言の後に行なわれる実証実験の結果ともかなりのレベルで良い一致を示します。また、計算結果のデータベースや他の物質のデータベースを基に

新物質を予測ための知識情報処理（インフォマティックス）が進歩すると第一原理計算との組み合わせで大きな進歩が期待されます。

将来は、21世紀の社会が抱える大きな課題である環境問題、エネルギー問題、高齢化（少子化）問題、安全安心な社会の実現を可能にし、解決するための研究にシフトしたいとも思っています。特に、ナノ超構造を利用した環境調和ナノ材料、高効率エネルギー変換ナノ材料、生体調和ナノ材料、シリコン CMOS を超える新しいクラスのナノエレクトロニクス材料（スピネレクトロニクス、モルトロニクス、クワントロニクス）などのナノマテリアルデザインに集中いたしたいと思います。

デザインだけでは机上の空論でありますので、デザイン→実証実験→評価実験のサイクルは不可欠であり、ナノテクセンターの他のグループとの共同研究が不可欠になります。世界と戦ったことのあるプロフェッショナルな実験グループとの共同研究により、世界に対して、ナノテクセンターからインパクトのある情報を発信してゆきます。

ナノテクセンターの後半期では、ナノリソグラフィによるトップダウンのナノテクノロジーと自己組織化によるボトムアップのナノテクノロジーを融合した新しいナノ超構造創成のためのデザインとこれらに付随するナノ新機能をデザインする研究を行いたいと思います。とくにデバイス応用を目指した超巨大物性応答のデザインは、新しいクラスのナノエレクトロニクスには不可欠であり、また、2018年には確実に破綻するシリコン CMOS の壁を超えるために、ナノダイナミクスでスピンの自由度と量子位相を同時に制御し、超高速（THz）、超高集積（Tbit）、超省エネルギー（不揮発性）を可能にする新しいクラスのエレクトロニクス構築のための基礎研究と大きなブレークスルーを目指します。

このような目的のためには、地道な基礎研究を積み重ねることが不可欠であり、これにより、はじめて計算機ナノマテリアルデザインが可能になり、デザイン主導とプロパテントを基盤にして、ナノマテリアルデザイナーやナノデバイス・デザイナーという新しい職業を創出し、新しくデザインし、創りだした新知識を売る第四次産業としての新しいタイプの新産業の創成が、かつて、米相場のシステムを世界に先駆けて発明したり、適塾のような優れた人材育成システムを創りだした創造性に満ちた商人の町、大阪の地で可能になることを夢見ています。

春夏冬二升五合



助教授 白井光雲

私は、半導体結晶成長や光物性分光実験の実験的研究を通して、実験事実を定量的に説明するための手段として用いていた物性理論の計算手法を通して物性理論研究に移り、1995年新たに発足した量子機能科学研究部門・量子物性研究分野を経て、産業科学研究所ナノテクノロジーセンターの計算機ナノマテリアルデザイン分野の助教授として、計算機ナノマテリアルデザイン手法の開発を行っています。ナノ構造を持つ新物質を計算物理学手法に基づく第一原理によりデザインすることは人類の大きな夢です。幸い、私は過去7年間にわたり、原子番号だけを入力パラメータにして、物質の基本法則である量子力学の基づき、全エネルギーの原子座標位置における微分である原子に働く力を計算し、これらの力に基づいて有限温度で原子が格子振動したり、高温で融解したり、また高速で冷却することによりアモルファス状態を正確に記述することの

できる第一原理分子動力学プログラムについて競争的資金を含む公財政をもとに自ら開発し、OSAKA-2000 というプログラム名で無償公開しています。これらのプログラムは、理論家のみならず、多くの実験家や企業の研究者および新物質開発担当者に広く受け入れられており、講習会やチュートリアルなどを通じては好評を得ています。産研ナノテクノロジーセンターでは、ナノ構造を持つ新物質の計算機ナノマテリアルデザインが可能になる計算機基盤ソフトの開発を目標にしています。この分野は試行錯誤的な要素も多く多くの試練が待ちかめていますが、チャレンジングな立場に立って、将来の産業応用に不可欠な計算手法とナノマテリアルデザイン・ツールを開発し、社会に提供してゆく研究を進めています。

計算機ナノマテリアルデザインは、物質を支配している微視的機構である要素を還元し、これらをデータベースとして、要素を統合することにより、新機能を持つナノ構造新物質をデザインしようとするまさに要素統合型科学の典型あり、Small is beautiful. Small is different, and Small is useful. という新階層を創出して行こうという大きな潮流と歴史的には見ることができる。



助手 佐藤和則

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻で博士(理学)の学位取得後、科学技術振興事業団計算科学研究員、大阪大学産業科学研究所 COE 研究員、日本学術振興会特別研究員、ユーリッヒ研究センター客員研究員を経て、現在産業科学研究所ナノテクノロジーセンター計算機ナノマテリアルデザイン分野の助手を務める。物質の性質を量子力学に基づき第一原理から計算し予測することは非常に難しい問題であるが、基底状態についてはかなり信頼できる計算方法が確立され、計算機の能力の向上のおかげで身近なものとなってきている。有限温度での第一原理計算の方法としては分子動力学法があるが、私は有限温度での磁性の議論のために、第一原理計算で求められたパラメーターを使ってモンテカルロシミュレーションを行うことを試みている。この方法を希薄磁性半導体の強磁性転移温度の予測に応用し、最近はかなり現実的なマテリアルデザインが可能になってきた。将来はこの方法を拡張し材料の合成法も含めてデザインしたい。また、材料だけでなくデバイスのデザインにも第一原理計算を応用できるように電気伝導特性の計算にも取り組んでいきたいと考えている。

最近では、第一原理計算により、半導体ナノスピントロニクス材料のデザインと実証が大きく進展し、計算機ナノマテリアルデザインは半導体スピントロニクスの分野では確固たる地位を確立し、産研ナノテクセンターでのデザインに基づいて、その後に行われた実証実験では、デザインとの良い一致が得られている。さらには、強磁性転移温度などについても精密予測の計算手法が産研ナノテクセンターで確立され、世界的なレベルでこれらが普及しつつあり、世界の半導体スピントロニクスの研究に対して大きなインパクトを与えた。

一方、ナノ超構造の自己組織化による製造技術としての真のナノテクノロジーはまだ発展段階にあり、産研ナノテクノロジーセンターから世界に対して新しいナノ超構造の創製法をデザインし、世界に発信してゆきたいと考えている。

●研究概要

ナノ構造材料の電子構造とマテリアルデザイン

計算機ナノマテリアルデザイン分野では、従来のバルクでは見られないような様々な物性が出現するナノ構造物質の性質を、理論的手法を用いて解明する。用いる手法は密度汎関数理論に基づく第一原理計算であり、あらゆる経験的パラメータを排除し原子番号のみの入力で行う。さらに、実験的に得られたナノ構造の解明だけでなく、新規な機能を持つ新たなナノ構造物質を理論的に設計し、ナノ物質探索をリードしていく。

また、このようなナノ領域現象の解明のためには従来の第一原理計算の発展・拡張が必須である。現在の第一原理計算の原理、密度汎関数理論の対象は基底状態に限られるが、実験的に多くの現象は励起状態に関係する。そのため、その重要性に鑑み、その方法論の発展をも行う。

●平成18年度研究成果

- ・擬ポテンシャル法による電子状態計算コード「Osaka2002_nano」の開発改良

擬ポテンシャル法による電子状態の計算プログラム「Osaka2002_nano」を公開しているが、その拡充、発展を行っている。今年度の成果は以下の通りである。大規模計算に対応した並列化を実装。スピンを入れたGGA計算。さらに内殻補正における補正方法の改良を行う。また相対論的効果、スピナー軌道相互作用への拡張コードを改良する。分子動力学シミュレーションの技法では、断熱ポテンシャルの鞍部を求めることが求められているが、それを力反転 (force inversion) 法により実現した。

具体的応用として、

- ・固体ホウ素の相図の決定

高圧下での超伝導転移で注目されている固体ホウ素は多くの相が存在することが知られていたが、その相図は知られていなかった。それを理論的に予測した。そして超伝導材料として期待されている α 相は、従来作成することが困難とされていたが、それを熱平衡条件下で得る方法を見出し、実験家に提唱している。

- ・Si中の水素原子の振動とそのエネルギー緩和

Si中の水素はシリコン中の価電子制御にとって重要である。その振動は水素の入るサイト、水素量を測定するための強力な道具である。シリコン中の水素の振る舞いを分子動力学シミュレーションを行うことで、水素の挙動が従来信じられてきたもの、すなわちSiのボンド中心に位置するという描写と違い、かなり折れ曲がった構造を

取ることが明らかになった。この屈曲によりシリコン中の水素は大きなエネルギー緩和を有することになる。これは赤外線照射による振動励起を行うとき、重要な制御パラメータとなる。

不純物の拡散は、デバイスプロセスで重要になる。これまでに H や Cu 不純物に関してその機構を解明してきた。その不純物拡散を制御するために不純物振動を利用することが提唱されている。不純物振動は赤外領域で起きているが、これを励起するには赤外線照射が必要となる。この励起が有効であるか、分子動力学シミュレーションにより検証した。その結果、局在モードの性格を持つ酸素、ボロン不純物に関しては、この方法は有効であることが分かった。

- ・ Si 中の遷移金属不純物の拡散制御

Si 中の遷移金属不純物は、いろいろデバイスの性能を劣化させるので、それを除去することが必要である。そのため、ドーパント原子によるゲッターリングという方法が行われているが、どのような材料の組み合わせが良いかは従来経験的にしか分かっていなかった。それを系統的に調べ、より効率の良いゲッターリング法を提案している。今回、Cu に対して効果的なゲッターリング法を見いだした。それは B と O の複合体を利用したものである。

昨年度に引き続き Korringa-Kohn-Rostoker Coherent-potential-method (KKR-CPA) による電子状態計算パッケージ(MACHIKANAYAMA)への機能追加、およびそれを用いた希薄磁性半導体の電子状態計算と半導体スピントロニクス材料の材料設計を行った。

- ・ 希薄磁性半導体の相分離とその磁性への影響

希薄磁性半導体は熱平衡状態では安定ではなく相分離を起こす系であることがわかっており、昨年度は第一原理シミュレーションを用いて MBE 結晶成長のような Layer-by-layer 成長の条件下では成長方向に一次元的にのびた大きなクラスターが希薄磁性半導体中に形成されることを示した。本年度は、このような相分離が起きた系の磁化特性をモンテカルロシミュレーションにより調べた。シミュレーションには Dimitron らの提案した局所アルゴリズムによる非平衡状態のシミュレーション法を用いた (PRB 54 (1996) 9237)。その結果、系が相分離を起こし超常磁性状態 (キュリー温度=0) となっても、磁気異方性に起因するエネルギー障壁のために磁化曲線にヒステリシス現象が現れる。このような強磁性的特性は大きなクラスターが成長した系ほど大きく現れるため、この現象はワイドギャップ希薄磁性半導体で問題とな

っていた高温強磁性相の起源を定性的に説明する。シミュレーション結果については実証実験が進行中である。

- ・ 希薄磁性半導体のスピノダル分解によるナノ磁性体の生成と制御

上記の Layer-by-layer 条件下でのスピノダル分解では、第一層目にランダムに形成されたクラスターの種をもとにして一次元的構造が自己組織化するため、形成されたナノマグネットは希薄磁性半導体中にランダムに分布することになる。我々は第一原理電子状態計算に基づいたシミュレーションにより、結晶成長前にシーディング（種付け）を行うことで希薄磁性半導体中の望みの位置にナノマグネットを自己組織化できることを示した。また、ナノマグネット成長中に磁性イオン濃度や成長速度を制御することでナノマグネットの形状を操作できることをシミュレーションにより示した。この方法は半導体中にスピントロニクスデバイスを超高密度に自己組織化により生成する方法として有望である。

- ・ CuAlO_2 ベース希薄磁性半導体のマテリアルデザイン

デラフォサイト構造を持つ CuAlO_2 は一般の酸化物とは違い p 型にドーピングされやすく、透明伝導体としての応用のほかに希薄磁性半導体の母体材料としても興味を持たれている。本研究では、 CuAlO_2 の Cu または、Al サイトに 3d 遷移金属を添加した系の第一原理計算を行い、遷移金属間に働く有効交換相互作用を第一原理から計算した。予備的なモンテカルロ計算によると、相互作用が短距離相互作用であるため、低濃度では一般にキュリー温度はせいぜい 100K 程度と低いことがわかった。また、酸化物希薄磁性半導体では電子状態計算に用いている局所近似が悪くなっている可能性があるため、自己相互作用補正を取り入れた電子状態計算を行った。その結果フェルミレベル付近の状態密度が大きく減少し強磁性が抑制される可能性があることがわかった。

- ・ MgO , CaO , SrO , BaO ベース希薄磁性半導体のマテリアルデザイン

自己相互作用補正を取り入れた電子状態計算により、典型元素を添加したアルカリ土類金属の強磁性を調べた。その結果炭素を添加した MgO , CaO , SrO , BaO では強磁性状態が安定となることがわかった。これらの系は炭素添加により不純物バンドをつくり二重交換相互作用で強磁性が安定化されているため相互作用は短距離的で高いキュリー温度は望めない。しかし、磁性不純物なしで強磁性を発現する物質として基礎物性の観点から興味を持たれている。

・ ZnO ベース希薄磁性半導体のスピノダル分解

ワイドギャップ半導体である酸化亜鉛は、エキシトンの束縛エネルギーが大きく安価で環境調和性のよい材料として注目を浴びているが、半導体スピントロニクス材料としての可能性も追求されており、遷移金属を添加した系の磁性が調べられている。III-V 族、II-VI 族希薄磁性半導体で問題となっていたスピノダル分解の ZnO 系における重要性を調べるために、3d 遷移金属の混合エネルギーと有効原子対相互作用を第一原理から計算した。その結果、ZnO 系希薄磁性半導体も相分離を起こす系であることがわかり、スピノダル分解により強い濃度不均一を起こすことがシミュレーションにより示された。

● Publication List

- (1) "Crystal stabilities of α - and β -borons", A. Masago, K. Shirai and H. Katayama -Yoshida, Phys. Rev. B **73** 104102 (2006).
- (2) "Vibration Problem of H in Silicon", K. Shirai, I. Hamada, and H. Katayama -Yoshida, Physica B **376-377** (2006), 41.
- (3) "Gettering Mechanism of Transition Metals in Silicon Calculated from First Principles", K. Matsukawa, K. Shirai, and H. Katayama -Yoshida, Physica B **376-377** (2006), 224
- (4) "Ab-initio Material Design for Control of DB in a-Si", N. Mitsuda, K. Shirai, and H. Katayama -Yoshida, Physica B **376-377** (2006), 240.
- (5) "Instability of graphite structure induced by excited holes", H. Nakayama, K. Shirai, and H. Katayama -Yoshida, Physica B **376-377** (2006), 296.
- (6) "Curie temperatures of dilute magnetic semiconductors from LDA+U electronics structure calculations", K. Sato, P. H. Dederichs and H. Katayama-Yoshida, Physica B **376** 639 (2006)
- (7) "Electronic structure of (Zn, V)O and (Zn, Co)O in the self-interaction-corrected calculation", M. Toyoda, H. Akai, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, Physica B **376** 647 (2006)
- (8) "Ab-initio calculations of CuAlO₂ based dilute magnetic semiconductor", H. Kizaki, K. Sato, A. Yanase and H. Katayama-Yoshida, Physica B **376** 812 (2006)
- (9) "Spinodal decomposition under layer by layer growth condition and high Curie temperature quasi-one-dimensional nano-structure in dilute magnetic semiconductors", T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida and P. H. Dederichs, Jpn. J. Appl. Phys. **45** L416 (2006)
- (10) "First-principles study of the effect of the superexchange interaction in (Ga, Mn)V, V=N, P, As and Sb", Y. H. Chang, C. H. Park, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, J. Korean Phys. Soc., **49** 203 (2006)
- (11) "Ab initio study of spinodal decomposition in (Zn, Cr)Te", T. Fukushima, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, Phys. Stat. Sol. (a), **203** 2751 (2006)
- (12) "Exchange interaction and T_c in alkaline-earth-metal-oxide-based DMS without magnetic impurities: First principle pseudo-SIC and Monte Carlo calculation", V. A. Dinh, M. Toyoda, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, J. Phys. Soc. Jpn., **75** 93705 (2006)
- (13) "First-principles calculations of exchange interactions in CuAlO₂ based dilute magnetic semiconductors with carrier doping", H. Kizaki, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, Phys. Stat. Sol. (c), **3** 2771 (2006)

- (14) "Pseudo-SIC study on the ferromagnetism induced by carbon in AO-based DMS (A=Mg, Ca, Ba, Sr)", V. A. Dinh, M. Toyoda, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, Phys. Stat. Sol. (c), **3** 4131 (2006)
- (15) "Ab initio design of fabrication process and shape control of self-organized Tera-bit-density nano-magnets in dilute magnetic semiconductors by two-dimensional spinodal decomposition", T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida and P. H. Dederichs, Phys. Stat. Sol. (c), **3** 4139 (2006)
- (16) "Local environment effects on exchange interactions in dilute magnetic semiconductors", K. Sato, P. H. Dederichs and H. Katayama-Yoshida, Phys. Stat. Sol. (c), **3** 4143 (2006)
- (17) "High-pressure properties and phase diagram of boron", K. Shirai, A. Masago, and H. Katayama -Yoshida, phys. stat. sol. (b) 244 303 (2006).

●Presentation List

【国内学会】

◎2006 年春の応用物理学会： 第 5 3 回、武蔵工大、3 / 2 2-2 6

“シリコン中の不純物振動の赤外線励起の第一原理シミュレーション(III)”

白井光雲, 吉田博 (22a-ZB-8)

“第一原理計算による 3 d 遷移金属のゲッターリング機構の解明”

松川和人、白井光雲, 吉田博 (22p-ZB-16)

“シリコン中リン原子の微視的拡散機構とその制御”

中山博幸、白井光雲, 吉田博 (23a-V-8)

“ワイドギャップ希薄磁性半導体のスピノダル分解と磁性”

佐藤和則、福島鉄也、吉田博、Peter Dederichs (23a-ZM-8)

“ 第一原理計算によるハーフホイスラー型希薄磁性半導体の物質設計”

福島鉄也、佐藤和則、吉田博、Peter Dederichs (25a-ZM-7)

◎2006 年春の日本物理学会： 第 6 1 回、愛媛大、3 / 2 7-3 0

“ベータホウ素の高圧における構造”

白井光雲, 出倉春彦、吉田博 (30aRC-1)

“a-ガリウム型構造を持つ固体ホウ素の安定性”

出倉春彦、白井光雲, 吉田博 (30aRC-6)

◎2006 年秋の応用物理学会 (第 6 7 回応用物理学会学術講演会) : 2006 年 8 月 2 8 日
~9 月 1 日 (立命館大学、草津)

“シリコン中の Cu 不純物の電子状態と拡散”

白井光雲, 松川和人、吉田博 (29a-ZG-10)

“LDA+SIC 法による希薄磁性半導体の電子状態と磁性の予測”

豊田雅之、赤井久純、佐藤和則、吉田博 (31a-ZK-6)

“第一原理計算とスピノーダル分解を用いたナノ超構造を持つ希薄磁性半導体材料のデザイン”

福島鉄也、佐藤和則、吉田博、Peter Dederichs (31a-ZK-7)

◎2006 年秋の日本物理学会：2006 年 9 月 23 日～36 日（千葉大学）

“高圧下でのボロンの分子動力学シミュレーション”

白井光雲、出倉春彦、吉田博 (23aZB-1)

“高圧下における固体ホウ素の性質”

出倉春彦、白井光雲、吉田博 (23aZB-4)

“第一原理計算による結晶 Si における CN の結合状態と拡散についての研究”

光田直樹、森川良忠、白井光雲、吉田博 (24aZD-8)

“第一原理計算を用いたナノ超構造を持つ希薄磁性半導体材料のデザイン”

福島鉄也、佐藤和則、吉田博、Peter Dederichs (25a-XJ-8)

“第一原理計算による CuAlO₂ を母体とした希薄磁性半導体の交換相互作用の第一原理計算 “

木崎栄年、佐藤和則、吉田博 (25aXJ-9)

“局所環境効果を取り入れた希薄磁性半導体の交換相互作用の第一原理計算”

佐藤和則、P. H. Dederichs、吉田博 (25a-XJ-13)

“LDA+SIC 法による希薄磁性半導体の電子状態と磁性の予測”

豊田雅之、赤井久純、佐藤和則、吉田博 (25aXJ-14)

★ “高いキュリー温度を持つワイドギャップ希薄磁性半導体のデザインと合成”

佐藤和則 (24pZD-1)

◎第 47 回高圧討論会 2006 年：2006 年 11 月 9 日～11 日（熊本大学）

“ホウ素固体の相図”

白井光雲、出倉春彦、出倉春彦 (2A10)

“高圧下ホウ素系物質の安定性”

出倉春彦、山口宏信、白井光雲 (1P05)

◎科研費特定領域「次世代量子シミュレータ・量子デザイン手法の開発」ミニワークショップ 「Beyond LDA としての新しい電子状態計算手法」2006 年 2 月 22、23 日、東京大学理

“大規模系での自由エネルギーの計算 ―ホウ素結晶の場合―”，白井光雲

◎科研費特定領域「次世代量子シミュレータ・量子デザイン手法の開発」ミニワークショップ 「大規模・高精度電子状態計算手法に関する研究会」2006年7月13、14日（阪大・産研）

“赤外線励起による半導体中の不純物拡散の制御”，白井光雲、松川和人、吉田博
“高圧下でのボロン結晶の構造変化”，出倉春彦、白井光雲、吉田博

◎第4回ホウ素・ホウ化物研究会 2006年：2006年3月4日（日本大学文理学部）

“高圧における固体ホウ素の振る舞い”，白井光雲、真砂啓、出倉春彦

◎SPring-8 利用者懇談会「赤外光励起による新物質プロセッシング」研究会

「キックオフ会議」SPring-8、7月1日（土）

基調報告、白井 光雲

◎10th SPring-8Symposium、2006年11月1、2日 SPring-8

“赤外光励起を使った新物質プロセッシングと新産業”，白井 光雲

◎BL43IR 研究会，SPring-8、2006年12月26日

“赤外励起による新物質プロセッシング” 白井 光雲

◎第5回「水素量子アトミクス研究会」東京大学21世紀COE研究会

2007年1月10日、11日、東京大学 理学部

“水素を吸蔵させたナノクラスターPd構造の第一原理計算”、
白井光雲、山口宏信、江村修一、荒地良典

◎第25回電子材料シンポジウム（2006年7月5日—7日、伊豆の国）

★“Materials Design and Realization for Semiconductor Nano-Spintronics”

佐藤和則、吉田博

◎物性研短期研究会「半導体スピトロニクスの展開」(PASPS11)

（2006年12月14、15日、東京大学物性研究所）

★“希薄磁性半導体のナノスケールスピノダル分解と磁性”

佐藤和則、福島鉄也、吉田博

“First-principles Design of Self-organized Tera-bit-density Nano-magnets in Dilute Magnetic Semiconductors by Spinodal Decomposition”

福島鉄也、佐藤和則、吉田博、Peter H. Dederichs

“Nano-scale spinodal decomposition in ZnO-based Dilute magnetic semiconductors”

豊田雅之、佐藤和則、吉田博

“第一原理計算による CuAlO₂ を母体とした希薄磁性半導体の磁性”

木崎栄年、佐藤和則、吉田博

◎東北大学金属材料研究所ワークショップ「強磁性半導体スピトロニクス of 室温動作を目指して～構造と物性の理解～」2006年11月10、11日東北大金研

★“希薄磁性半導体のナノスケールスピノダル分解と磁性”

佐藤和則

“Nano-scale spinodal decomposition phase in ZnO-based dilute magnetic semiconductors”

豊田雅之

“Ab-initio design of fabrication process and shape control of self-organized tera-bit-density nano-magnets in dilute magnetic semiconductors by two-dimensional spinodal decomposition”

福島鉄也

“Materials design of CuAlO₂ based dilute magnetic semiconductors for semiconductor spintronics”

木崎栄年

“Ab initio materials design of ferromagnetic semiconductors without transition metal impurities: The new class of DMS”

An van Dinh

◎日本学術振興会専門研究会「電子系の新しい機能」2007年1月13日国際高等研

★“第一原理計算による希薄磁性半導体の自己組織化と物性デザイン”

佐藤和則

【国際会議】

◎ Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Osaka, Japan, 30 Jan. – 1 Feb., 2006

“Materials Design for semiconductors spintronics and JSPS core-to-core program”,

H. Katayama-Yoshida, K. Sato

“Spinodal decomposition under layer by layer growth condition and high Curie temperature quasi one dimensional nano structure in dilute magnetic semiconductor”,

T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, P. H. Dederichs

“Gettering Mechanism of 3d transition metals studied by first principles calculation”,

K. Matsukawa, K. Shirai, H. Katayama-Yoshida

◎ 9th SANKEN International Symposium (SIS-2006), Osaka, Japan, Feb. 8-9, 2006

“High-Curie temperature spinodal decomposition phase in dilute magnetic semiconductors”,

K. Sato, T. Fukushima, H. Katayama-Yoshida, P. H. Dederichs

“Controlling of Impurity Diffusion in Silicon”

K. Shirai, H. Katayama-Yoshida

“High-Pressure Control of Boron Crystals”

K. Shirai, H. Dekura, H. Katayama-Yoshida
 “Microscopic Mechanism of Phosphorus Diffusion in Silicon”
 H. Nakayama, K. Shirai, H. Katayama-Yoshida
 “Self-interaction-corrected calculations of dilute magnetic semiconductors”
 M. Toyoda, H. Akai, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

© Kavli Institute of Theoretical Physics workshop Spintronics program, KITP, UCSB, Santa Barbara, CA, Mar. 13 – Jun. 23

★ “Finite temperature magnetism in dilute magnetic semiconductors”, K. Sato

©28th Int. Conf. Physics of Semiconductors, Vienna, July 24-28, 2006,
 "Atom relaxation of H in silicon",
 K. Shirai, and H. Katayama -Yoshida, FrM2f.21.
 "Gettering Mechanism of 3d Transition Metals Studied by First Principles Calculation",
 K. Matsukawa, K. Shirai, and H. Katayama -Yoshida, FrM2g.4.
 “Local environment effects on exchange interactions and Curie temperatures in dilute magnetic semiconductors”
 K. Sato, P. H. Dederichs, H. Katayama-Yoshida, TuA3r.9
 “Effects of spinodal decomposition on ferromagnetism in dilute magnetic semiconductors”
 T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, P. H. Dederichs, TuA3r.10
 “First-principles calculation under carrier doping treatment in CuAlO₂ based dilute magnetic semiconductors”
 H. Kizaki, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, TuA3r.23
 “Microscopic mechanism of Phosphorus diffusion in Silicon”
 H. Nakayama, K. Shirai, H. Katayama-Yoshida, FrM2g.23

©12th Int. Conf. on High Pressure Semiconductor Physics, Barcelona Spain, 2006

" High-pressure properties and phase diagram of boron", K. Shirai, A. Masago, and H. Katayama -Yoshida, Th12-3.

© The 4th international conference on Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS4), Sendai, Japan, Aug. 15-18, 2006
 “Exchange Interactions in Wide-Gap Dilute Magnetic Semiconductors”
 B. Belhadji, P. H. Dederichs, K. Sato, H. Katayama-Yoshida
 “Pseudo-SIC calculation for AO-based DMS without transition metals (A=Mg, Ca, Ba, Sr)”
 V. A. Dinh, M. Toyoda, K. Sato, H. Katayama-Yoshida
 “Carrier concentration dependence of ferromagnetic states in CuAlO₂ based dilute magnetic semiconductors by first-principles calculation”
 H. Kizaki, K. Sato, H. Katayama-Yoshida
 “Theoretical investigation of spinodal decomposition in dilute magnetic semiconductors”
 T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, P. H. Dederichs
 “First-principles study of half-Heusler compound type dilute magnetic semiconductors”
 T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, P. H. Dederichs
 “Local environment effects on exchange interactions in dilute magnetic semiconductors”
 K. Sato, P. H. Dederichs, H. Katayama-Yoshida
 “First-principles studies of dilute magnetic semiconductors using SIC-LDA approach”
 M. Toyoda, H. Akai, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

© International conference on Magnetism, Kyoto, Japan, Aug. 20-25, 2006

★“Computational Nano-materials Design for High-Tc Ferromagnetism in wide-gap magnetic semiconductors”

H. Katayama-Yoshida, K. Sato, T. Fukushima, P. H. Dederichs

© European Material research society fall meeting, Warsaw, Poland Sep. 4-8, 2006

★“Theory of ferromagnetic semiconductors”, H. Katayama-Yoshida

© 10th SANKEN International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006, 19 - 20 September 2006 (Osaka University).

"Nano-scale control of impurity diffusion and materials design in silicon", K. Shirai

“Local Environment effects on Exchange interactions and Curie temperatures in dilute magnetic semiconductors”, K. Sato, P. H. Dederichs, H. Katayama-Yoshida

“First-principles studies of dilute magnetic semiconductors using SIC-LDA approach”, M. Toyoda, H. Akai, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

“First-principles calculations under carrier doping treatment in CuAlO₂ based dilute magnetic semiconductors”, H. Kizaki, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

© Conferencen on Computational Magnetism and Spintronics (CompMag 2006), Juelich, Germany, Oct. 2-4, 2006

“Ab initio Design of Fabrication Process and Shape Control of Self-organized Tera-bit-density Nano-magnets in Dilute Magnetic Semiconductors by Two-dimensional Spinodal Decomposition”, T. Fukushima

“Spinodal Decomposition and Super-Paramagnetism in Dilute Magnetic Nitride Semiconductors”, K. Sato

“Nano-scale spinodal decomposition phase in ZnO-based dilute magnetic semiconductors”, M. Toyoda

“Materials Design of CuAlO₂ based dilute magnetic semiconductors for semiconductor spintronics”, H. Kizaki

© 4th International Workshop on ZnO and Related Materials, Oct. 3-6, 2006, Giessen, Germany

“Nano-Scale spinodal decomposition phase in ZnO-based dilute magnetic semiconductors” M. Toyoda, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

“Magnetic properties of ZnO-based dilute magnetic semiconductors from SIC-LSDA calculations”,

M. Toyoda, H. Akai, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

© 1st international symposium on transparent conductive oxides (IS-TCO), Creta, Greece, Oct 23-25, 2006

★“Ab initio materials design for TCO-based new functional materials”, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, H. Kizaki, H. Funashima, I. Hamada, T. Fukushima, M. Toyoda

© Handai Nanosceince and Nanotechnology International Symposium 2006, Nov. 20-22, 2006 (Osaka University).

"Theoretical Approach to nanoscale Control of Impurity Diffusion in Silicon: Material Dynamics Design",

K. Shirai, K. Matsukawa, and H. Katayama-Yoshida,

“Computational Nano-materials Design for Semiconductors Nano-spintronics”,

H. Katayama-Yoshida

“Materials design of CuAlO₂ based dilute magnetic semiconductors for semiconductor spintronics”

H. Kizaki, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

“LDA+SIC Calculations for ZnO-based Dilute Magnetic Semiconductors”

M. Toyoda, H. Akai, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

“Ab initio Design of Fabrication Process and Shape Control of Self-organized

Tera-bit-density Nano-magnets in Dilute Magnetic Semiconductors by Two-dimensional Spinodal Decomposition”

T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, P. H. Dederichs

“ Local environment effects on exchange interactions in dilute magnetic semiconductors”

K. Sato, P. H. Dederichs, H. Katayama-Yoshida

“Ferromagnetim in Oxide-based DMS without transition metal impurities”

V. A. Dinh, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

© Materials Research Society Fall Meeting, Boston, MA, Nov. 27 – Dec. 1, 2006

★“Spinodal decomposition and super-paramagnetism in dilute magnetic nitride semiconductors”

K. Sato, T. Fukushima, H. Katayama-Yoshida

“Materials Design of Ferromagnetic Diamond”,

H. Katayama-Yoshida, K. Kenmochi, K. Sato, A. Yanase

“Nano-Scale Spinodal Decomposition Phase in ZnO-based Dilute Magnetic Semiconductors”

M. Toyoda, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

“Ab initio Design of Fabrication Process and Shape Control of Self-organized

Tera-bit-density Nano-magnets in Dilute Magnetic Semiconductors by Two-dimensional Spinodal Decomposition”

T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, P. H. Dederichs

◎International Conference on Quantum Simulators and Design, Hiroshima, Dec. 3-6, 2006,

"Control of Impurity Diffusion in Silicon by IR Laser Excitation",

K. Shirai, H. Yamaguchi, and H. Katayama -Yoshida

"Valence Control of α -rhombohedral Boron by Electronic Doping",

H. Dekura, K. Shirai, and H. Katayama -Yoshida

"Spinodal Decomposition and Super-Paramagnetism in Dilute Magnetic Semiconductors"

K. Sato, T. Fukushima, H. Katayama-Yoshida

"Vacancy-Induced Magnetism in HfO_2 "

V. A. Dinh, M. Toyoda, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

"Local environment effects on exchange interactions and Curie temperatures of Dilute magnetic semiconductors"

K. Sato, P. H. Dederichs, H. Katayama-Yoshida

"First-principles Design of Self-Organized Tera-Bit-Density Nano-Magnets in Dilute Magnetic Semiconductors"

T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, P. H. Dederichs

"Pseudo-SIC and Monte Carlo Study of Magnetism in Co-doped SiO_2 "

V. A. Dinh, M. Toyoda, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

"Materials Design of CuAlO_2 Based Dilute Magnetic Semiconductors for Semiconductors Spintronics"

H. Kizaki, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

"Electronic Structure of Dilute Magnetic Semiconductors from LDA+SIC Calculations"

M. Toyoda, H. Akai, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

◎ 5th 21st Century COE "Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience"

International Symposium, Awaji, Japan, Dec. 8, 9, 2006

"Local environment effects on exchange interactions and Curie temperatures in dilute magnetic semiconductors",

K. Sato, P. H. Dederichs, H. Katayama-Yoshida

"Computational Nano-materials Design for Semiconductor Spintronics",

H. Katayama-Yoshida, K. Sato, T. Fukushima, H. Kizaki, M. Toyoda, V. A. Dinh

"First-principles Study of CuAlO_2 based Dilute Magnetic Semiconductors",

H. Kizaki, K. Sato, H. Katayama-Yoshida

"First-principles Design of Self-organized Tera-bit-density Nano-magnets in Dilute Magnetic Semiconductors",

T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, P. H. Dederichs

● 特許

シリコン結晶中の Cu 不純物のゲッターリング方法

吉田博、白井光雲、道北俊行：大韓民国出願 10-2004-7010635 (2/2/2006 出願)

遷移金属または希土類金属を固溶する透明強磁性アルカリカルコゲナイド化合物およびその強磁性特性の調整方法

吉田博、清家聖嘉、佐藤和則、柳瀬章：欧州連合特許登録番号 EP1634979A1 (3/15/2006 登録)

磁気抵抗ランダムアクセスメモリー

吉田博、佐藤和則：韓国特許登録番号 0557387 (特許登録 2/24/2006) 台湾特許登録番号 I-262593 (特許登録 9/21/2006)

強磁性 VI 族系半導体、強磁性 III-V 族系化合物半導体、または強磁性 II-VI 族系化合物半導体とその強磁性特性の調整方法

吉田博、荒木和也、佐藤和則：台湾特許登録番号 I-252521 (特許登録 4/1/2006)

磁性半導体を用いた円偏光スピン半導体レーザーおよびレーザー光の発生方法

吉田博、佐藤和則：日本特許登録番号 3797936 (特許登録番号 4/28/2006)

Circular polarized light-generating spin-based semiconductor laser source using magnetic semiconductor and method of generating laser light

Hiroshi Yoshida, Kazunori Sato: 大韓民国特許登録番号 10-0603057 (特許登録 7/12/2006)

シリコン結晶中の遷移金属不純物のゲッタリング方法

吉田博：米国特許登録 9/25/2006、大韓民国特許登録番号 10-0596701 (特許登録 6/27/2006)

II-VI 族または III-V 族系単結晶強磁性化合物およびその強磁性の調整方法

吉田博、佐藤和則：台湾特許登録番号 I-254088 (特許登録 5/1/2006)

Ferromagnetic p-type single crystal zinc oxide and method for preparation thereof

Hiroshi Yoshida, Kazunori Sato: 米国特許登録番号 US7022182B1 (特許登録 4/4/2006)

Method for synthesizing n-type diamond having low resistance

Hiroshi Yoshida: ドイツ特許登録番号 DE69926985T2 (特許登録 7/13/2006)

Ferromagnetic ZnO-type compound including transition metallic element and method for adjusting ferromagnetic characteristics thereof

Hiroshi Yoshida, Kazunori Sato: 米国特許登録番号 US7115213B2 (特許登録 10/3/2006)

●国際研究交流

日本学術振興会先端研究拠点事業

佐藤和則：2006年9月29日—11月8日、ユーリッヒ研究センター（ドイツ）

佐藤和則：2006年10月26日—29日、ラクイラ大学（イタリア）

● 科研費、助成金等

日本学術振興会先端研究拠点事業

研究交流課題名：計算機ナノマテリアルデザイン

コーディネーター：吉田博

科学技術振興機構共同研究

研究課題名：先端計測・分析技術に関する調査研究

研究代表者：吉田 博

科学研究費補助金「特定領域研究」

領域名：次世代量子シミュレーター量子デザイン手法の開発

研究課題名：計算機ナノマテリアルデザインエンジンの開発

研究代表者：佐藤和則

研究分担者：吉田博、Van An Dinh

科学研究費補助金「特定領域研究」

領域名：次世代量子シミュレーター量子デザイン手法の開発

研究課題名：超並列大規模量子ダイナミクスシミュレーターの開発公開

研究代表者：森川良忠

研究分担者：白井光雲、濱田幾太郎、柳澤将

科学研究費補助金「若手研究(B)」

研究課題名：非局所 CPA 法によるスピントロニクス材料の電子輸送特性の第一原理計算

研究代表者：佐藤和則

●その他の活動

コンピューテーショナル・マテリアルズ・デザイン（CMD）ワークショップ

第8回（平成18年3月7日-11日）国際高等研究所

第9回（平成18年9月5日-9日）国際高等研究所

大阪大学・産業科学研究所 ナノテクノロジー産業応用研究部門 ナノバイオ知能システム分野

所在地 〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1 FAX 06-6879-2123

構成

教授(兼) 溝口 理一郎 (Riichiro MIZOGUCHI) TEL:06-6879-8415, E-mail:handai@sanken.osaka-u.ac.jp

助手 古崎 晃司 (Kouji KOZAKI) TEL:06-6879-4304, E-mail:kozaki@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

研究概要

ナノ・バイオ知的支援システムの開発, ナノ・バイオテクノロジーに関わる膨大なデータからのデータマイニング・知識発見, ナノ・バイオテクノロジー知識の構造化, オントロジー工学などの知能システム科学とナノ・バイオテクノロジーとを融合した研究の中で, 特にナノテクノロジー知識の構造化に重点を置いて研究を行っている.

オントロジー工学に基づくコンテンツ管理システムの開発

実施者: 古崎 晃司, 溝口 理一郎

ナノテクノロジーに関わる知識は多岐にわたっており, それらを領域横断的に俯瞰することは非常に重要となる. そのような背景のもと, 多彩な研究領域にまたがる知識を構造化することで, 複数領域間での研究成果や知識の交流を実現し, 新規分野開拓の促進することを目的とした, 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) による「材料技術の知識の構造化」プロジェクトにおいて, 様々な領域の知識を構造化して計算機に格納する「知識の構造化プラットフォーム」の開発が進められている. 知識の構造化プラットフォームには, 分野別知識の構造化システム, 機能-構造-プロセスの概念設計システムをはじめ, シミュレーター, 電子教科書, データベース群など, 既に多くのコンテンツが格納されている.

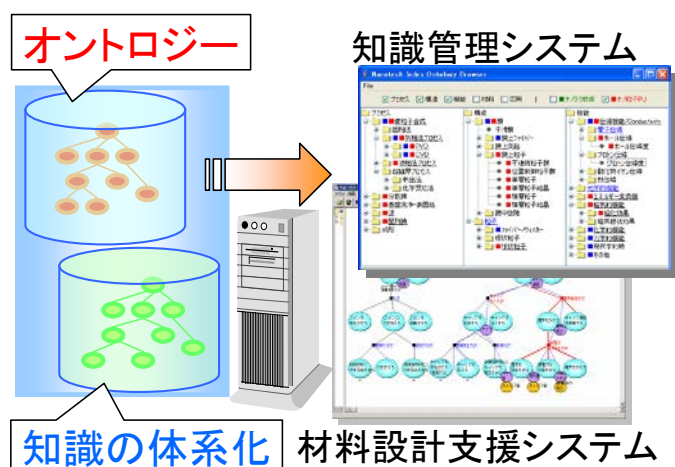


図1 オントロジー工学に基づくナノテク知識の体系化

しかし, 増大する多くのコンテンツを効率的にシステムに格納し, 相互に連結させて有効利用するには, これらを統合的に管理する枠組みが必要となる. そこで本研究では, オントロジー工学に基づいてナノテクノロジー知識を体系化して計算機に格納した. そして, それらの体系化された知識を用いたナノテク材料設計支援シ

システムおよび知識管理システムの開発を行っている（図1）。

今年度は、文献やシミュレーター、各種データベースなど様々な形式で計算機に格納されたナノテク知識に関するコンテンツを、対象領域やコンテンツの種類を問わず統一的に管理するために「オントロジーベースのコンテンツ管

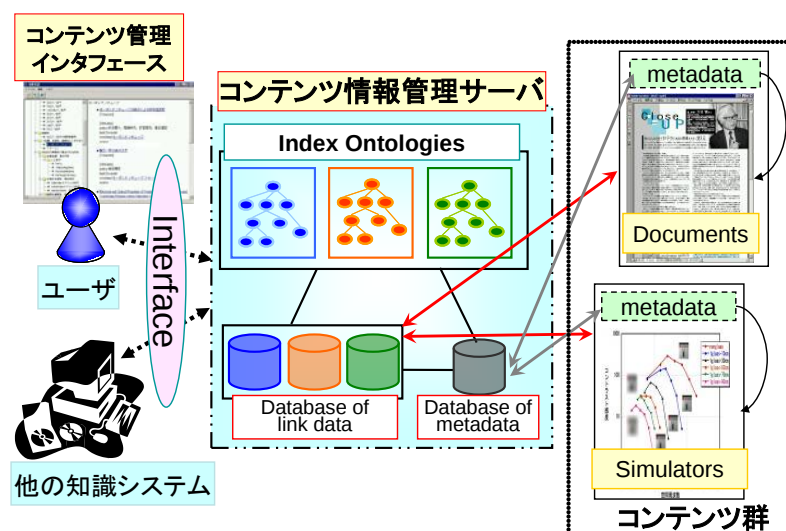


図2 オントロジーに基づくコンテンツ管理システム

理システム」を開発した（図2）。本システムでは、ナノテクノロジー分野に現れる共有の概念をプロセス、構造、機能、材料、応用といった5つの視点から体系化した概念数約2000のインデックスオントロジーを用いて、各コンテンツの格納場所や相互の関連性を管理する。インデックスオントロジーの構築には、当研究室で開発を進めているオントロジー構築利用環境「法造」のオントロジーエディタを使用した。本システムを用いることにより、コンテンツの内容に対する共通知識体系を提供するオントロジーに基づいて、コンテンツを統一的視点から管理することが可能となり、コンテンツ検索時間の短縮など、効率のよい管理に貢献する。またその結果、複数領域を横断した、知識の共有・再利用が促進され、新領域の開拓に貢献することが期待される。

オントロジー工学に基づく材料設計支援システムの開発

実施者：古崎 晃司，溝口 理一郎

研究協力者：垂見晋也（大学院博士後期課程）

本研究では、機能概念オントロジーに基づき、ナノテクノロジー材料の機能設計からプロセス設計に渡る一連の設計過程を支援する計算機システムの開発を目指している。機能概念オントロジーに基づく知識共有の枠組みは、分野にまたがる一般性を持った設計者の意図を表す知識として機能に関する知識に注目し、知識に対して規約を与えるオントロジーを提供する1,2)。この枠組みは既に半導体などの生産装置・工程を主な対象として民間企業において実用されており、設計者・現場オペレータ・特許弁理士などの視点の異なる技術者間の知識共有を促進する効果が確認されている。

機能概念オントロジーに基づく知識共有の枠組みを材料分野に適用するに当たり、材料が持つ「機能」および、材料を合成する「プロセス」を対象として、テストケースとなる機能分解木を構築した。この過程を通して、機能オントロジーに材料の「機

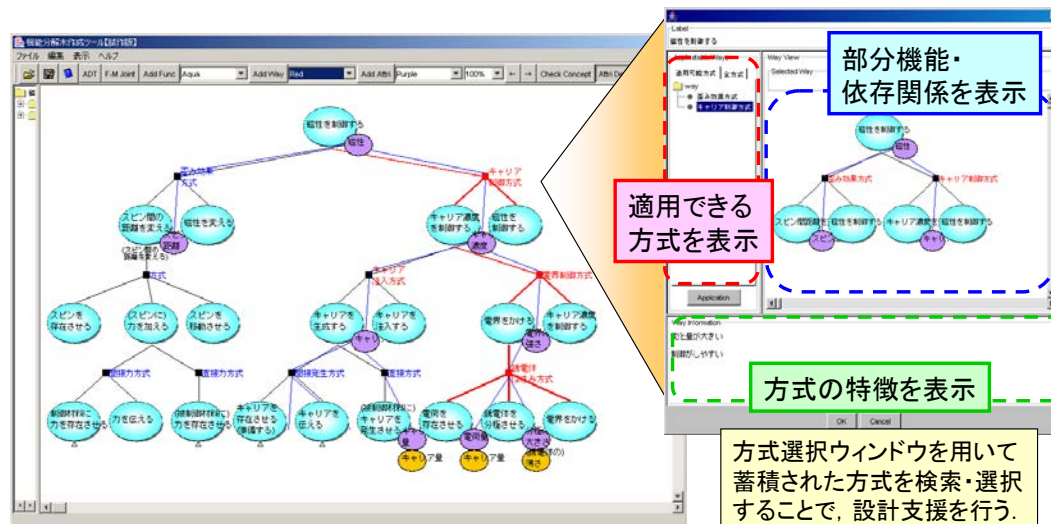


図3 設計支援システムの実行画面

能」に関する語彙を追加し、併せて、それらの機能を達成する為の「方式知識」を拡充した。ここから得られた知見として、1)材料の「機能」に関しては、従来の枠組みにおける「機能」に加えて、材料の性質や物性を表す「機能」を峻別して扱う必要性があること、2)合成プロセスに関しては、各単位操作に分解することで従来の枠組みが適用できること、3)各機能やプロセスに関する属性の依存関係が重要な意味を持つこと、などが挙げられる。

これらの知見に基づいて、「法造」のオントロジーサーバーに「機能オントロジー」および「方式知識」を格納することで小規模な知識の共有を実現し、それらの知識を用いて動作する材料設計支援システムのプロトタイプを開発した(図3)。本システムでは、ユーザーが各機能や製造プロセスに対して適用可能な方式をサーバーから検索し、それらの中から適用する方式を順次選択することで材料の機能構造および製造プロセスの設計を行う。その際に重要となるのは、機能や方式を領域に依存しない形で概念化することである。そうすることで、ある領域ではこれまで用いられていなかった方式を他の領域において適用し、今までに無い画期的な発想につながると期待される。

本年度は、産研極微プロセス研究分野の田中秀和助教授との共同研究を通して、電界制御強磁性体ナノ薄膜の設計事例をシステムに格納した。さらに、関連する知識を方式として追加し合計 78 の方式がシステムに格納された。そして、材料分野の研究者および材料に関する一般的な大学の講義を受けたことがある電子工学科出身の学生を被験者として、本システムを用いた材料設計支援の評価実験を実施した。その結果、設計対象の材料に関する事前知識が無くても材料に関する一般的な知識を持っていれば、与えられた条件を基に機能構造を設計できるということができ、本システムが斬新な発想に貢献する可能性があることが示唆され、本システムの有用性が確認できた。

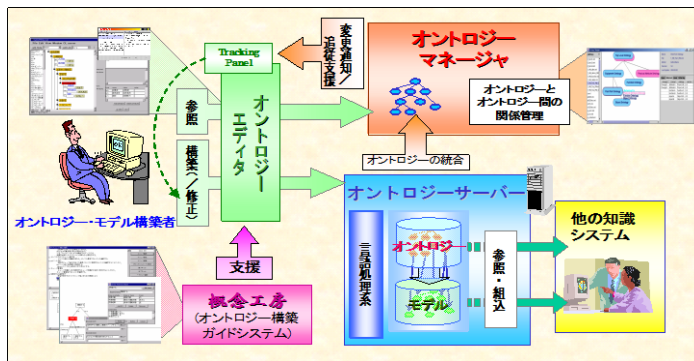


図4 オントロジー構築・利用環境「法造」

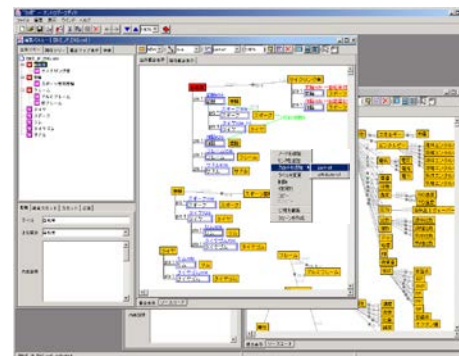


図5 オントロジーエディタ

オントロジー構築・利用環境「法造」の開発

実施者：古崎 晃司，溝口 理一郎

研究協力者：砂川英一（大学院博士後期課程）

オントロジー工学に基づくナノテク知識の構造化を進める為の基盤技術として、オントロジーの構築から利用に至る一連の過程を支援する計算機システム「法造」の開発を進めてきた。「法造」とはオントロジー（＝“法”）を構築する（＝“造”）為の計算機環境で、オントロジーをグラフィカルに表示・編集する「オントロジーエディタ」、ガイドラインに従いオントロジーを構築支援する「概念工房」、構築したオントロジーを管理する「オントロジーサーバー」、複数のオントロジー間の依存関係を管理する「オントロジーマネージャ」の4つのシステムから構成される（図4）。オントロジーエディタは（図5）、Web サイト（<http://www.hozo.jp/>）においてフリーソフトウェアとして公開しており、既に国内外の1000名を越えるユーザーに利用されている。

本年度は、一つのオントロジーを複数の構築者で協力して開発する分散共同構築を支援するために、1）一つのオントロジーを複数の分割し、相互の依存関係を保持しつつ個別かつ並列的に開発する、2）一つのオントロジーを複数の構築者で共有し、アクセス管理の元で共同構築を行う、という2種類の方法による支援機能を開発した。

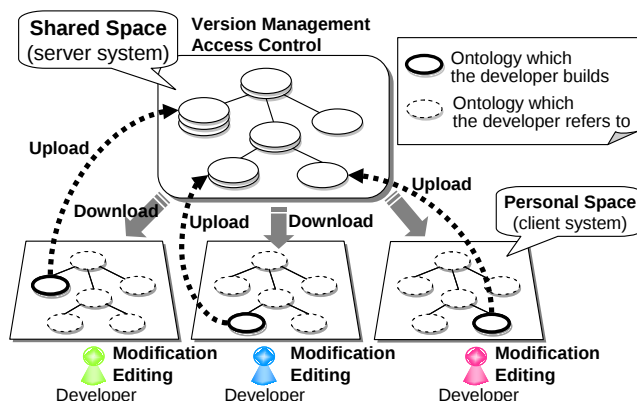


図6 オントロジーの分散共同構築

これらの機能では、オントロジーをサーバー上で共有・管理すると共に、他者が行った変更に伴う影響範囲をユーザーに提示することで、オントロジーをサーバーでスムーズな分散共同構築を支援する。これにより、大規模なオントロジーを構築する際のコストを軽減することが出来る。

Presentation List

ナノバイオ知能システム分野

著書

1. オントロジー構築入門
溝口理一郎：編集 古崎晃司，來村徳信，笹島宗彦，溝口理一郎：共著
オーム社，2006

国際会議

1. Role organization model in Hozo
Eiichi Sunagawa, Kouji Kozaki, Yoshinobu Kitamura, Riichiro Mizoguchi
The 15th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management Managing Knowledge in a World of Networks (EKAW2006), LNAI4248, pp.67-8, Podebrady, Czech Republic, 2-6 October, 2006
2. Fundamental Consideration of Role Concepts for Ontology Evaluation
Kouji Kozaki, Eiichi Sunagawa, Yoshinobu Kitamura and Riichiro Mizoguchi
Evaluation of Ontologies for the Web (EON2006) 4th EON Workshop, Edinburgh, United Kingdom, May 22, 2006
3. Development of Contents Management System Based on Light-Weight Ontology
Kouji Kozaki, Yoshinobu Kitamura, and Riichiro Mizoguchi
IAENG International Conference on Internet Computing and Web Services (ICICWS'07), Hong Kong, 21-23 March, 2007

国内会議

1. 軽量オントロジーを用いた簡易型 Web コンテンツ管理システムの開発
古崎晃司，飯田哲也，來村徳信，溝口理一郎
人工知能学会第 20 回全国大会(JS AI2006),東京,3B2-1,2006 年 6 月 9 日
2. OWL と SWRL を用いたロール概念の取り扱いに関する一考察
砂川英一，古崎晃司，來村徳信，溝口理一郎
人工知能学会第 20 回全国大会(JS AI2006),東京,3B4-2,2006 年 6 月 9 日
3. 方式知識蓄積機能・過去の設計過程の保存機能を用いた統合的設計支援システムの開発
垂見晋也，古崎晃司，來村徳信，溝口理一郎
人工知能学会第 20 回全国大会(JS AI2006),東京,3B4-3,2006 年 6 月 9 日

4. ★知識記述とオントロジー工学
溝口理一郎
第1回「臨床医学オントロジー」シンポジウム，東京，2006年7月28日
5. 軽量オントロジーを用いたナノテクノロジー知識管理システム
古崎晃司，溝口理一郎
第1回「臨床医学オントロジー」シンポジウム，東京，2006年7月28日
6. ★オントロジー構築入門：よりよいオントロジー構築のための考え方と指針
古崎晃司
日本図書館研究会 整理技術研究グループ月例研究会，大阪，2006年11月18日
7. Web2.0時代のオントロジー利用雑感-ライトウェイトからヘビーウェイトまで-
古崎晃司，來村徳信，溝口理一郎
第14回セマンティックウェブとオントロジー研究会，東京，2006年11月20日
8. ★オントロジー利用研究の事例分析
古崎 晃司
言語処理学会第13回年次大会 (NLP2007) NLP2007 併設ワークショップ W1『言語的オントロジーの構築・連携・利用』（滋賀），2007年3月23日
9. 「法造」によるオントロジーの分散共同構築支援
古崎晃司，砂川英一，太田衛，來村徳信，溝口理一郎
第15回セマンティックウェブとオントロジー研究会(石川)，2006年3月30,31日

学会活動、共同研究

溝口 理一郎

学会活動：

- ・人工知能学会会長
- ・教育システム情報学会理事
- ・International Semantic Web Science Association Vice President
- ・European Project of Semantically-Enabled Knowledge Technologies, Advisory member

古崎 晃司

所属学会：人工知能学会，情報処理学会，化学工学会

科研費・助成金等

1. 平成 18 年度 科学研究費補助金 特定領域研究 情報爆発 I T 基盤
「人工物オントロジーに基づく製造業における技術ドキュメントの融合に関する研究」
研究代表者：溝口理一郎
2. 受託研究 社団法人化学工学会
「NEDO 平成 17 年度「ナノ粒子」及び「ナノカーボン」に係る「ナノ材料知識基盤」プラットフォーム構築に関する調査事業に関わる委託調査研究における研究項目①基本システムのブラッシュアップ及び「ナノ粒子」と「ナノカーボン」に係るコンテンツ拡充に必要な情報の収集」
溝口理一郎，古崎晃司
3. 科学技術振興調整費（重要政策課題への機動的対応の推進）
「臨床医学データ解析のための医療知識基盤データベースの構築に関する研究」
分担研究者：溝口理一郎
4. 平成 17 年度 科学研究費補助金 若手研究（B）
「オントロジーベースの Web 知識統合・管理システムの開発とナノテク知識への適用」
古崎晃司

ナノ構造機能評価研究部門 ナノ構造多次元評価分野

研究スタッフプロフィール

教授（兼任） 弘津 禎彦

略歴

- 1969年 東京工業大学工学部助手
- 1980年 長岡技術科学大学工学部助教授
- 1991年 長岡技術科学大学工学部教授
- 1994年 大阪大学産業科学研究所教授
- 2004年 大阪大学産業科学研究所
産業科学ナノテクノロジーセンター教授（兼任）

専門分野 電子線結晶学、材料科学

研究テーマ アモルファス・非平衡物質の構造解析、ナノ粒子構造と磁性

所属学会 日本金属学会、日本顕微鏡学会、日本物理学会、日本結晶学会、
米国材料学会

助手 内藤 宗幸

略歴

- 2004年 大阪大学大学院工学研究科マテリアル科学専攻
博士後期課程修了
- 2004年 大阪大学産業科学研究所特任助手
- 2005年 大阪大学産業科学研究所助手

専門分野 電子線構造解析、材料科学

研究テーマ 非晶質材料の構造解析、透過電子顕微鏡を用いた新規評価法の開拓

所属学会 応用物理学会

研究概要

近年の地球環境問題への意識の高まりとともに、材料開発の分野においても環境汚染対策や資源問題等への配慮が重要な課題となっている。多種多様な電子機器の発展を支えている半導体関連分野においてもこれは例外ではなく、現在使用されている有害物質を含む化合物半導体の代替材料開発や、太陽電池に代表されるような環境に負荷のかからないクリーンエネルギーを供給するデバイス開発が急がれている。このような社会情勢の中で、構成元素が地殻に豊富に存在し、かつ毒性も低い鉄シリサイドの半導体特性が関心を集めている。

鉄シリサイドは耐熱材料、熱電素子材料として以前から研究されてきた。特に β -FeSi₂ は熱電能が非常に高いだけでなく、高温下での利用にも適していることなどから熱電材料として実用化に至っている。その後、 β -FeSi₂ が約 1.5 μ m のバンドギャップによる発光を示すことや、大きな吸収係数を有することなどが報告され、発光デバイスや太陽電池材料としての応用が期待されるようになった。特に 1.5 μ m 帯域は光通信における低損失波長と一致することから、発光効率の向上等を目的として精力的な研究がなされている。

本材料の作製法の一つとしてイオン注入法により得られたアモルファスからの固相結晶化が提案されている。本手法は、半導体プロセスにおいて有用な技術であり、組織制御の観点からアモルファス物質の熱的安定性や結晶化過程に関する知見が重要となる。そこで我々は、透過電子顕微鏡法を用いて、低温下で Si 基板に高ドーズの鉄イオンを注入することにより作製したアモルファス Fe-Si 層の再結晶化過程を調べた。

図 1 に熱処理に伴うアモルファス Fe-Si の微細構造変化を示す。なお、熱処理温度は 473 K から 973 K とし、熱処理時間はいずれも 2 時間とした。473 K で熱処理を行った試料 (図 1a) では as-impla. 試料と比較して構造に大きな変化は見られないが、573 K で熱処理を行った試料においてアモルファス Fe-Si 薄膜は 2 層に分離しているのが観察された (図 1b)。回折コントラストより、表面側の C 層は結晶化していることが分かる。図 2a、2b に C 層、D 層より得られた電子回折図形を示す。図 1a は ϵ -FeSi の [121] 入射の電子回折図形に対応しており、最表面層である C 層では非晶質 Fe-Si から ϵ -FeSi へと結晶化していることが明らかとなった。一方、D 層より得られた電子回折図形はハローリングを呈し、未だアモルファスである。このハローパターンは as-impla.

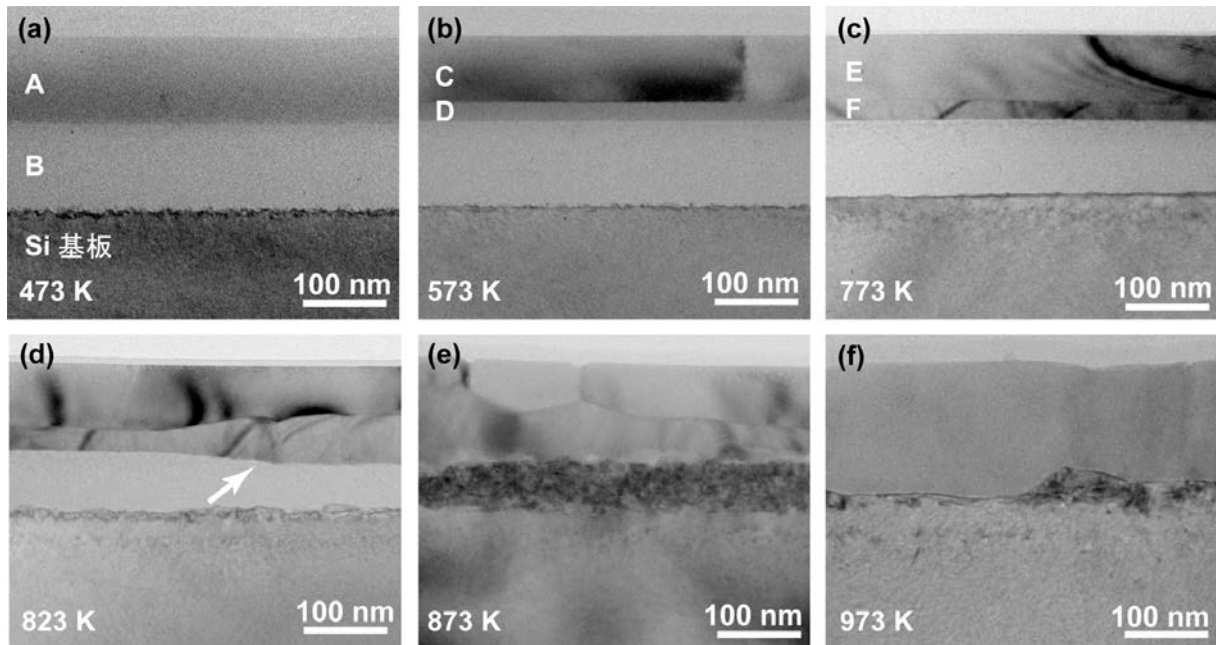


図 1 熱処理に伴うアモルファス積層膜の構造変化. 熱処理温度は(a) 473K, (b) 573K, (c) 773K, (d) 823K, (e) 873K, (f) 973K であり、熱処理時間はいずれも 2 時間とした.

試料のアモルファス Fe-Si より得られた電子回折図形とよい一致を示すことから、D 層はアモルファス Fe-Si であると考えられる. この D 層は 773 K の熱処理で結晶化し、図 1c に E、F で示すような結晶薄膜による積層膜が形成される. E 層および F 層より得られた電子回折図形を図 2c、2d に示す. 図 2c の電子回折図形は ϵ -FeSi の [101] 入射に対応しており、表面層である E 層は C 層と同じく ϵ -FeSi であることが確認された. 一方、図 1d の電子回折図形は β -FeSi₂ の [131] 入射と一致した. 積層構造の形成には、イオン注入法により作製したアモルファス Fe-Si 薄膜における組成の不均一性が反映されていると考えられる.

ϵ 相とアモルファス Si に挟まれる形で形成した β 相であるが、Si 基板上に β -FeSi₂ 単相の連続膜が形成されるまでの過程を

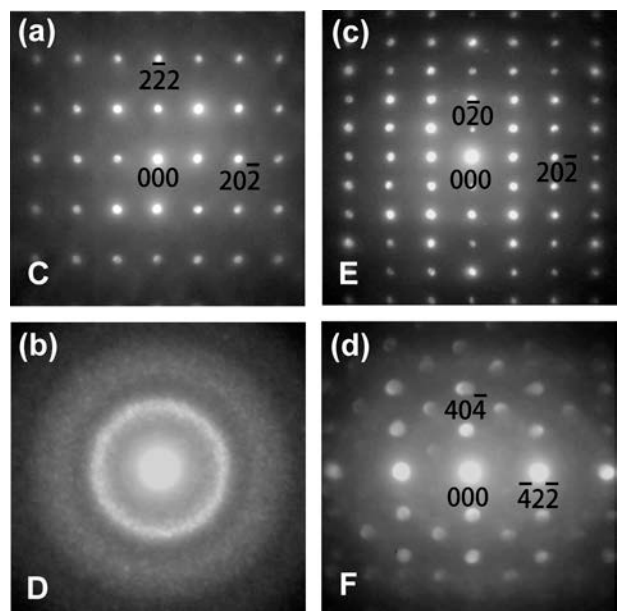


図 2 (a)、(b)図 7b の C 層、D 層より得られた電子回折図形および(c)、(d) 図 7c の E 層、F 層より得られた電子回折図形.

図 1d-1f に示す．図 1d は 823 K において熱処理を行った試料の断面 TEM 像である．矢印で示すように、部分的に β 相が上下方向に成長し、 ϵ 相およびアモルファス Si 層の膜厚が減少している様子が確認できる．このような β 相の成長は 873 K で熱処理を行った試料ではより顕著であり（図 1e）、973 K で熱処理を行った試料に至ってはもはや ϵ 相は完全に消失し、 β 相の連続膜が Si 基板上に形成されている（図 1f）．

以上、ここまでアモルファス Fe-Si の構造変化を見てきたが、図 1 からアモルファス Si の再結晶化過程も確認することができる．573 K 以下で熱処理を行った試料ではアモルファス Si の結晶化は見られないが

（図 1b）、773 K において熱処理を行った試料では Si 基板の界面で再結晶化が起こり、アモルファス Si の膜厚が 10 nm 程度減少しているのが分かる（図 1c）．アモルファス Si は 873 K の熱処理で固相エピタキシャル成長により完全に再結晶化し、再結晶領域には多量の面欠陥が導入されている．ところが、973 K で熱処理した試料においては欠陥を含む再結晶 Si 層の大部分が消失し、Si 基板上に β 相の連続膜が形成されている．

β 相の成長過程および再結晶 Si 層の欠陥消失過程をより詳細に調べるため 823 K において等温保持し、熱処理時間の増大に伴う構造変化を調べた．図 3a は 823 K で 4 時間熱処理した試料の断面 TEM 像である．同温度で 2 時間熱処理した試料（図 1d）に比べ β 相の膜厚がより厚くなり、それに伴い ϵ 相およびアモルファス Si の膜厚が減少している．また、Si 基板上でアモルファス Si の再結晶化が進行している様子が確認できる．2 時間熱処理試料（図 1d）と 4 時間熱処理試料（図 3a）を比較する

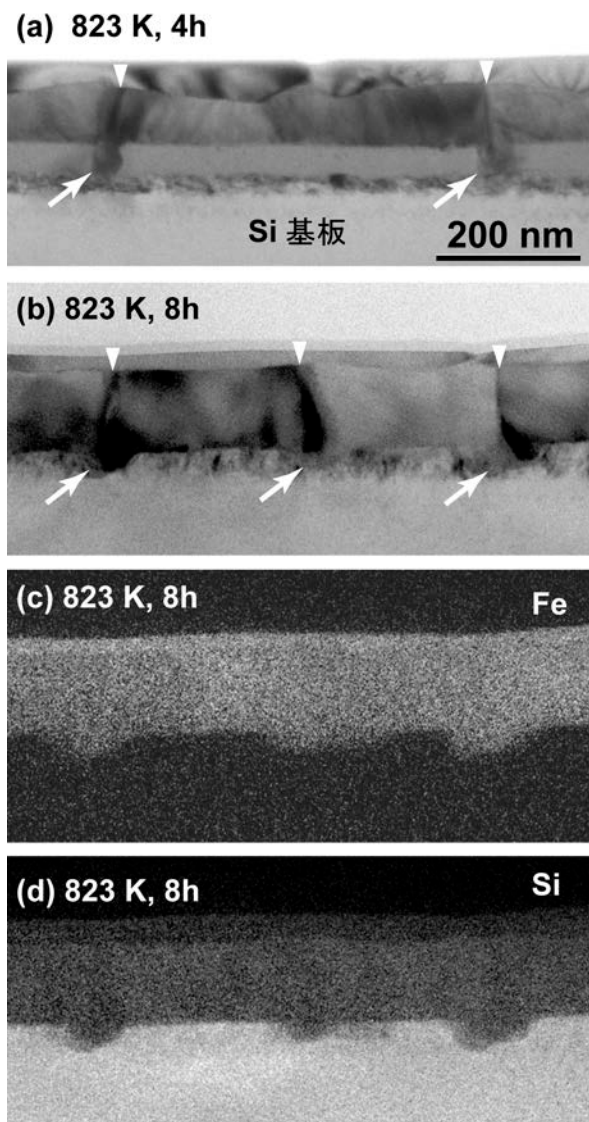


図 3 823 K で(a)4 時間および(b)8 時間熱処理した試料の断面 TEM 像と 8 時間熱処理した試料の(c)Fe、(d)Si マッピング像．

と、後者ではアモルファス Si 中の矢印で示した所で結晶化が起こっている。これらの結晶領域は、 β 相の粒界（図中の三角）に沿う形でアモルファス Si 中に形成されている。熱処理時間を 8 時間として TEM 観察を行った結果を、図 3b に示す。2 時間および 4 時間熱処理試料に比べ β 相の膜厚が更に厚くなっており、 ϵ 相は表面にわずかに残っているだけである。一方、アモルファス Si は完全に再結晶化しており、厚さ約 40 nm の面欠陥を含む再結晶 Si 層が β 相と Si 基板の間に形成されている。この再結晶 Si 層中には、図に矢印で示すように β 相の粒界近傍で欠陥がほとんど観察されない領域が存在する。これらの領域は図 3a に矢印で示したアモルファス Si 中の結晶相に対応するものであると考えられる。

これらの領域における元素分布状態を調べるために、電子エネルギー損失分光法を利用した 2 次元元素マッピングを行った。測定には 3 ウィンドウ法を用い、スロースキャン CCD により撮影を行った。図 3c および 3d は、それぞれ 8 時間熱処理試料の Fe および Si のマッピング像である。これらのマッピング像より、図 3d に矢印で示した領域では Fe 原子の濃度が高くなっていることが分かる。このことは、 β 相と ϵ 相の界面において $\epsilon \rightarrow \beta$ 相変態が起こる過程で Fe 原子に余剰が生じ ($2\text{FeSi} \rightarrow \text{FeSi}_2 + \text{Fe}$)、これらの Fe 原子が β 相の結晶粒界を通じて基板内部へと拡散していることを示唆している。結晶粒界を通じた拡散が、結晶中の拡散よりも一般的に速いことは良く知られている事実である。更に、アモルファス Si あるいは再結晶 Si 中へと拡散した Fe 原子は Si と反応して鉄シリサイドを形成し、その結果として再結晶 Si 中の欠陥が取り除かれる。以上、アモルファス Fe-Si の結晶化により生成した β 相の成長過程において、再結晶 Si 層中の欠陥が取り除かれるメカニズムが明らかとなった。

論文

Compositional dependence of local atomic structures in amorphous $\text{Fe}_{100-x}\text{B}_x$ ($x=14,17,20$)

Alloys studied by electron diffraction and high-resolution electron microscopy

A. Hirata, Y. Hirotsu, T. Ohkubo, T. Hanada and V. Z. Bengus

Phys. Rev. B 74(2006)214206(1)-214206(9).

Mechanism of nanocrystalline microstructure formation in amorphous Fe-Nb-B alloys

A. Hirata, Y. Hirotsu, E. Matsubara, T. Ohkubo and K. Hono

Phys. Rev. B 74(2006)184204(1)-184204(5).

Local Atomic Ordering and Nanoscale Phase Separation in a Pd-Ni-P Bulk Metallic Glass

Y. Hirotsu, T. G. Nieh, A. Hirata, T. Ohkubo and N. Tanaka

Phys. Rev. B 73 (2006) 012205(1)-012205(4).

Formation process of β -FeSi₂/Si heterostructure in high-dose Fe ion implanted Si

M. Ishimaru, K. Omae, I.-T. Bae, M. Naito, Y. Hirotsu, J. A. Valdez and K. E. Sickafus

J. Appl. Phys. 99 (2006) 113527-(1)-113527-(7).

Solid phase crystallization of amorphous Fe-Si layers synthesized by ion implantation

M. Naito, M. Ishimaru, Y. Hirotsu, J. A. Valdez and K. E. Sickafus

Appl. Phys. Lett. 88 (2006) 251904-(1)-251904-(3).

Structural investigation of Ge-Sb-Sn thin film using transmission electron microscopy

M. Naito, M. Ishimaru, Y. Hirotsu, M. Takashima and H. Matsumoto

J. Materials Science 41 (2006) 2615-2619.

Structural characterization of amorphous Fe-Si and its recrystallized layers

M. Naito, M. Ishimaru, Y. Hirotsu, J. A. Valdez and K. E. Sickafus

Nucl. Instrum. Meth. B 250 (2006) 283-286.

Structural evolution in Fe ion implanted Si upon thermal annealing

K. Omae, I.-T. Bae, M. Naito, M. Ishimaru, Y. Hirotsu, J. A. Valdez and K. E. Sickafus

Nucl. Instrum. Meth. B 250 (2006) 300-302.

Low-temperature crystallization caused by ultrasound in Pd_{42.5}Ni_{7.5}Cu₃₀P₂₀ and Pd₄₀Ni₄₀P₂₀ bulk metallic glasses

T. Ichitsubo, E. Matsubara, K. Anazawa, N. Nishiyama, M. Naito and Y. Hirotsu

Mater. Sci. Eng. A, 442 (2006) 273-277.

国際会議

★Change of nanostructure in (Fe_{0.5}Co_{0.5})₇₂B₂₀Si₄Nb₄ metallic glass on annealing

A. Hirata, Y. Hirotsu, K. Amiya, N. Nishiyama, A. Inoue

International Conference on Processing & Manufacturing Advanced Materials, July 4-8, 2006

Vancouver, Canada

Nanobeam electron diffraction structure analysis of medium range order structures in Zr-based metallic glasses

A. Hirata, T. Morino, Y. Hirotsu

16th International Microscopy Congress, September 3-8, 2006, Sapporo, Japan

★Effects of additive elements on atomic ordering and hard magnetic properties of L1₀-type FePt and FePd alloy nanoparticles

Y. Hirotsu, K. Sato, H.W. Ryu, A. Kovács

48th IUVESTA Workshop, August 26-31, 2006, Budapest, Hungary

★Atomic ordering and hard magnetic properties of L1₀-type FePtCu nanoparticles studied by transmission electron microscopy and electron diffraction

Y. Hirotsu, H.W. Ryu, K. Sato

6th Japan-Polish Seminar on Materials Analysis, September 11-13, 2006, Toyama, Japan

★Local structure studies of Fe-based metallic glasses using transmission electron microscopy

A. Hirata, Y. Hirotsu, E. Matsubara

5th International Conference on Bulk Metallic Glasses, October 1-5, Awaji, Japan

Amorphous structure of ion-beam-synthesized Fe-Si thin layers

M. Naito, M. Ishimaru, Y. Hirotsu

The 16th International Microscopy Congress, September 3-8, 2006, Sapporo, Japan

Formation process of β -FeSi₂ from amorphous Fe-Si

M. Naito, A. Hirata, M. Ishimaru, Y. Hirotsu, J. A. Valdez, K. E. Sickafus

15th International Conference on Ion Beam Modification of Materials, September 18-22, 2006
Taormina, Italy

国内学会

球面収差補正電顕による金属ガラス局所構造の直接観察

弘津禎彦、平田秋彦、大久保忠勝、T.G. Nieh、田中信夫

2006 年 138 回金属学会春期大会 (早稲田大学)

イオン注入非晶質 Fe-Si 薄膜における結晶化過程の透過電子顕微鏡による解析

内藤宗幸、石丸 学、弘津禎彦

2006 年春季 第 53 回応用物理学関係連合講演会 (武蔵工業大学)

特許

弘津禎彦、佐藤和久、A.Kovacs

磁性体粒子及びその製造方法（出願番号/出願日：特願 2006-220037、平 18.8.11）

共同研究

京都大学大学院工学研究科 松原英一郎 「金属ガラスの局所構造解析法」

京都大学原子炉研究所 福永俊春 「金属ガラスの局所構造解析法」

東北大学金属材料研究所 牧野彰宏 「金属ガラス利用強磁性合金ナノ粒子創製」

日立ツール株式会社 「サーメット合金のナノ構造解析」

松下電器産業株式会社 「相変化型記録材料の局所構造解析」

学会活動

弘津禎彦

日本顕微鏡学会副会長・理事(2005 年 4 月～2007 年 3 月)

日本顕微鏡学会評議員

Materials Transactions 誌編集委員

高温学会評議員

科研費、助成金

弘津禎彦

科研費・特定領域研究(2) A02 班長

「融体・金属ガラスの局所原子構造のその場観察」

弘津禎彦

科研費・基盤研究 S

「気相急冷による硬質磁性合金ナノ粒子の形成と電子線構造解析ならびに磁性評価」

弘津禎彦

産学連携等研究費（次世代金属・複合材料研究開発協会）

「金属ガラスの成形加工技術」

表面ナノ構造プロセス評価分野

ナノ構造機能評価研究部門

表面ナノ構造プロセス評価分野（谷村研究室）

構成

教授 谷村 克己（Katsumi TANIMURA）

TEL:06-6879-8490, E-mail:tanimura@sanken.osaka-u.ac.jp

助教授 金崎 順一（Jun'ichi KANASAKI）

TEL:06-6879-8492, E-mail:kanasaki@sanken.osaka-u.ac.jp

研究概要

多くの凝縮物質において、電子系の励起により構造が変化する現象が観察される。図1に電子励起による構造の不安定化を説明する模式図を示す。図のように、この現象は、電子系の励起によって凝集原子間の力のバランスが崩れ、新しい凝縮形態への大きな構造変革が誘起されることによるものと捉えることができる。次世代高機能素子の主要材料である半導体内部においては、従来、電子系と格子系との相互作用が弱く、電子励起による構造変化は欠陥近傍に限った特異な現象であると考えられてきた。一方、結晶表面においては、光や電子線などによる電子系の励起により完全格子サイトでの原子結合が電子的に切断（電子的結合切断）され、表面原子の脱離や移動、空格子点の生成が誘起されることが最近の研究により明らかとなった。これは、半導体表面においては、表面電子系と表面格子系の相互作用が本質的に強い事を明確に示しており、電子励起状態における基底構造の不安定性を積極的に利用した材料プロセス（励起誘起プロセス）の可能性を示すものである。励起誘起プロセスは、あくまで電子的基底状態の枠内での材料制御を基本原理とする従来の熱プロセスとは全く異なるものである。すなわち、電子励起状態という新しい経路を選択することにより、これまでの材料プロセスでは得られな

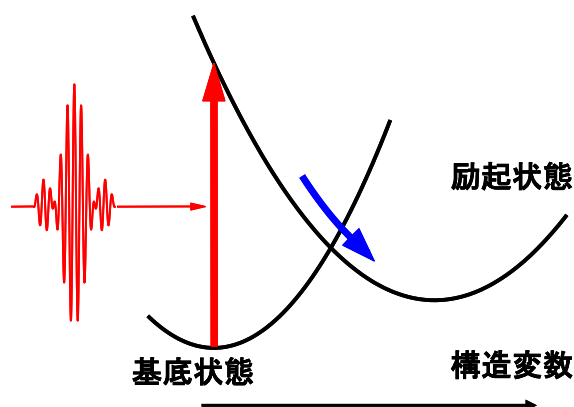


図1. 電子励起状態における基底構造の不安定化を説明する模式図。横軸は構造変数、縦軸は断熱ポテンシャル。

い新しい物性・機能の発現あるいは構造相の制御・組織化を実現することが可能になるものと期待される。

本研究分野では、固体表面での励起誘起構造不安定性を支配する基本原理を完全に理解し、さらに、そこから得られる基礎的知見に基づいて、電子励起による表面構造制御及び組織化を高い効率性と制御性をもって実現するための基礎的技術の確立を目的とする。上記研究目的を遂行するため、短パルスレーザー光・高エネルギー分解能低エネルギー電子線ビーム、トンネル電子・正孔注入などを電子励起源とし、誘起される表面構造の変化を走査型トンネル顕微鏡(STM)により原子スケールで直接観察すると共に、共鳴・非共鳴イオン化分光の手法による放出粒子種の高感度検出をおこなっている。

1. 低エネルギー電子による半導体表面の構造不安定性

電子線を半導体表面ナノ加工へ応用するためには、低エネルギー電子と半導体表面原子との相互作用に関する基礎的知見が重要である。本研究では、低エネルギー電子線ビーム励起及びトンネル顕微鏡探針からの電子注入により誘起される半導体表面構造の不安定性に関する研究をおこなった。

1) 低エネルギー電子線による Si(001)2x1:H 表面における結合切断機構の解明

水素終端した Si(100)2×1:H 表面を、高エネルギー分解能(<0.3eV)の低エネルギー電子線 (5-15eV) を照射し、照射前後の表面構造を STM 観察した。図 2(a)及び(b)は、それぞれ、10eV の電子線を試料に対して垂直に入射する前(a)及び後(b)に観察した STM 像である。照射後に見られる輝点は、水素原子が除去されてできるシリコン原子ダングリングボンド(DB)であり、低エネルギー電子線照射により Si-H 結合切断が発生することを示している。H 原子脱離に伴って発生する DB の形態とその表面数密度を統計的に解析した結果、表面 Si ダイマーを構成する一方の Si 原子のみに DB をもつ single DB(SDB) (図中(c)) が、ダイマーの両原子に DB をもつ paired DB (図中(d)) に比べて 200 倍程度高い効率で生成されること明らかとなった。この結果は、

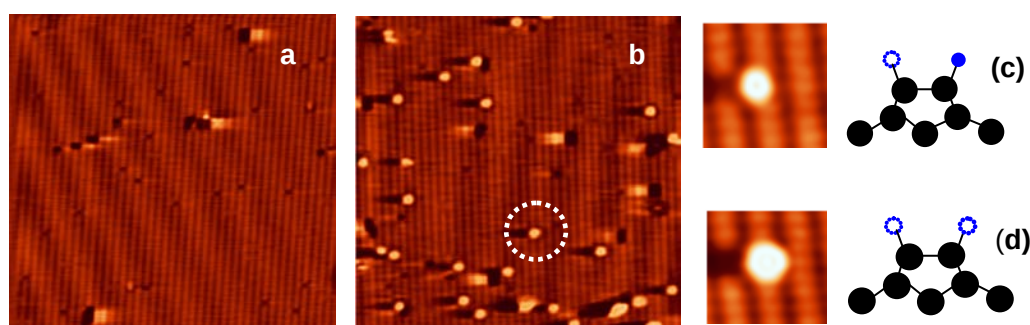


図 2 低エネルギー電子線照射前(a)及び後(b)における Si(001)2x1:H 表面の STM 像 (サンプルバイアスは -2.5V)。 (b)内丸で囲んだ輝点は、H 原子脱離に伴うシリコン原子ダングリングボンド。 (c)及び(d)にそれぞれ single DB および paired DB の拡大像を示す。

水素終端ダイマーにおける単一 H 原子のボンド切断が主要な過程であることを示している。

図 3 に示すように、表面 DB 数密度は電子線照射時間と共に増大した後飽和する。照射初期における成長曲線の傾きから評価した DB 生成効率は励起強度に対して比例して増大し、一次の過程で Si-H 切断が発生していることを示している。DB 生成効率は照射時間の増大とともに急激に減衰するが、表面 DB 数密度の変化が数パーセントであることから、この効率の減衰は表面水素原子密度の減少によるものではない。図中実線は、DB 生成断面積と、表面 DB 密度に比例する DB 再終端化効率をパラメーターとして実験結果を最適化した結果である。DB 数密度の成長曲線の振る舞いは、電子線による Si-H 結合切断と、水素原子による DB の再終端化が競合して進行するというモデルにより合理的に説明することができる。解析より評価される DB 生成断面積は、電子線のエネルギーに依存せず、 $1.1 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ であった。

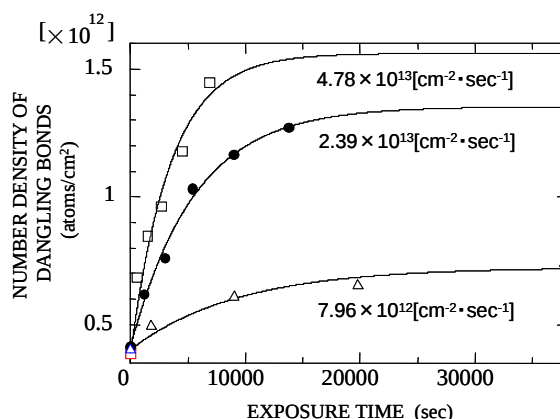


図 3. DB 数密度の電子線照射依存性。電子線のエネルギーは 10eV である。

2) STM 探針からのキャリア注入による InP(110)1x1 表面構造の不安定性

半導体表面での光誘起結合切断において表面正孔の非線形局在が重要な役割を果たしていることが指摘されてきた。今回、トンネル顕微鏡からの正孔注入励起による InP(110)1x1 表面構造の変化を直接観察し、励起誘起結合切断における正孔の重要性を示す直接的な知見を得た。

トンネル顕微鏡では、探針－試料間の電圧の極性を制御することにより、探針から電子あるいは正孔いずれか一方のみを制御して表面微小領域に注入する事が出来る。試料電圧-2.8V に固定して正孔を注入した n 型及び p 型 InP(110)-(1x1)表面を STM 観察した。p 型試料では孤立した空格子点主要な生成物であるのに対して、n 型試料では空格子点クラスターが効率的に生成された。このようなフェルミ準位による生成空格子点形状の顕著な相違は、光励起の場合と同様である。表面 P サイトの空格子点が、n 型試料では負に、p 型試料では正に帯電していることを考慮すると、両表面で生成される空格子点の形態的特徴は、帯電した空格子点と注入された正孔との静電的な相互作用により合理的に説明することができる。

2. フェムト秒光励起によるグラファイト表面での励起キャリアダイナミクス

炭素の凝縮相は、 sp^2 と sp^3 結合状態間のエネルギー差が小さく、グラファイト、ダ

イヤモンド、フラーレン、カーボンナノチューブといった、多様な凝縮相を示す。したがって、光励起に伴う電子系の変化によって、多様な構造相が発生する可能性を有しており、光誘起構造変化の研究対象として大変興味深い物質である。これまでのフェムト秒光励起したグラファイト表面のSTM観察により、数ナノメートルの領域で構造が変化したナノドメインが形成されること、また、このナノドメインがp偏光励起によってのみ生成されることを明らかにした。本年度は、グラファイト表面における光励起キャリアの緩和ダイナミクスに関する知見を得るため、時間分解反射分光測定を行った。

励起光照射後の反射率スペクトル R/R_0 (R_0 は励起光を照射しない場合の反射率)を時間分解測定した結果を図4に示す。左がp偏光励起、右がs偏光励起の結果である。いずれの場合にも、励起光パルス照射後には飽和吸収による反射率の減少が観察される。しかしながら、p偏光励起の場合にのみ、1.96eV付近に過渡的なピークが検出されることがわかる。図5の赤丸はこの過渡的なピークの時間発展を示す。この際、反射率スペクトルから飽和吸収に起因する反射率の変化分を差し引き、過渡的なピークのみ強度を評価した。一方、青丸は2.1eVにおいて評価した吸収飽和による反射率で、これは表面近傍でのキャリア密度の時間変化に対応する。これらの結果は、キャリア寿命(590fs)より短い寿命(110fs)を有する過渡的な状態が、p偏光励起の場合にのみ生成されることを明確に示している。最近、p偏光励起によってのみ誘起される層間の電荷移動型遷移に起因する短寿命励起子状態の存在が理論的に予見され、その過渡的な吸収が2.0eV近傍にピークを示すことが報告された。観測された過渡的な状態と理論的に予見された励起子状態の性質は定性的に一致している。

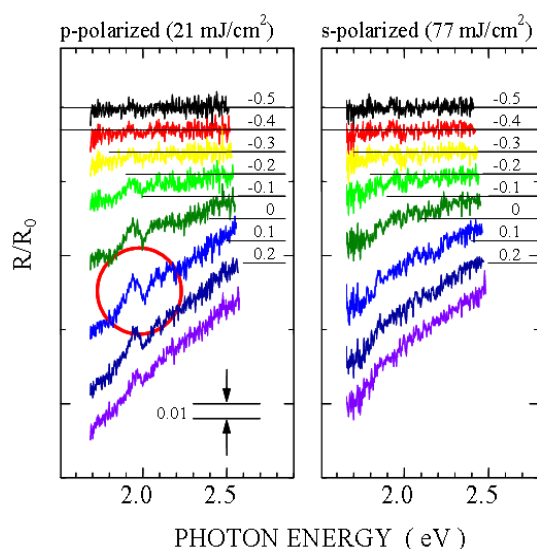


図4. フェムト秒光励起したグラファイト表面に対する時間分解反射スペクトル。

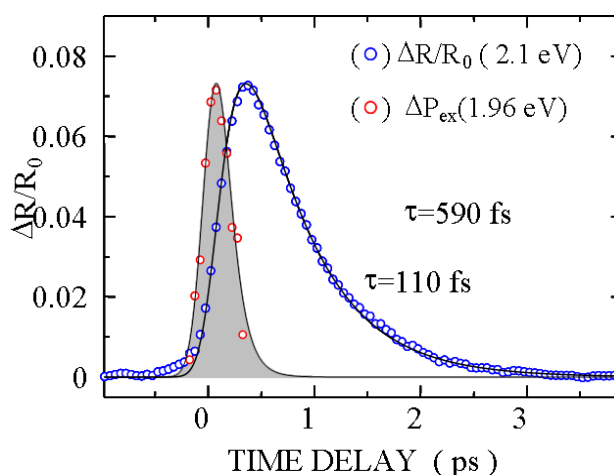


図5. 2.1および1.96eVのエネルギーにおける反射率強度の時間変化

論文

1. Formation and clustering of surface vacancies under electronic excitation on semiconductor surfaces
J. Kanasaki
Physica B376-377, pp834-840 (2006).
2. Two-hole localization mechanism for electronic bond rupture of surface atoms by laser-induced valence excitation of semiconductors
K. Tanimura, E. Inami, J. Kanasaki, and W. Hess,
Physical Review B74(3), 035337-1-8(2006).
3. Excitation-induced structural instability of semiconductor surfaces
K. Tanimura and J. Kanasaki
J. Physics: Condensed Matter 18(30), pp.1479-1516(2006).

解説・総説

1. Laser-induced desorption from semiconductor surfaces and its electronic mechanism (in Japanese)
J. Kanasaki and K. Tanimura,
Journal of the Vacuum Society of Japan (真空) **49**(10), pp. 581-587(2006).

国際会議

1. Graphite-to-diamond phase transformation induced by femtosecond-laser excitation
K. Tanimura, J. Kanasaki, and K. Nasu, The 5th international Symposium on Ultrafast Surface Dynamics, Abashiri, Japan, May21-26, 2006.
2. Femtosecond laser-induced phase transformation on Graphite surface –creation of a novel crystalline phase of sp^3 -bonded carbon –
K. Kimura, J. Kanasaki, K. Tanimura and K. Nasu, 24th European Conference on Surface Science, Paris, September 4-8, 2006.

3. Structural instabilities induced by injected tunneling carriers on cleaved InP(110)-(1x1) surfaces
J. Kanasaki, K. Ichihashi, J. Tsuruta, E. Inami, and K. Tanimura, Sanken International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006, Osaka, September 19-20, 2006
4. Photo-induced phase transformation on Graphite surface
K. Kimura, J. Kanasaki, K. Tanimura, Sanken International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006, Osaka, September 19-20, 2006
5. Femtosecond laser-induced phase transformation on graphite surfaces
K. Kimura, J. Kanasaki, and K. Tanimura, 5th 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience” international Symposium, Awaji, Hyogo, December 8-9, 2006
6. Structural instabilities induced by carrier injection from scanning tunneling microscope tips on cleaved InP(110)-(1x1) surfaces
E. Inami, J. Kanasaki, and K. Tanimura, 5th 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience” international Symposium, Awaji, Hyogo, December 8-9, 2006
7. Excitation-induced processing for highly functional nano-structured materials
E. Inami, J. Kanasaki, S. Tanaka, and K. Tanimura, 5th 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience” international Symposium, Awaji, Hyogo, December 8-9, 2006
8. Structural instabilities on InP(110)-(1x1) surfaces induced by hole-injection from the STM tip
E. Inami, J. Tsuruta, and J. Kanasaki, Desorption Induced by Electronic Transitions DIET-VI, Berlin, Germany, March 11-15, 2007
9. ★Excitation-induced atomic desorption and structural instability of semiconductor surfaces
K. Tanimura, Desorption Induced by Electronic Transitions DIET-VI, Berlin, Germany, March 11-15, 2007

国内学会

1. Graphite における高密度励起状態の発生・緩和と光誘起構造相転移
谷村克己
基盤研究(C)「ナノ光制御による巨視的秩序形成と物性発現に関する研究」
平成 18 年度第一回研究会 2006.8.7-8 (大阪大学)
2. グラファイト表面における光誘起構造相転移機構の研究
木村健太、金崎順一、谷村克己
日本物理学会学術講演会 2006 年秋季大会 2006.9.23-26 (千葉大学)
3. キャリア注入による InP(110)-(1x1)表面におけるボンド切断
金崎順一、稲見栄一、鶴田淳二、谷村克己
日本物理学会学術講演会 2006 年秋季大会 2006.9.23-26 (千葉大学)
4. Si(100)-(2x1)-H 表面における電子励起誘起結合切断機構の研究
市橋数理、金崎順一、谷村克己
日本物理学会学術講演会 2006 年秋季大会 2006.9.23-26 (千葉大学)
5. ★フェムト秒パルスレーザー照射によるグラファイト表面新構造相の創成
金崎順一
応用物理学会学術講演会 2006 年秋季大会 2006.8.31 (立命館大学)
6. グラファイト表面における光誘起構造相転移
木村健太、金崎順一、谷村克己
日本表面科学会学術講演会 2006.11.6-9 (大阪大学)
7. トンネル電流で誘起する半導体表面原子のボンド切断機構
金崎順一、鶴田淳二、稲見栄一、谷村克己
産業科学研究所学術講演会 2006.11.24 (大阪大学産業科学研究所)
8. フェムト秒レーザーで誘起するグラファイト-ダイヤモンド相転移の研究
木村健太、金崎順一、谷村克己
産業科学研究所学術講演会 2006.11.24 (大阪大学産業科学研究所)
9. 光励起による半導体表面擬 2 次元系の構造不安定性
金崎順一
基盤 (B)「内殻励起により誘起される原子移動緩和現象の理論と X 線分光学」に

関する研究会、2007.2.11-12（有馬温泉月光園）

10. H/Si(001):2x1 表面における低エネルギー電子線誘起結合切断機構

市橋数理、金崎順一、谷村克己

日本物理学会学術講演会 2007 年春季大会 2007.3.18-21（鹿児島大学）

学協会活動

谷村克己

- ・ The 11th International Workshop on Desorption Induced by Electronic Transitions (Berlin, 2007.3.11-15)

International Steering Committee

科研費、助成金等

谷村 克己

基盤研究(A)

「半導体表面二次元凝縮相における励起物性の研究」

金崎 順一

基盤研究(C)

「低エネルギー電子線励起による半導体表面構造の不安定性」

大阪大学・産業科学研究所
ナノ構造機能評価研究部門 量子マテリアルデバイス機能評価分野
(朝日研究室)

構成

教授(兼任) 朝日 一 (Hajime ASAHI) TEL:06-6879-8405, E-mail:asahi@sanken.osaka-u.ac.jp

助手 周 逸凱 (Yi-Kai ZHOU) TEL:06-6879-8406, E-mail:zhou21@sanken.osaka-u.ac.jp

学生 : D3 藤原淳志、D3 崔誠佑、D2 木村重哉、D1 徐鍾旭、M2: 3 名、M1: 5 名

秘書 : 渡邊明子

研究概要

1. スピントネルデバイスの表面・界面ナノ評価

強磁性層／非磁性層／強磁性層という 3 層構造はスピントネルデバイスの基本構造である。実際に、室温強磁性半導体 GaCrN を用いて 3 層構造 GaCrN/AlN/GaCrN を作製するには、様々な工夫が必要である。最も、重要なのは薄膜の表面・界面の平坦性制御である。表面・界面が平坦でなければ、スピントネルデバイスからは高い磁気抵抗効果が得られない。それらの評価は表面・界面の平坦性の向上、更にデバイス性能の向上に繋がる。ここでは、原子間力顕微鏡(AFM)を用いて評価を行った。

3 層構造 GaCrN/AlN/GaCrN を作製する際に、異なる格子定数の AlN がバリア層として入っているため、GaCrN の最適成長温度 700℃で成長した後、AlN の成長温度を AlN の最適成長温度 800℃まで上げる必要がある。この過程で、いかに GaCrN 薄膜の平坦性が保たれるかを調べる必要がある。そこで、GaN テンプレート上に、(a) GaCrN を 700℃で成長、(b) GaCrN を 700℃で成長した後、800℃まで昇温、(c) GaCrN を 700℃で成長した後、窒素プラズマを照射しながら 800℃まで昇温、という 3 つの試料を作製した。

図 1 (a)、(b)、(c)は作製したそれぞれのサンプルの AFM 像である。表面粗さを現す RMS はそれぞれ 0.365、0.846、0.452 nm である。(a)のサンプルはステップが明瞭に観察され、平坦な薄膜が得られた。(b)は 800℃まで昇温した結果、窒素の離脱が起こり、表面が荒れているのがわかった。(c)は窒素プラズマを照射しながら 800℃まで昇温した結果、窒素離脱が抑えられたが、しかし、窒素プラズマイオン種によるダメージのため、平坦な表面を得るのが困難である。これらの結果から、GaCrN の成長温度である 700℃で AlN を成長しなければ、平坦なヘテロ界面を得られないことがわかった。

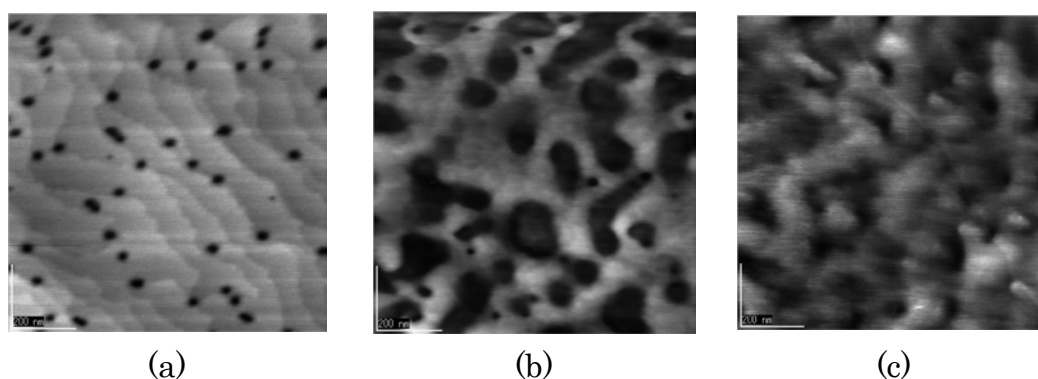


図 1 GaCrN の AFM 像($1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$)。

そこで、AlN を 700°C で成長するための最適な成長条件を、AFM を用いて導き出した。平坦な AlN の成長を行うために、窒素は基板面に常に供給した状態で、Al の供給を 10 秒周期で周期的に断続させて成長を行った。窒素プラズマを一定 (N_2 flux : 1.0 sccm 、RF パワー : 150 W) とし、Al フラックスを変えて成長を行った。図 2 に Al フラックスがそれぞれ (a) 7.0×10^{-8} 、(b) 8.0×10^{-8} 、(c) $9.0\times 10^{-8}\text{ Torr}$ で成長したサンプルの AFM 像を示す。RMS はそれぞれ 0.449 、 0.197 、 0.425 nm である。最も V/III 比が大きい図 2 (a) のサンプルの表面形状は大きなグレインが占めており、RMS 粗さも最も大きな値となっている。それに対して、最も V/III 比が小さい (c) のサンプルの表面形状は Al の析出と思われるものが見られ、やはり RMS 粗さも大きな値となった。ところが、(b) のサンプルの表面形状は Al の析出が見られず非常に平坦であり、AlN の 1 原子層高さである 0.25 nm のステップが観測できた。これらの結果より、成長温度 700°C においても十分に平坦な Al 薄膜が成長できることがわかった。

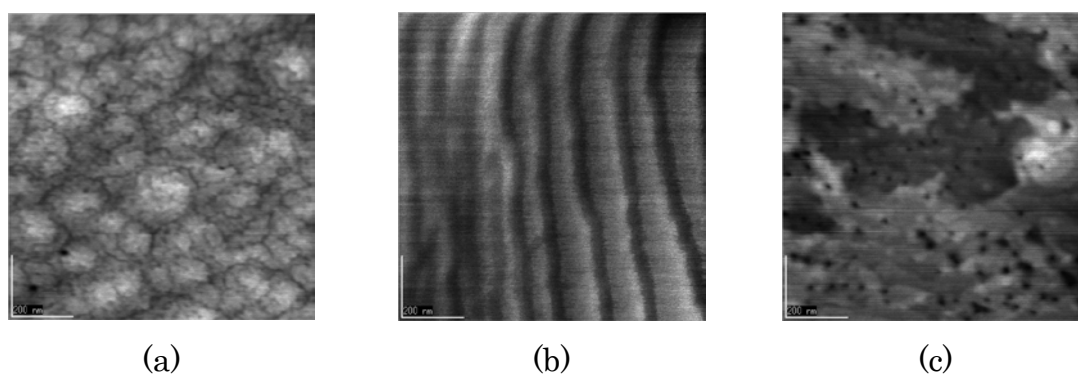


図 2 AlN の AFM 像($1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$)。

以上のようにして、AFM を用いた表面界面評価を通じ、平坦な表面及び界面を持つ GaCrN/AlN/GaCrN 三層構造の作製に成功した。

2. 低温成長 GaCrN 及び GaGdN の XAFS によるナノ原子配置評価解析

遷移金属及び希土類元素添加 GaN は通常では約 700°C の高温で作製されている。添加濃度が 3・4% 以上になると、第 2 相の析出が XAFS や X-ray 回折測定などの解析結果からわかった。そのため、本来の磁性原子の持つ磁気モーメントが減り、極端の場合、室温で強磁性を示さなくなる可能性もある。高濃度の磁性元素を持ち、且つ相分離のない GaN ベース強磁性半導体は、より強い強磁性を示すと予測できる。そこで、本研究では、結晶成長温度を極端に下げ、400°C 以下、如いては室温で成長を行った。蛍光 X 線による濃度評価では、Gd 濃度 10% 以上の GaGdN が得られた。しかし、本当に単一相の GaCrN 或いは GaGdN が成長されているかどうか、微量な単体 Cr 或いは Gd 金属が析出しているかどうかは X-ray 回折測定では大変わかりにくい。XAFS 法を用いることで、添加磁性元素である Cr 及び Gd の電子状態並びに局所環境を把握することが大事である。

XAFS 評価用の GaCrN 及び GaGdN 試料は 300°C で窒化されたサファイヤ基板上に作製され、SQUID を用いた磁化測定では、室温において強磁性を示している。図 3、4、5 では、それぞれ GaCrN の X 線吸収スペクトル (Cr-K 吸収端付近)、XAFS 振動、フーリエ変換図を示す。図 5 から、第 1 近接及び第 2 近接はともに単一ピークであることがわかった。また、図 5 のフーリエ変換スペクトルより第 1、2 近接ピークに対して、カーブフィッティングで得られた精密解析の結果を表 1 に示す。表 1 では、カーブフィッティングの良さを示す R factor は 1 を切り、良い値が得られている。結合距離などからは、Cr 原子は Ga と置換していることがわかった。Cr 金属単体、CrN などの第 2 相は確認できず、単一結晶の GaCrN が成長できていることがわかった。

GaGdN に対しても、同様な蛍光 XAFS 測定を行った。図 6、7、8 では、Gd 濃度 6.5% の GaGdN の X 線吸収スペクトル (Gd-K 吸収端付近)、XAFS 振動、フーリエ変換図をそれぞれ示す。表 2 にフーリエ変換したスペクトルに対して、フィッティングで得られた各パラメーターを示す。第一近接及び第 2 近接がはっきり確認できる。ただ、配位数は GaCrN の場合と大きく違って、Gd - Ga の値は非常に小さいとなっている。それは、Gd イオン半径が大きいため、N 空位ができてことを示唆している。N 空位モデルで図 8 のようなスペクトルを解析すれば、よいフィッティングの結果が得られた。この試料においても、Gd 原子は Ga サイトに入っていることがわかった。

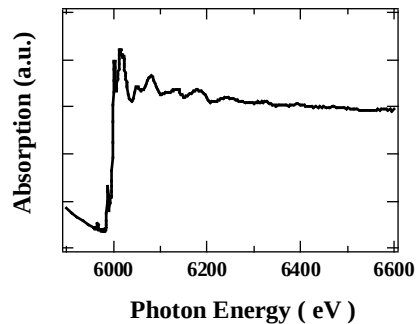


図3 GaCrN の X 線吸収スペクトル。

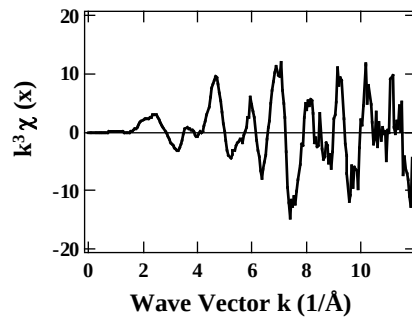


図4 図3 から抽出した XAFS 振動。

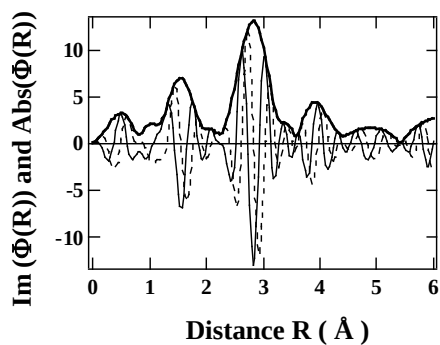


図5 フーリエ変換図。

	Cr-N	Cr-Ga
原子間距離(Å)	2.0	3.2
配位数	3	12
Debye-Waller因子(Å ⁻²)	0.00	0.03
C4(Å ⁻⁴)	7.0	
Last R factor(%)	0.9	0.7

表1 カーブフィッティングの結果。

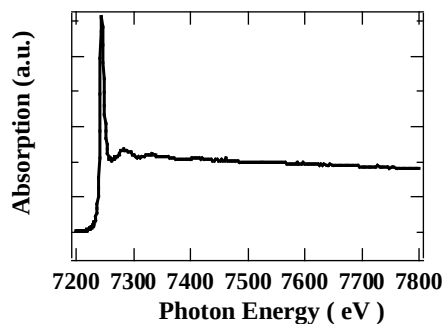


図6 GaGdN の X 線吸収スペクトル。

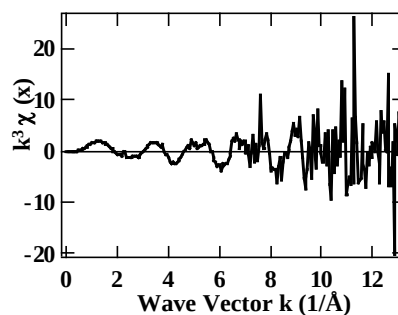


図7 図6 から抽出した XAFS 振動。

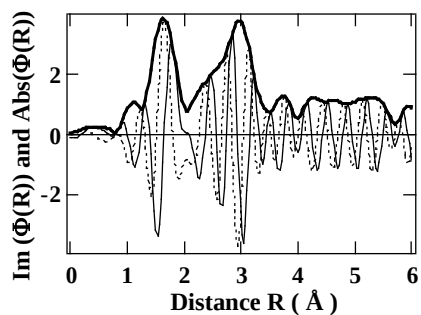


図8 フーリエ変換図。

	Gd-N	Gd-Ga
原子間距離(Å)	2.34	3.3
配位数	2.3	3.7
Debye-Waller因子(Å ⁻²)	0.00	0.08
C4(Å ⁻⁴)	66	
Last R factor(%)	0.9	1.5

表2 カーブフィッティングの結果。

3. 走査型トンネル顕微鏡法による MOSFET 断面のナノ評価

水素終端化処理を施した MOSFET 断面を走査型トンネル顕微鏡(STM)で観察すると、そのトポグラフ像から作製したデバイスの形状が、各点での走査型トンネル分光(STS)測定で得た I - V 特性からポテンシャルに対応した分布図が得られることをこれまで研究してきた。この STM/STS 法でデバイス进行评估する場合、デバイスから断面を切り出して评估することとなる。内部にあったところを切り出したデバイス断面のポテンシャル分布は、デバイス内部のそれとは異なっていることが考えられる。そこで、同じ MOSFET 試料から異なる方位角で切り出して STM 評価を行い、デバイスを切り出すことの影響について調べた。

試料として用いた n -MOSFET は、 p -Si(001)基板に電子線描画とイオン注入により作製したもので、ゲート長 100nm、 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ の As イオン(30kV)注入量のソース/ドレイン(S/D)、 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ の B ドーパント密度のチャネルからなっている。 n -MOSFET は[110]方向に細長い形状で、ウェハー上に 300nm 間隔で多数並んでいる。このウェハーから[110]、[100]および[11-0]方位で機械的に切り出し、化学機械研磨により平坦な断面を得た。その後、5nm の酸化膜を形成し HF と HCl 混合液に 2 分間浸した。この処理により、酸化膜を除去するとともに表面は水素で終端化されて、表面準位密度の低い表面が得られている。

図 1(a)と(b)に、MOSFET の(110)断面から得たトポ像($V_s = 1.0\text{V}$)と電流像($V_s = -1.7\text{V}$)を、図 1(c)と(d)に、(100)断面から得たトポ像($V_s = 1.0\text{V}$)と電流像($V_s = -1.7\text{V}$)を示す。デバイス形状の分かるトポ像ではいずれでも左右対称であることが分かる。一方、ポテンシャル分布に対応する電流像では、(110)断面では対称、(100)断面では非対称となっている。これは、 pn 接合領域の電場の向きが断面と平行である場合には影響が余りなく、角度をなすと切り出した影響が現れることを示した結果と考えられる。図 2 に示した 2 次元 pn 接合のシミュレーション結果もそれを支持している。

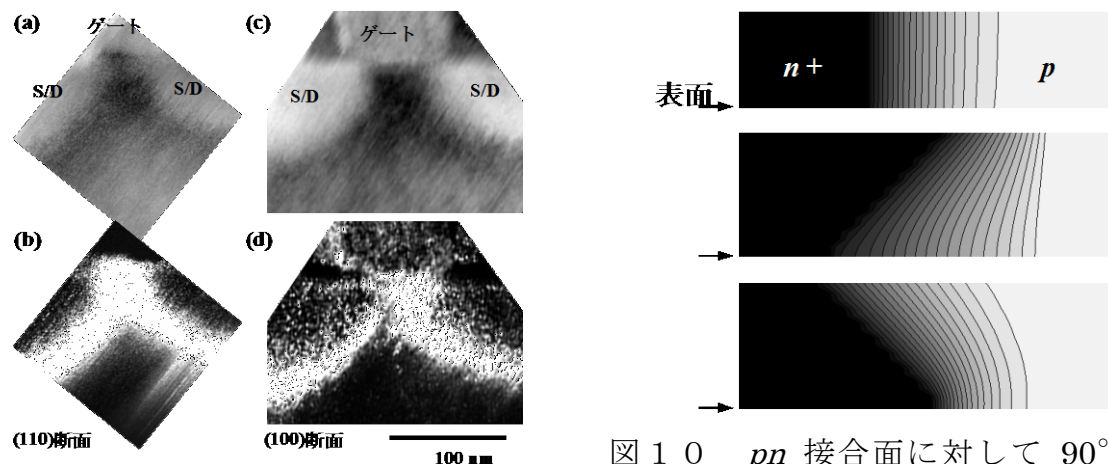


図 9 MOSFET 断面のトポ像(a), (c)と電流像(b), (d)。

図 1 0 pn 接合面に対して 90° , 45° 及び 135° の角度で切り出した場合のポテンシャル分布。

論文

- 1) S.W. Choi, S. Emura, S. Kimura, M.S. Kim, Y.K. Zhou, N. Teraguchi, A. Suzuki, A. Yanase, and H. Asahi, “Emission spectra from AlN and GaN doped with rare earth elements”, J. Alloys and Compounds 408-412 (2006) 717-720.
- 2) S. Kimura, S. Shanthi, Y.K. Zhou, M.S. Kim, S. Kobayashi, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi, “Ferromagnetic cubic GaCrN epitaxial growth over MgO substrate - effect of growth condition”, Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 76-78.
- 3) S. Hasegawa, W. Doi, A. Yabuuchi and H. Asahi, “Evaluation of Device Configurations through Cross-Sectional Planes along Gates of 0.1 μ m Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors by Scanning Tunneling Microscopy/Scanning Tunneling Spectroscopy”, Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 2033-2036.
- 4) S. W. Choi, Y. K. Zhou, S. Emura, N. Teraguchi, A. Suzuki and H. Asahi, “Magnetic, optical and electrical properties of GaN and AlN doped with rare-earth element Gd”, Phys. Stat. Sol. (c) 3(6) (2006) 2250-2253.
- 5) S. Shanthi, S. Kimura, M.S. Kim, S. Kobayashi, Y.K. Zhou, H. Hasegawa and H. Asahi, “Nature of deep level defects in GaCrN diluted magnetic semiconductor”, Jpn. J. Appl. Phys. 45 (4B) (2006) 3522-3525.
- 6) S.W. Choi, Y. K. Zhou, M. S. Kim, S. Kimura, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi, “Ferromagnetism in short-period GaGdN/GaN superlattices grown by RF-MBE”, Phys. Stat. Sol. (a) 203 (11) (2006) 2774-2777.
- 7) M. Hashimoto, S. Emura, H. Tanaka, T. Honma, N. Umesaki, S. Hasegawa and H. Asahi, “Local crystal structure and local electronic structure around Cr in low-temperature-grown GaCrN layers”, J. Appl. Phys. 100 (2006) 103907-1 - 103907-6.
- 8) M.S. Kim, Y.K. Zhou, M. Funakoshi, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi, “Tunnel magnetoresistance in GaCrN/AlN/GaCrN ferromagnetic semiconductor tunnel junctions”, Appl. Phys. Lett. 89 (2006) 232511-1 - 232511-3

国際会議

(注：★は招待講演)

- ★1) H. Asahi, “Growth and fabrication of spintronics/quantum materials and devices by atomic and molecular beams”, Sanken International Symposium 2006 on Advanced Science and Technology for Materials, Biology, and Information by Quantum Beams (SIS-2006), Osaka, Japan, February 8-9, 2006, #ThuA10(OP).
- 2) M. Terayama, K. Uchida, S. Hasegawa, M. Ishimaru, Y. Hirotsu, and H. Asahi, “Formation process of sharp tip-like structures on GaN nanorods during RF-MBE

and their field emission characteristics” , Sanken International Symposium 2006 on Advanced Science and Technology for Materials, Biology, and Information by Quantum Beams (SIS-2006), Osaka, Japan, February 8-9, 2006, #P02.

★3) H. Asahi, M. S. Kim, S. Matsuno, Y. K. Zhou, S. Emura and S. Hasegawa, “Growth of GaCrN/AlGaIn/GaCrN Trilayer Structures and Observation of Tunnel Magneto-Resistance Effect” , International Symposium on Hybrid Nano Materials Toward Future Industries, Nagaoka, Japan, February 3-5, 2006, #1A07.

4) Y. K. Zhou, S. W. Choi, M. S. Kim, S. Kimura, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi, “Ferromagnetism in short-period GaGdN/GaN superlattices grown by RF-MBE” , 15th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, Kyoto, Japan, March 6-10, 2006, #Thu-0-9B.

5) S. Kimura, S. Emura, H. Ofuchi, Y. Nakata, Y. K. Zhou, C. W. Choi, Y. Yamauchi, S. Hasegawa and H. Asahi, “Cr atom alignment in Cr-delta-doped GaN” , The XIII International Conference on XAFS, Stanford, USA, July 9-15, 2006.

6) S. Kimura, S. Emura, S. Kobayashi, S. W. Choi, M. S. Kim, Y. K. Zhou, H. Asahi and H. Ofuchi, “New Cr-cluster formation in diluted magnetic semiconductor GaCrN” , The XIII International Conference on XAFS, Stanford, USA, July 9-15, 2006.

7) S. W. Choi, Y. K. Zhou, S. Kimura, S. Emura, S. Hasegawa, and H. Asahi, “Magnetic properties of GaGdN/GaN superlattices grown by RF-MBE” , International Conference on Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors, Sendai, Japan, August 15-18, 2006, #PB-17, Abstracts p.100.

8) S. Emura, S. W. Choi, J. J. Kim, S. Kimura, S. Kobayashi, Y. K. Zhou, K. Kobayashi, H. Asahi, N. Teraguchi and A. Suzuki, “Electronic State and Local Structure Analysis of GaGdN by HX-PES and XAFS” , International Conference on Physics and Applications of Spin Related Phenomena in Semiconductors, Sendai, Japan, August 15-18, 2006, #PB-35, Abstracts p.118.

9) S. Kimura, S. Kobayashi, Y. Zhou, S. Choi, S. Subashchandran, H. Ofuchi, M. Ishimaru, Y. Hirotsu, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi, “Growth and Characterization of Ferromagnetic Cubic GaCrN” , 14th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Tokyo, Japan, September 3-8, 2006, #TuB3-6, Abstracts #TuB3-6.

10) Y. K. Zhou, S. W. Choi, S. Kimura, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi (Best Paper Awards), “Evolution of Cr-doped and Gd-doped GaN layers grown at low temperatures” , IUMRS International Conference in Asia 2006 (IUMRS-ICA-2006), Jeju, Korea, September 10-14, 2006, #7-P-12, Abstracts #7-P-12.

11) S. W. Choi, Y. K. Zhou, S. Kimura, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi, “Magnetic properties of Gd-doped GaN single layer and GaGdN short period superlattices grown by RF-MBE” , IUMRS International Conference in Asia 2006

(IUMRS-ICA-20069, Jeju, Korea, September 10-14, 2006, #7-P-11, Abstracts #7-P-11.

12) S. Emura, S. Kimura, M. Hashimoto, S. Kobayashi, S.W. Choi, M.S. Kim, Y.K. Zhou and H. Asahi, "Electronic structure of ferromagnetic element Cr in DMS GaCrN observed in X-ray absorption spectra", IUMRS International Conference in Asia 2006 (IUMRS-ICA-20069, Jeju, Korea, September 10-14, 2006, #2-P-19, Abstracts #2-P-19.

13) S. Emura, S. Kobayashi, S. Kimura, Y. Yamauchi, S.W. Choi, Y.K. Zhou, H. Ofuchi, S. Hasegawa, H. Asahi, "Unique Lattice Alignment around Cr Atoms Doped in GaN under Some Growth Condition", Sanken International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006 -Perspective on Interdisciplinary Nanobiology and Industrial Nanotechnology-, Osaka, September 19-20, 2006, Abstracts #P01-B.

14) S. Kimura, S. Emura, H. Ofuchi, S. Shanthi, M. Ishimaru, Y. Hirotsu, Y. K. Zhou, S. Hasegawa and H. Asahi, "Growth and characterization of ferromagnetic cubic GaCrN", Sanken International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006 -Perspective on Interdisciplinary Nanobiology and Industrial Nanotechnology-, Osaka, September 19-20, 2006, Abstracts #P02-B.

15) Y. Yamauchi, S. Matsuno, M. Funakoshi, M.S. Kim, S. Hasegawa, and H. Asahi, "Growth of flat AlN layer for GaCrN/AlN/GaCrN trilayer structure", Sanken International Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2006 -Perspective on Interdisciplinary Nanobiology and Industrial Nanotechnology-, Osaka, September 19-20, 2006, #P03-B, Abstracts #P03-B.

16) M. Terayama, S. Hasegawa, K. Uchida, M. Ishimaru, Y. Hirotsu and H. Asahi, "Formation process of sharp-pointed structures on GaN nanorods during RF-MBE growth and their field emission characteristics", International Workshop on Nitride semiconductors 2006, Kyoto, Japan, October 22-27, 2006, Abstracts #MoP1-42.

★17) S. Hasegawa, M. Funakoshi, Y. Yamauchi, Y.K. Zhou, S. Emura and H. Asahi, "Growth and characterization of GaN-based diluted magnetic semiconductors for semiconductor spintronics", Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium 2006, Osaka, November 20-22, 2006.

18) H. Asahi, S. Hasegawa, S. Emura and Y.K. Zhou, "GaN-based diluted magnetic semiconductors for nano-spintronics", International Symposium of Fifth 21st Century COE "Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience (ISCOE-2006)", Awaji, Hyogo, December 8-9, 2006, Abstracts p.71.

19) S. Kimura, S. Emura, Y.K. Zhou, S. Shanthi, Y. Yamauchi, Y. Hiromura, S. Hasegawa and H. Asahi, "Growth and characterization of cubic GaCrN", International Symposium of Fifth 21st Century COE "Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience (ISCOE-2006)", Awaji, Hyogo, December

8-9, 2006, Abstracts pp. 72-73.

20) S. Shanthi, S. Kimura, Y.K. Zhou, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi, “Defect analysis on MBE grown ferromagnetic GaCrN epitaxial layers”, International Symposium of Fifth 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience (ISCOE-2006)”, Awaji, Hyogo, December 8-9, 2006, Abstracts pp. 74-75.

21) S.W. Choi, Y.K. Zhou, S. Kimura, M. Funakoshi, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi, “Epitaxial growth and magnetic properties of GaGdN/GaN superlattice structures”, International Symposium of Fifth 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience (ISCOE-2006)”, Awaji, Hyogo, December 8-9, 2006, Abstracts p. 76.

22) Y.K. Zhou, S.W. Choi, S. Kimura, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi, “Low temperature growth of GaCrN and GaGdN layers and their properties”, International Symposium of Fifth 21st Century COE “Towards Creating New Industries Based on Inter-Nanoscience (ISCOE-2006)”, Awaji, Hyogo, December 8-9, 2006, Abstracts p. 77.

国内会議

1) “低温成長 GaN ベースの希薄磁性半導体の諸特性”、周逸凱、崔誠佑、金武成、木村重哉、小林覚、S. Shanthi、江村修一、長谷川繁彦、朝日一、第 53 回応用物理学会関係連合講演会予稿集 (2006. 3. 22-26, 武蔵工業大学) 23a-ZM-1

2) “GaAs (001) 基板上に成長した立方晶 GaCrN における Cr 周りの特異な局所構造”、小林覚、木村重哉、崔誠佑、大淵博宣、金武成、周逸凱、長谷川繁彦、江村修一、朝日一、第 53 回応用物理学会関係連合講演会予稿集 (2006. 3. 22-26, 武蔵工業大学) 23a-ZM-2

3) “Gd ドープ GaN 多層構造の結晶成長とその磁気特性(2)”、崔誠佑、周逸凱、木村重哉、S. Shanthi、江村修一、長谷川繁彦、朝日一、第 53 回応用物理学会関係連合講演会予稿集 (2006. 3. 22-26, 武蔵工業大学) 23a-ZM-3

4) “GaCrN/AlN/GaCrN 三層構造(1) -平坦な AlN 膜の形成-”、山内祥晃、船越政行、松野俊輔、金武成、長谷川繁彦、朝日一、第 53 回応用物理学会関係連合講演会予稿集 (2006. 3. 22-26, 武蔵工業大学) 23a-ZM-6

5) “GaCrN/AlN/GaCrN 三層構造(2) -TMR 効果-”、船越政行、金武成、崔誠佑、木村重哉、松野俊輔、山内祥晃、周逸凱、江村修一、長谷川繁彦、朝日一、第 53 回応用物理学会関係連合講演会予稿集 (2006. 3. 22-26, 武蔵工業大学) 23a-ZM-7

6) “GaN ナノロッド先端における鋭いチップ構造の形成過程”、寺山正敏、内田夏苗、長谷川繁彦、石丸学、弘津禎彦、朝日一、第 53 回応用物理学会関係連合講演会予稿集 (2006. 3. 22-26, 武蔵工業大学) 23a-ZQ-1

7) M. Funakoshi, M. S. Kim, S.W. Choi, S. Kimura, Y. Yamauchi, Y.K. Zhou, S. Emura,

S. Hasegawa, and H. Asahi, “Tunnel Magnetoresistance Effect in GaCrN/AlN/GaCrN Trilayer Structures”, 25th Electronic Materials Symposium, Izu-no-kuni, Shizuoka, July 5-7, 2006.

8) Y. Yamauchi, S. Matsuno, M. Funakoshi, M.S. Kim, S. Hasegawa, and H. Asahi, “Growth of flat AlN layer for GaCrN/AlN/GaCrN trilayer structure”, 25th Electronic Materials Symposium, Izu-no-kuni, Shizuoka, July 5-7, 2006.

9) 長谷川繁彦、寺山正敏、内田夏苗、石丸学、弘津禎彦、朝日一、“GaN ナノロッドの先端先鋭化とその電界電子放出特性”、電子情報通信学会電子デバイス研究会 (2006. 8. 4、大阪大学)

10) “パターニングした Si 基板上への GaN ナノロッド成長”、寺山正敏、長谷川繁彦、朝日一、第 67 回応用物理学会学術講演会予稿集 (2006. 8. 29-9. 1, 立命館大学) 29a-E-10

11) “MgO 基板上立方晶 GaCrN の MBE 成長とその評価 (3)”、木村重哉、江村修一、周逸凱、崔誠佑、S. Shanthi、大淵博宣、長谷川繁彦、朝日一、第 67 回応用物理学会学術講演会予稿集 (2006. 8. 29-9. 1, 立命館大学) 31p-ZK-5

12) “低温成長 GaN ベースの希薄磁性半導体の諸特性 (2)”、周逸凱、崔誠佑、木村重哉、船越政行、S. Shanthi、江村修一、長谷川繁彦、朝日一、第 67 回応用物理学会学術講演会予稿集 (2006. 8. 29-9. 1, 立命館大学) 31p-ZK-6

13) “GaGdN/GaN 超格子構造の磁気特性”、崔誠佑、周逸凱、木村重哉、船越政行、江村修一、長谷川繁彦、朝日一、第 67 回応用物理学会学術講演会予稿集 (2006. 8. 29-9. 1, 立命館大学) 31p-ZK-7

14) “GaCrN/AlN/GaCrN 三層構造の電流-電圧特性”、船越政行、周逸凱、金武成、木村重哉、江村修一、長谷川繁彦、朝日一、第 67 回応用物理学会学術講演会予稿集 (2006. 8. 29-9. 1, 立命館大学) 31p-ZK-8

15) “GaCrN/AlN 量子井戸構造の作製 -AlN 膜の平坦化”、山内祥晃、船越政行、長谷川繁彦、朝日一、第 67 回応用物理学会学術講演会予稿集 (2006. 8. 29-9. 1, 立命館大学) 1a-RE-4

16) “走査型トンネル顕微鏡法による MOSFET 断面のポテンシャル計測”、長谷川繁彦、朝日一、第 26 回表面科学講演大会予稿集 (2006. 11. 6-9, 大阪大学) #P84

17) “パターニングした Si 基板上への GaN ナノロッド成長”、寺山正敏、長谷川繁彦、朝日一、第 26 回表面科学講演大会予稿集 (2006. 11. 6-9, 大阪大学) #P29

18) Y.K. Zhou, S.W. Choi, S. Kimura, S. Emura, S. Hasegawa and H. Asahi, “Enhancement of magnetic properties in GaGdN/GaN superlattice structure and low-temperature-grown GaGdN layer”, 11th Symposium on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors, Tokyo, December 14-15, 2006.

著書

- 1) 朝日一（分担執筆）、”電子材料ハンドブック” 3.3.5 節 III-V 族化合物半導体プロセス-ナノ構造の作製を中心に- pp. 183-186、木村忠正他編（朝倉書店, 2006）

受賞

- 1) 周 逸凱 その他、 IUMRS-ICA-2006、最優秀論文賞

総説・解説

- 1) 周逸凱、朝日一 “半導体ナノスピントロニクス・デバイス” 真空 49(2006)722-727.

特許

- 1) 「強磁性材料」 周逸凱、朝日一
- 2) 「磁性制御方法」 江村修一、朝日一、周逸凱

学会活動

朝日一

- 1) 応用物理学会評議員
- 2) 日本表面科学会関西支部支部長
- 3) Japanese Journal of Applied Physics 編集委員
- 4) Journal of Crystal Growth (Elsevier Science BV), Associate Editor
- 5) e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Member of Advisory Board
- 6) J. of Materials Science: Materials in Electronics (Chapman and Hall), Member of Editorial Board
- 7) Current Applied Physics (Elsevier Science BV), Member of Editorial Board
- 8) 電子材料シンポジウム実行委員会副委員長、運営委員会委員
- 9) 14th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Organizing Committee Vice-Chair, Program Chair
- 10) 18th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials, International Steering Committee Member, Program Committee Member
- 11) 2006 International Conference on Solid State Devices and Materials, Program

Committee member

12) 14th International Colloquim on Scanning Probe Microscopy, Publication Committee member

13) 19th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials, International Steering Committee Member

14) International Symposium on Compound Semiconductors 2007, Program Committee Member, Organizing Committee Member

15) 2007 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM-2007), Program Committee member

科研費、助成金等

1) 朝日一、長谷川繁彦、江村修一、周逸凱: 科研費・基盤 (B) 「室温強磁性窒化物物半導体ナノ構造とナノスピントロニクスデバイス応用に関する研究」

■ナノシステム設計分野(国内客員)

各種ナノマテリアルを集積したシステムデバイス(超五感センサ・脳型メモリ、量子計算用素子)を設計する。

平成18年4月 1日 ～ 6月30日	客員教授 Guest Prof.	大下 浄治 J.OHSHITA	広島大学大学院 工学研究科
	客員助教授 Guest Assoc. Prof.	高橋 憲司 K.TAKAHASHI	金沢大学大学院 自然科学研究科
平成18年7月 1日 ～ 9月30日	客員教授 Guest Prof.	垣内 史敏 F.KAKIUCHI	慶応義塾大学 理工学部
	客員助教授 Guest Assoc. Prof.	于 強 T.UKYOU	横浜国立大学 工学部生産工学科
平成18年10月 1日 ～ 12月31日	客員教授 Guest Prof.	小口 多美夫 T.OGUCHI	広島大学大学院 先端物質科学研究科
	客員助教授 Guest Assoc. Prof.	川越 毅 T.KAWAGOE	大阪教育大学 教育学部
平成18年 1月 1日 ～ 3月31日	客員教授 Guest Prof.	砂川 洵 M.SUNAGAWA	帝京平成大学 薬学部
	客員助教授 Guest Assoc. Prof.	上羽 牧夫 M.UWAHA	名古屋大学大学院 理学研究科

■超高速ナノ構造分野(外国人客員)

極短時間パルス電子ビームを用いた反応素過程の研究とナノ構造解析への応用を行う。

平成 18年 4月 10日 ～ 18年5月30日	客員教授 Guest Prof.	Ulrich Hofer	ドイツ・フィリップス大学
平成18年7月26日 ～ 8月25日	客員教授 Guest Prof.	Hou Xue-Long	中国・上海有機化学研究所
平成18年8月29日 ～ 9月29日	客員教授 Guest Prof.	James Maxwe Howe	米国・バージニア大学 工学部
平成19年1月 1日 ～ 3月31日	客員教授 Guest Prof.	Jacvqeline Bourdeau	カナダ・ケベック大学

■ナノテクノロジー・トランスファー分野(外国人客員)

ナノテクノロジーに関する開発研究成果を産業界に技術移転し、新産業を創製する。

平成18年4月 3日 ～ 5月 2日	客員助教授 Guest Assoc. Prof.	Supab Choopun	タイ・チェンマイ大学 理学部
平成18年5月11日 ～ 6月13日	客員教授 Guest Prof.	Tulsi Mukaherjee	インド・バーバー原子力研究所
平成18年6月14日 ～ 7月13日	客員助教授 Guest Assoc.Prof.	Lifeng Yan	中国・中国科学技術大学
平成18年7月 14日 ～ 8月 20日	客員教授 Guest Prof.	Emil Pincik	スロバキア共和国・科学大学 物理学研究所
平成18年8月21日 ～平成19年8月20日	客員教授 Guest Prof.	Sergey V. Anishchik	ロシア・ノヴォシビルスク大学

客員教授

氏名： 大下 浄治

所属： 広島大学大学院工学研究科

略歴：

昭和 60 年 3 月	京都大学工学部合成化学科卒業
昭和 62 年 3 月	京都大学大学院工学研究科合成化学専攻博士課程前期修了
昭和 62 年 9 月	京都大学大学院工学研究科合成化学専攻博士課程後期中退
昭和 62 年 9 月	広島大学工学部助手
平成 9 年 8 月	広島大学工学部助教授
平成 13 年 4 月	九州大学有機化学基礎研究センター助教授
平成 15 年 4 月	広島大学大学院工学研究科助教授
平成 17 年 4 月	広島大学大学院工学研究科教授
	現在に至る

学位：平成 3 年 5 月 工学博士(広島大学)

専門分野：有機合成化学

主な研究課題：

新規 σ - π 共役分子の合成と構造・電子状態の解明、および機能材料への応用

オリゴチオフエンに代表される各種の π 電子系をケイ素基で架橋した新規 σ - π 共役型オリゴマー・ポリマーを合成し、それらの溶液および固体状態での構造・電子状態を光学的手法を用いて解明する。さらに、その結果を基に新規機能材料への展開をはかる。

共同研究成果：藤塚守助教授や真嶋哲朗教授と共同研究を行い、以下の論文を報告した。

1. Singlet Energy Migration along Alternating Block Copolymer of Oligothiophene and Oligosilylene in Solution
M. Fujitsuka, D. W. Cho, J. Ohshita, A. Kunai, and T. Majima
J. Phys. Chem. B **2006**, 110(25), 12446-12450.
2. Fluorescence Properties of Si-linked Oligothiophenes
M. Fujitsuka, D. W. Cho, J. Ohshita, A. Kunai, and T. Majima
J. Phys. Chem. C **2007**, 111(5), 1993-1998.

平成 18 年 4 月 1 日～平成 18 年 6 月 30 日

氏名：高橋 憲司（たかはし けんじ）

所属：金沢大学大学院自然科学研究科 助教授

略歴：

平成 元年 4 月～平成 3 年 3 月	金沢大学工学部物質化学工学科	助手
平成 3 年 4 月～平成 9 年 9 月	北海道大学工学部原子工学科	助手
平成 10 年 10 月～平成 15 年 1 月	北海道大学大学院工学研究科	助手
平成 15 年 2 月～平成 16 年 3 月	金沢大学工学部	助教授
平成 16 年 4 月～	金沢大学大学院自然科学研究科	助教授

現在に至る

学 位

工学博士（北海道大学） 平成 6 年 6 月

研究概要

「イオン液体中の溶媒和電子」

イオン液体中に量子ビームによって生成した溶媒和電子の反応をパルスラジオリシスにより研究した。イオン液体を構成するカチオン種を変えて溶媒和電子の特性を研究した。

客員教授

氏名：垣内 史敏

所属：慶應義塾大学理工学部

略歴：

学 歴

大阪大学工学部応用精密化学科 昭和59年4月～昭和63年3月卒業

大阪大学大学院工学研究科応用精密化学専攻博士前期課程

昭和63年4月～平成2年3月修了

大阪大学大学院工学研究科応用精密化学専攻博士後期課程

平成2年4月～平成5年3月修了

職 歴

大阪大学工学部応用精密化学科・助手 平成5年4月～平成10年3月

大阪大学大学院工学研究科・分子化学専攻・助手（改組により所属変更）

平成10年4月～平成12年4月

大阪大学大学院工学研究科・分子化学専攻・講師

平成12年5月～平成16年2月

大阪大学大学院工学研究科・分子化学専攻・助教授

平成16年3月～平成17年3月

慶應義塾大学理工学部・教授

平成17年4月～現在に至る

留 学 経 験

アメリカ・ハーバード大学化学科・博士研究員
年3月

平成8年4月～平成9

学位：博士（工学）（大阪大学） 平成5年3月

専門分野：有機金属化学

主な研究課題：遷移金属錯体触媒による新反応の開発
新概念に基づいた錯体の合成

客員助教授

氏名：于 強

所属：横浜国立大学 工学部 生産工学科

略歴：横浜国立大学大学助手（工学部生産工学科）	平成4年4月～5年8月
横浜国立大学大学講師（工学部生産工学科）	平成5年8月～8年7月
横浜国立大学大学助教授（工学部生産工学科）	平成8年8月～現在に至る

学位：工学博士（横浜国立大学）	平成4年3月
-----------------	--------

専門分野：

材料力学をベースとして有限要素法に代表される CAE 技術や実験計画法等を有機的に組み合わせ、質の高い構造信頼評価性技術の確立

主な研究課題：

- ・複雑な構造システムにおけるマルチ領域の最適化設計手法
- ・電子機器のマイクロ接合・はんだ接合の信頼性評価
- ・マイクロ構造の信頼性評価試験機の開発
- ・自動車衝突時の乗員安全性評価とロバスト・最適設計
- ・自動車同士衝突の安全設計における車体構造の最適化
- ・ナノ・インデンターを用いた電子機器の無鉛マイクロ接合構造の信頼性評価
- ・携帯電話等のマイクロ接合部の耐落下衝撃信頼性に関する評価手法
- ・高信頼性 RF MEMS の開発
- ・CAP (Computer Aided Principle) に関する研究
- ・光学分析法によるマイクロ構造のひずみと信頼性計測に関する研究

客員教授

氏名：小口 多美夫

所属：広島大学大学院 先端物質科学研究科 量子物質科学専攻

略歴：

昭和 53 年 3 月 電気通信大学 電気通信学部 物理工学科 卒業

昭和 55 年 3 月 電気通信大学大学院 電気通信学研究科 物理工学専攻
修士課程 修了

昭和 58 年 3 月 東京大学大学院 理学系研究科 物理学専攻 博士課程 修了

昭和 58 年 5 月 ノースウエスタン大学 科学芸術学部 物理学科 助手

昭和 61 年 4 月 科学技術庁 金属材料技術研究所 研究員

平成 5 年 8 月 広島大学 理学部 物性学科 助教授

平成 8 年 8 月 広島大学 理学部 物性学科 教授

平成 10 年 4 月 広島大学大学院 先端物質科学研究科 量子物質科学専攻 教授
現在に至る

学位：昭和 58 年 3 月 理学博士（東京大学）

専門分野：物性理論、マテリアルデザイン

主な研究課題：マルチフェロイック物質の電子状態と物質設計

マルチフェロイック物質とは、物質中の電子のもつスピン、軌道、電荷（電気分極）に関する自由度の複数が同時に強的（もしくは反強的）な秩序を示す物質群を指す。多くの場合、これらの電子の自由度は同時に格子の自由度とも結合している。マルチフェロイック物質では、複数の秩序を有すること自身の興味に加えて、これらの秩序間に存在する交差項が新たな機能やデバイスに発展するものと期待されている。本研究では、ペロブスカイト構造やガーネット構造を有する酸化物を対象系として、薄膜化で実現される歪みの効果による電気分極の発現の可能性について検討を進めた。

客員助教授

氏名：川越 毅

所属：産業科学ナノテクノロジーセンター

ナノシステム設計分野 招へい助教授

略歴：

学歴

1985 年 3 月 早稲田大学理工学部応用物理学科 卒業

1987 年 3 月 早稲田大学大学院大学院理工学研究科
物理学及び応用物理学専攻修士課程 修了

職歴

1987/04-1994/03 学習院大学理学部物理学科助手

1994/04-1997/03 日本大学理工学部電子工学科助手

1997/04-1999/03 日本大学理工学部電子工学科専任講師

1999/04-2002/03 アトムテクノロジー研究体(JRCAT) 研究員

2002/04- 大阪教育大学 教育学部 助教授（教養学科）
現在に至る

学位：博士（理学）（早稲田大学）

専門分野：表面磁性のナノ評価

主な研究課題：スピン偏極走査型トンネル顕微鏡による磁性薄膜の磁気ナノ物性評価

次世代デバイスと目され脚光を浴びているスピントロニクスデバイスの心臓部は磁性薄膜の積層構造である。これらのデバイス特性を向上させるには、磁性薄膜の磁区構造や積層薄膜の界面構造の知見が不可欠となっている。スピン偏極走査型トンネル顕微鏡(SP-STM)は磁性薄膜の磁区構造をナノスケールで評価できる手法であるが、その多くは金属磁性薄膜に対して行われてきた。一方、ナノテクセンター量子マテリアルデバイス機能評価分野では希薄磁性半導体薄膜の評価を行っており、磁性半導体用いてスピントロニクスデバイスを作製する上でナノスケールでの磁氣的評価が不可欠である。そこで、SP-STMを用いて希薄磁性半導体薄膜の磁氣的性質をナノスケールで評価する手法の確立を目指す。

客員教授

氏名：砂川 洵

所属：帝京平成大学薬学部

略歴：

学歴

東北大学理学部化学第二学科 昭和 38 年 4 月～昭和 42 年
3 月 卒業
東北大学大学院理学研究科化学第二専攻修士課程 昭和 42 年 4 月～昭和 44 年
3 月 修了
東北大学大学院理学研究科化学第二専攻博士課程 昭和 44 年 4 月～昭和 47 年
7 月 中途退学
ニューブランズウィック大学大学院院理学部博士課程 昭和 47 年 5 月
修了

職歴

住友化学工業（株）医薬研究部 入社 昭和 47 年 8 月
住友化学工業（株）医薬事業部研究所主任研究員
昭和 59 年 10 月～平成 5 年 5 月
住友製薬（株）主任研究員 平成 5 年 6 月～平成 5 年 6 月
住友製薬（株）総合研究所開発第一研究所 所長
平成 5 年 7 月～平成 8 年 11 月
住友製薬（株）総合研究所生産技術研究所 所長
平成 8 年 12 月～平成 10 年 10 月
住友製薬（株）総合研究センター製剤技術研究所 所長
平成 10 年 11 月～平成 12 年 5 月
住友製薬（株）理事 研究主幹 平成 12 年 6 月～平成 14 年 5 月
住友製薬（株）理事 支配人 平成 14 年 6 月～平成 17
年 6 月
住友製薬（株）シニアリサーチアドバイザー 平成 17 年 7 月～平成 17
年 9 月
大日本住友製薬（株）研究本部シニアリサーチアドバイザー
平成 17 年 10 月～平成 18 年 6 月
帝京平成大学薬学部 教授 平成 18 年 4 月～現在に至る

学位：Ph. D. （ニューブランズウィック大学・カナダ）昭和 47 年

専門分野： 有機化学、天然物化学、医薬品化学

主な研究課題： 1β -メチルカルバペネム系抗生物質メロペネムの開発、免疫賦活療
法剤の開発

客員助教授 上羽 牧夫

所属：名古屋大学大学院 理学研究科

略歴：

昭和 48 年 3 月 京都大学理学部(物理学系) 卒業

昭和 51 年 3 月 名古屋大学大学院理学研究科修士課程 修了

昭和 54 年 3 月 名古屋大学大学院理学研究科博士課程 修了

昭和 60 年 10 月 東北大学金属材料研究所 助手

平成 4 年 4 月 名古屋大学教養部助教授 助教授

平成 5 年 4 月 名古屋大学理学部助教授 助教授

平成 8 年 12 月 名古屋大学大学院理学研究科助教授 助教授 現在に至る

学位：昭和 55 年 7 月 理学博士（名古屋大学）

賞罰 日本結晶成長学会論文賞 平成 7 年

専門分野：結晶成長

ナノテクセンターでの研究内容：表面ナノ構造の熱緩和に関する研究

客員教授

氏名： Ulrich Höfer （ウルリッヒ ホーファー）

所属： ドイツ マルブルク大学

略歴：

1985 年 ミュンヘン工科大学物理学専攻修士課程 修了

1989 年 ミュンヘン工科大学物理学専攻博士課程 (Dr. rer. nat.) 修了

1996 年 ミュンヘン工科大学実験物理学教員資格 (Dr. rer. nat. habil.) 取得

1985 年 ドイツ Cema 社（データ処理部）マネージャー

1985 年 ミュンヘン工科大学（物理学科）リサーチアシスタント

1990 年 米国 IBM ワトソン研究所（物理科学部門レーザー科学）ポストドクトラルフェロー

1992 年 Max-Planck 研究所（レーザー化学部表面力学分野）グループリーダー

1994 年 米国 IBM ワトソン研究所 客員研究員

1996 年 ミュンヘン工科大学 講師（物理学科）

1999 年 ドイツ マルブルク大学 教授（実験物理学）現在に至る

2003年 ドイツ マルブルク大学附属材料科学センター センター長

現在に至る

学位：

1989 年 理学博士 (Dr. rer. nat.) （ミュンヘン工科大学）

1996 年 大学教員資格 (Dr. rer. nat. habil.) （ミュンヘン工科大学）

専門分野：

表面物理学、超高速非線形光学

主な研究課題：超高速非線形分光手法を用いた表面原子過程の動力学の研究

客員教授

氏名：Xue Long Hou

所属：上海有機化学研究所 教授

略歴：

上海第1医学院・薬学系	1975年9月～1978年8月	卒業
中国科学院上海有機化学研究所	1980年9月～1986年11月	修了
上海第1医学院・薬学系 アシスタント	1978年9月～1980年8月	
上海有機化学研究所 リサーチアシスタント	1986年2月～1987年11月	
上海有機化学研究所 アシスタントプロフェッサー	1989年11月～1992年10月	
上海有機化学研究所 助教授	1992年11月～1997年10月	
上海有機化学研究所 教授	1997年11月～	現在に至る

学位：

Ph.D. (中国科学院上海有機化学研究所) 1986年

専門分野：有機合成化学

主な研究課題：新規キラル配位子の合成と、エナンチオ選択的触媒反応への応用

客員教授

氏名： James Maxwell Howe

所属： 米国・バージニア大学

略歴：

カーネギーメロン大学工学部金属・材料科学科助教授 1985 年-1990 年

カーネギーメロン大学工学部金属・材料科学科準教授 1990 年-1991 年

バージニア大学工学部材料科学科準教授 1991 年-1999 年

バージニア大学工学部材料科学科教授 1999 年

現在に至る

学位：

PhD (カルフォルニア大学バークレー校) 1985 年

専門分野：

材料科学、電子顕微鏡学

主な研究課題：

金属・合金の相変態およびその過程で形成されるナノ構造・ナノ組織の解析を
高分解能電子顕微鏡、電子線非弾性散乱スペクトル、エネルギーフィルター電顕
などの手法により行う。

Guest Professor

Jacqueline Bourdeau

Division of Nanoscience and Nanotechnology for Industrial Applications

Department of Nano-Bio-Intelligent Systems Science

CV:

Present: Full Professor, Science and Technology, Tele-universite, UQAM, Montreal, CANADA. Core group member of the european Network of Excellence on Technology-enhanced Learning, and team leader.

2001-2004 : Head of the LICEF research center on Cognitive Computer Science and Learning environments, Tele-universite, UQAM, Montreal, CANADA

1995-2000 : Adjunct Professor, Universite du Quebec a Chicoutimi, Quebec, CANADA

1992-1995 : Research Associate, LICEF research center on Cognitive Computer Science and Learning environments, Tele-universite, UQAM, Montreal, CANADA

1987-1992 : Research Associate, Montreal Research Center on Computer Science Montreal, CANADA

PhD degree

1986, Educational Technology, Universite de Montreal, Canada

Specialty:

Intelligent Tutoring Systems, Instructional Design, Distance Learning, Technology-enhanced Learning

Major research topics

Modelling theoretical knowledge for knowledge-based authoring systems

Cognitive analysis of doctoral training

Design of Collaboratory-based Learning environments

客員助教授

氏名： Supab Choopun

所属： チェンマイ大学 理学部 物理学科

略歴：

【学 歴】

1987 年 6 月～1991 年 2 月 チェンマイ大学 理学部

1993 年 4 月～1995 年 3 月 大阪大学大学院 理学研究科

無機及び物理化学専攻 博士前期課程

1995 年 8 月～2001 年 12 月 メリーランド大学大学院 理学研究科

化学物理専攻 博士後期課程

【職 歴】

2002 年 1 月～現在 チェンマイ大学 理学部 物理学科 講師

2003 年 2 月～2003 年 10 月 大阪大学 産業科学研究所 研究員 (COE)

学位： Ph. D. (理学博士) (メリーランド大学)

専門分野： 機能性薄膜、ボトムアップナノテクノロジー

主な研究課題： 3次元ナノ構造を形成するプロセスとして、電子線ビームリソグラフィや、収束イオンビームを用いる従来型のトップダウンナノ構造制御とは逆のアプローチであるボトムアップ手法を用いた新規プロセスを開発した。

触媒サイトとなる金属微粒子の配列を制御することにより、ワイドギャップ酸化物半導体の結晶成長（核形成）を任意に制御し、さらに触媒金属微粒子径を変化させることで、ナノロッド径の変化（次元性変化）により期待される状態密度の局在化、量子化機能を評価した。

客員教授

氏名： Tulsi Mukherjee

所属： Modular Laboratories, Bhabha Atomic Reserch Centre

略歴： カルカッタ大学 1968 年卒業
カルカッタ大学修士課程 1970 年 修了
ムンバイ大学博士課程 1983 年 修了

インド光放射線科学会	幹事	1996	-	1999 年
	評議委員代表	1988	-	1999 年
	副会長	2002	-	2004 年
	会長	2005	-	2007 年

インド化学会	ムンバイブランチ幹事	1990 年-2005 年
	評議委員	1994-1996 年, 2000-2002 年
	ムンバイブランチ副所長	1996-1997 年
	ムンバイブランチ所長	1998-2000 年
	副会長	2004-2005 年

バーバー原子力研究所	分子研究室	研究者	1983 年-現在に至る
		所長	現在に至る

学位： PHD (ムンバイ大学)

専門分野： 放射線化学

主な研究課題： 放射線化学初期過程の研究

客員助教授

氏名： Lifeng Yan

所属： Hefei National Laboratory for Physical Science at Microscale and Department of Chemical Physics, University of Science and Technology of China

略歴： 1987-1991 B.S., Department of Chemistry, Zhengzhou University
1993-1996 M.S. University of Science and Technology of China
1998-2001 Ph.D. University of Science and Technology of China
1998-2003. Lecturer, Department of Applied Chemistry, University of Science and Technology of China.
2003- Associate Professor, Department of Chemical Physics, University of Science and Technology of China
学位： 2001 Ph.D. Department of Chemical Physics, University of Science and Technology of China
専門分野： Physical Chemistry

主な研究課題： STM induced luminescence of conjugated polymers

Under the visiting professorship of Nanoscience and nanotechnology Center, ISIR, Osaka University, I had visited the Professor Hiroshi Iwasaki's group, for one month and carried out researches on the "STM induced luminescence of conjugated polymer". Following is the results of the studies:

- 1) The STM-induced luminescence of a conjugated polymer poly[2-methoxy-5-(20-ethyl-hexyloxy)-p-phenylene vinylene] (MEHPPV) on metallic substrates of Ag(111), Ag, Au and Cu and ITO have been investigated in air at room temperature by using Ag or Pt-Ir tip. Molecular fluorescence of MEHPPV was observed from the polymer film on Ag(111), Ag and Au substrates, and all of them show an intensity enhancement compared to the pure substrates. A mutual enhancement between surface plasmon and molecular fluorescence is suggested for the STM-induced luminescence of MEHPPV on these substrates.
- 2) The STM-induced luminescence (STML) of a conjugated polymer poly[2-methoxy-5-(20-ethyl-hexyloxy)-p-phenylene vinylene] (MEHPPV) with or without annealing on substrate of Ag(111) were investigated in air at room temperature. The surface morphologies of pure Ag(111), MEHPPV thin film on Ag(111) with or without annealing were modified by STM scans under higher positive or negative sample biases. The experimental results show that for MEHPPV film without annealing, the STML intensity increases after aggregates formation induced by STM scans. However, for annealed MEHPPV film, the negative bias scans decrease the STML intensity. The chain aggregations among MEHPPV molecules are believed to be the key factor for the behavior.

Based on the research results, two papers had been published:

- 1) Lifeng Yan, Hongwen Liu, Hiroshi Iwasaki. Mutual enhancement between plasmon and molecular fluorescence of conjugated polymer on metal substrates induced by STM. Chem. Phys. Lett., 2007, 433, 312-316.
- 2) Lifeng Yan, Hongwen Liu, Hiroshi Iwasaki. STM-induced light emission of conjugated polymer thin film in different chain aggregations. Physica B. (accepted and in Press)

客員教授

氏 名 : Emil Pínčík

所 属 : スロバキア共和国・科学大学

略 歴 : チェコスロバキア科学アカデミー物理学研究所・研究員

1985 年 10 月～1998 年 9 月

スロバキア科学アカデミー物理学研究所・応用物理学部門部門長

1998 年 10 月～

現在に至る

学 位 : PhD (コメニウス大学) 1991 年

専門分野 : プラズマ物理、アモルファス材料科学

主な研究課題 : 再生可能なエネルギーの開発ならびに環境問題の解決を目指して、単結晶シリコン、多結晶シリコン、水素化アモルファスシリコンおよびガリウムヒ素などの半導体と半導体／誘電体界面、ならびに半導体／酸化膜形成に関して実験と理論の両面から研究を行っている。特に、光電変換素子の活性層として用いられる水素化アモルファスシリコン薄膜において重要な課題となっている光劣化の解決に焦点を当て、水素化アモルファスシリコン中の水素の振る舞いと結合様式の解明、ならびに準安定欠陥準位の観測と欠陥準位の終端化に関する研究を、電気的特性観測、光学特性観測ならびに結晶学的観測により推進している。電気的特性観測においては、電荷 DLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) 法を用いた電気的特性測定装置を開発し、水素化アモルファスシリコン薄膜を中心に、種々材料中の欠陥準位の観測を行っている。電気的特性測定で得られた知見を、可視・紫外吸収／反射スペクトルおよびフォトルミネッセンススペクトルならびに視斜角入射 X 線回折測定結果と合わせて考察を進めている。以下に列举した研究課題を、現在遂行中である。

1. 電荷 DLTS 法による半導体中欠陥準位の観測
2. 硝酸酸化法で形成した酸化膜／半導体構造中の欠陥準位ならびにシアン終端化効果の観測
3. プラズマ CVD 法で作製した水素化アモルファスシリコン薄膜におけるギャップ準位観測への電荷 DLTS 法の適用
4. 単結晶シリコン、水素化アモルファスシリコン薄膜、ガリウムヒ素表面へのプラズマ酸化膜形成
5. プラズマ酸化、イオンインプランテーション、ならびに加熱処理中に生成する欠陥準位の解析
6. 過渡応答測定法の実験的・理論的展開

客員教授

氏名 : Sergey V. Anishchik (セルゲイ V アニシック)

所属 :

Institute of Chemical Kinetics and Combustion of RAS, Novosibirsk, Russia
Researcher
Department of Physics, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia.,
Lecturer, Assistant Professor

略歴 :

1976 年 7 月～1981 年 6 月 Novosibirsk State University,
Department of Physics.
1981 年 8 月～1983 年 7 月 Institute of Chemical Kinetics and Combustion of RAS,
Scientific Probationer
1983 年 7 月～1993 年 9 月 Institute of Chemical Kinetics and Combustion of RAS,
Associate Researcher
1993 年 9 月～現在 Institute of Chemical Kinetics and Combustion of RAS,
Researcher
1995 年 9 月～2001 年 10 月 Department of Physics, Novosibirsk State University,
Deputy Dean
1995 年 9 月～現在 Department of Physics, Novosibirsk State University,
Lecturer, Assistant Professor

学位

Ph. D. Physics and Mathematics. Institute of Chemical Kinetics and Combustion
RAS, Novosibirsk, Russia. (2002 年 10 月)
MS, Physics. Novosibirsk State University, Novosibirsk, USSR.
(1981 年 6 月)

研究概要

「非極性溶液中での再結合発光における時間分解マイクロ波電磁場効果」
次世代極限ナノファブリケーションを実現するため、超高速反応機構の解明が必要
である。そのために非極性溶液中でのジェミネート再結合過程を研究した。

平成18年度兼任教員

■ナノマテリアル・デバイス部門

人工生体情報ナノマテリアル分野

基礎工学研究科 システム創成専攻
固体電子工学講座

教授 奥山 雅則
Prof. M.OKUYAMA

【ボトムアップナノテク技術による機能性酸化物薄膜の形成とそのデバイス化に関する研究】

ボトムアップナノテクノロジーとしての薄膜形成技術は、機能性材料のナノ加工技術の1つとして、大変有望な技術である。今日誘電体薄膜に関する研究に関して高い知見を有し、特に不揮発性メモリや、赤外線イメージセンサとの実用化を企業と共に遂行している。

本研究では基礎的な研究開発からデバイス化への展開に至る適用化研究など広範囲に行う。

■ナノ量子ビーム部門

量子ビームナノファブリケーション分野

工学研究科 環境エネルギー光学専攻
環境資源・材料学専攻

教授 西嶋 茂宏
Prof. S. NISHIJIMA

【量子ビームによるナノ材料開発に関する研究】

量子ビームの特異性を利用したナノ材料開発の手法に関して究を行う。特に超高時間分解能パルスラジオリジスによる反応プロセスの解明を通して、材料の高機能化を目指す。

■ナノテクノロジー産業応用部門

環境調和ナノマテリアル分野

蛋白研究所 附属プロテオミクス総合
研究センター 蛋白質情報科学研究系

教授 中村 春木
Prof. H.NAKAMURA

【ナノバイオインフォマティクスに関する研究】

ナノスケールの生体高分子および複合体の構造に基づき、データベース構築とバイオインフォマティクス解析および電子状態から分子の動的構造のシミュレーション計算によって、生体高分子システムの機能発現を理解し、新たな分子設計を目指す。

■ナノ構造機能評価部門

量子マテリアルデバイス機能評価分野

工学研究科 マテリアル生産科学専攻
材料物性学講座

教授 山本 雅彦
Prof. M.YAMAMOTO

【ナノ構造磁性材料のナノ磁性評価手法の開発と評価】

スピンを制御したデバイスにおいては、ナノ構造化は高密度化、新規機能発見のために重要な方向である。量子マテリアルデバイス機能評価分野および光・電子材料研究分野では、半導体をベースとしたナノ構造磁性半導体の創製とそのナノ評価の研究を進めている。他方、表面物性学領域では、金属をベースとしたナノ磁性素材の創製並びにそのナノ評価の研究を進めている。基本となる素材として、金属と半導体と異なるが、ナノ磁性評価手法には共通点が多々あり、相違点を明らかにしつつ、ナノ磁性評価手法およびその摘要に関して共同研究を行うことは、研究の進展に有効である。

本共同研究では、このようなナノ磁性評価に適した評価手法の開発並びに適用を目的とする。

加速器量子ビーム実験室

概要

加速器量子ビーム実験室には、Lバンド電子ライナックと、Sバンド電子ライナック、RF電子銃ライナックの計3台の電子ライナック、およびコバルト60ガンマ線照射装置があり、Lバンド電子ライナックとコバルト60ガンマ線照射装置を共同利用に供している。本実験室は、量子ビーム科学研究部門とナノ量子ビーム研究部門を中心に、加速器・量子ビームを利用する産研の他部門からの兼任教員17名と、技術室所属の技術職員2名、事務補佐員1名より構成され、実験室の管理運営と共同利用を行なっている。

電子ライナック

Lバンドライナック：

Lバンド電子ライナックは電子ビームの長短とサブハーモニックバンチャー使用の有無の組み合わせにより、4つの運転モード（過渡モード、定常モード、単バンチモード、マルチバンチモード）を有し、最大エネルギーが40MeV、最大電荷量が91nC（単バンチモード）、または最大電流30.6A（過渡モード）、最大繰り返し60Hzの性能をもつ。

利用状況：今年度の共同利用では、23の研究課題が採択された。前期は保守作業の18シフトを含む120シフトが配分されたが、次節で述べるクライストロン・パルストランスの絶縁破壊のため、連休明けの12シフトの利用運転が中止となった。また夏期の保守作業時にインバータ充電電源内部の高周波トランスの絶縁破壊が発生し、1シフトの利用運転が中止となった。後期は保守作業の18シフトを含む118シフトが配分された。2月16日現在の、保守運転を含む運転日数は169日であり、運転時間実績は2,050時間であった。3月末までの推定の通算運転日数は195日、通算運転時間は約2,300時間と予想される。

保守状況：これまでクライストロン装置系で最も問題となったのがサイラトロンの短寿命と動作不安定、パルストランスの絶縁破壊であった。平成18年4月の連休直前にはクライストロン・パルストランスで放電による絶縁破壊が起き、部材調達やトランスの2次巻き線の巻き直し作業で、仮復旧までに連休明けから3週間を要している。仮復旧時には抜本的な放電対策を取る時間的な余裕が無かったため、同型のトランスを手配した。一方それと並行して放電対策の検討の結果、夏期停止期間中に対策を行うと同時にインバータ充電電源内部の高周波トランス内のインダクタンスを減らす作業が行われた。しかし、この作業の後、高周波トランス内で絶縁破壊が発生し、充電電源が使用出来なくなったため、高エネルギー加速器研究機構からインバータ充電電源を借用して共同利用を継続した。

後期のマシンタイムが始まる10月の第1週に修理が完了したインバータ充電電源への置き換え作業がおこなわれた。その後の試験運転で得られたクライストロン電圧の長時間安定度は、2時間余りの運転時間でのパルス間の最大電圧の相対変動が $\sigma=0.027\%$ と極めて安定していることが確認できた。また、これ以降サイラトロン回復異常はほとんど観測されなくなった。

Sバンドライナック：

Sバンドライナックには現在2種類あるが、本実験室における陽電子に関連する実

験では、従来からの3本の加速管を使用する、代表的電子エネルギーが100 MeV の電子ライナックを主として利用している。これまでSバンドライナックに関しては、直流電源電圧の出力異常、度重なる直流電源内速断ヒューズの破損、導波管の蟻付け部からのリーク、導波管内での放電等のトラブルが発生しており、安定な運転が行われていない。前年度行った接地系の配線のし直し、電源内ノイズ除去フィルターの改良や時定数の変更などで、電源の即断ヒューズが切れることはなくなったが、依然として長時間の安定運転が行える状況では無いため、今年度も引き続きノイズ対策を試みた。現在はモジュレーター筐体を変更し、抜本的な接地回路系の整備を行っているところである。

RFガンライナック：

S-バンドレーザフォトカソードRF電子銃ライナックにおいては、平成18年度には、フェムト秒パルスラジオリシスの開発のため、低エミッタンスのフェムト秒電子ビーム発生の研究と、発生した超短電子パルスを用いた高時間分解能を持つパルスラジオリシスの研究を行い、パルスラジオリシスを通して、微細加工の精度を決めるナノ空間における反応機構や放射線化学初期過程の解明を行なった。また、医療応用のため、フォトカソードRF電子銃ライナックを用いた電子ビームの形状の整形や動的強度変調などの研究も実施した。

コバルト60ガンマ線照射装置

コバルト60ガンマ線照射装置は、3種類のコバルト60ガンマ線源を持ち、コバルト棟に設置されている。広さの異なる2種類の照射室で照射実験を行っている。

利用状況： 本研究所をはじめ、半数程度の課題が、理学・工学研究科・微生物病研究所ならびに医学部その他の他部局の研究者の利用となっており、例年どおり学内共同利用装置として広く利用されている。利用件数は昨年と比べ部局により様々であり、全体としては若干の減少となった。特筆すべきはコバルト施設の利用時間であり、ほぼ例年通りの利用が見られる部局がある一方で、工学研究科・産業科学研究所の利用が飛躍的に増加しており、特に前者では前年比にして約3倍の1000時間を越える利用が行われている。産業科学研究所の内部利用もおよそ倍増しており、コバルト60線源への依然として高いニーズが浮き彫りとなった。

運転・保守： 平成18年度はコバルト60照射設備管理システムの抜本的・全面的な改修に着手した。平成19年2月現在、改修工事が進行中であり、以下の点に注力して改修を行なっている。

- 1) コバルト60駆動・動力系電源システムの改修
- 2) コバルト60インターロックシステムの全面改修
- 3) コバルト60照射設備放射線管理システムの全面改修

共同利用

本年度の共同利用件数は全部で42件、この内産研からは26件、学内（産研外）が12件、学外の利用者を含むものが4件であった。また、Lバンドライナックの延べ利用件数は23件、コバルト60照射施設の延べ利用件数は21件であった。研究会は平成18年11月10日に「極限量子ビーム開発の現状とその利用」の題目で、平成19年1月19日に「量子ビーム誘起反応の解明と応用」の題目で産研共同プロジ

エクト室で開催された。今年度は240名を越える見学者を受け入れた。

放射線安全管理

産研放射線施設における登録者数は151名であった。これらの業務従事者に対する教育訓練が、下記のとおり行われた。

- ・ 継続受講者 99名
日時：平成18年4月13日（木）、14日（金）
会場：大阪大学コンベンションセンター MOホール

- ・ 新規受講者 24名
日時：平成18年5月15日（月） 10時～17時
場所：加速器量子ビーム実験室セミナー室

放射線施設および施設等の点検および補修

施設点検を4月と10月に行った。また、毎月環境放射線線量率測定と汚染状況などの点検を行った。

健康診断

保健管理センターの医師による年2回の診断を含め4回実施された。

平成18年度学内放射線施設管理点検

2年に一度実施される学内放射線施設管理点検の一環として、平成18年11月21日（火）午後に産業科学研究所放射性同位元素等使用施設の点検が、レーザーエネルギー学研究センターの乗松孝好教授とラジオアイソトープ総合センターの山口善朗技術専門職員により行われた。書類関係と施設関係の点検を受けた結果、書類関係で6項目、施設関係で1項目の改善点を指摘されたので早急に対応した。

放射性同位元素等に係る立入検査

大阪大学産業科学研究所の放射性同位元素等使用施設に対する立入検査が10数年ぶりに平成19年1月26日（金）午前に関文部科学省により行われた。立入検査担当者は、文部科学省・学術政策局原子力安全課放射線規制室の原田芳幸室長補佐・放射線検査官と久保剛専門官・放射線検査官であった。事前に文書で提出した放射性同位元素等使用施設使用状況と、立ち入り検査の重点項目、線源登録及びセキュリティに関する調査記録に基づき聞き取り調査を行った後に使用施設の検査を行った。主な質問事項は、安全管理上の注意点についてであり、産研側から現状の対策と今後の計画について説明した後に、文科省側からコメントを受けた。その他、改善すべき時効として3項目を指摘されたが、すぐに対応して指摘点を改善した。

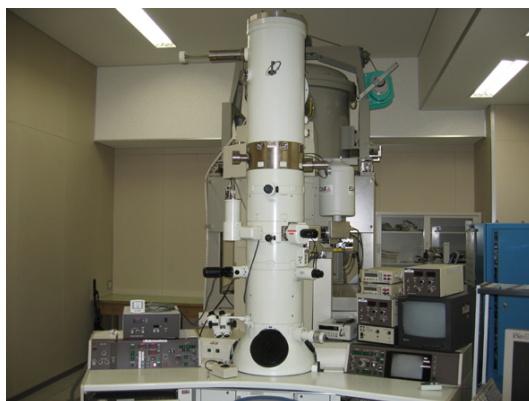
電子顕微鏡室

室長（兼任） 教授 弘津禎彦

電子顕微鏡室は昭和 26 年に共通利用施設として設置され、以来、所内各研究部門の固体構造・組織に関する研究に大きく貢献してきた。平成 16 年度より産業科学ナノテクノロジーセンター附属の研究施設となり、センター内はもちろん所内各研究部門のナノテクノロジー研究をナノレベルでの形態観察および構造解析の立場から支援している。

電子顕微鏡室ではこれまで 100 kV 透過電子顕微鏡(HU-11DS)、650 kV 超高圧電子顕微鏡(HU-650)、100 kV 電界放出型電子銃搭載の分析電子顕微鏡(H-600FE)など、それぞれの時代の先端電子顕微鏡を設置してきた。現在、300 kV 電界放射型透過電子顕微鏡(JEM-3000F)、走査電子顕微鏡 (S-2250N) などが稼働しており、これらの装置は各種試料の原子レベルでの観察、ナノメートルサイズの極微小部の電子回折による結晶構造解析、ナノメートルサイズの部位の元素分析およびバルク試料の表面組織観察などに有効に利用されている。特に、平成 10 年より稼働を始めた 300 kV 透過電子顕微鏡の最高分解能は 0.17 ナノメートルであり、本装置搭載のエネルギー分散型 X 線検出器による組成分析はホウ素以上で可能であるため、ナノ構造解析に極めて有用である。

平成 18 年度の利用状況は、透過電子顕微鏡が 271 件（8 研究室）、走査電子顕微鏡が 23 件（4 研究室）であった。



透過電子顕微鏡（JEM-3000F）



走査電子顕微鏡（S-2250N）

電子プロセス実験室

電子プロセス実験室は、産業科学研究所の共通施設として平成3年（1991）に設置されたものである。平成16年度4月に、産業科学ナノテクノロジーセンターにナノ構造機能評価研究部門が設置されたのに伴い、産業科学ナノテクノロジーセンター附属の実験室となった。当実験室は、ナノテクノロジーおよび関連基盤研究を推進するために、光・電子材料、量子分子素子材料、有機素子材料などに関連した研究で必要とされる共通のプロセス関係の装置を設置し、いろいろな素子材料のプロセス技術の向上をはかって研究の展開に役立てることを目的としている。

設備としては、小規模クリーンルーム、フォトリソグラフィ装置、電子線描画装置、電極形成用高真空蒸着装置、電子ビーム蒸着装置、スパッタ薄膜形成装置、反応性イオンエッチング装置、FIB装置、劈開機、配線用ワイヤーボンダー装置、2結晶X線回析装置、原子間力顕微鏡、高解像度デジタルマイクロスコープ、解析用パーソナルコンピュータが設置してある。当実験室は、ナノテクノロジーセンターおよび関連研究室での各種材料に対する構造解析、表面解析、電極形成の実験研究や、これらをもとに各種材料の電気的性質等の測定、光素子、電子素子、分子素子などの試作等に寄与している。

平成18年度の利用状況は、10研究室を超え、1ヶ月当たり延べ約40件（年間約500件）の利用があった。ナノ加工室からの利用も多い。



FIB 室



RIE エッチング装置

ナノ加工室

産研では、ナノテクセンターを中心にしているいろいろなナノテク技術に関する研究開発が進められている。産研に所属する研究者や学生達が、これらの研究活動を効率よく推進するためには、従来の加工技術の範囲を超えたナノレベルの微細加工技術を駆使した治具の作製や試験技術の獲得が欠かせない。そこで、これらの産研内のナノ加工に関する要望に応えるため、新たにナノ加工室を2005年度発足させた。メンバーは、室長の菅沼と榊原、谷畑の両室員である。ナノ加工室では、産研が有する各種ナノ加工装置およびナノ加工技術を相互に有効活用することも活動の主眼にする。

今年度は新たに、デバイスデザインを設計するための環境を整備し、数十マイクロメートルオーダーのデバイス作製を可能にした。写真1にマスク作製の様子を示した。またナノ加工室の活動内容を広く宣伝するために、電子掲示板を利用し広報活動を行った。これまでに、フォトリソグラフィとドライエッチングによるシリコン加工から、電子線リソグラフィと金属蒸着を用いた基盤作製など、五つの研究室からの依頼を受けるようになった。

また今年度の活動の一環として、昨年度に引き続きC0E21の助成を受け、ナノ加工技術講習会「マイクロデバイス作製・応用実習2」を実施した。今年度も学生、教員といった様々な立場の方々から合計9名の参加者が集まった。各人の研究内容も、ナノデバイスをすでに研究で使われている方から、生化学を専門とされている方まで多岐に渡った。日程は二日間で、平成19年1月に3回実施した。一日目はデバイスデザインをマスクに縮小撮影し、そのマスクを用いてフォトリソグラフィとウェットエッチングを行った。そして二日目は、作製した電極を用いて顕微鏡観察下でのDNA伸張実験を行った。写真2に実習の風景を示した。今後も、様々なチャンスを設け講習範囲も拡大し、ナノ加工技術を通して産研の研究の展開の一助となるように努める予定である。



写真1：マスク作製の様子



写真2：実習におけるフォトリソグラフィの様子

ナノテクノロジープロセスファンドリー

大阪大学・産業科学研究所
産業科学ナノテクノロジーセンター

所在地 〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 8-1 FAX06-6879-4309

構成

主任・教授	川合 知二 (Tomoji KAWAI) TEL:06-6879-8445, E-mail:kawai@sanken.osaka-u.ac.jp
室長・客員助教授	村杉 政一 (Masakazu MURASUGI) TEL:06-6879-4309, E-mail:murasugi@sanken.osaka-u.ac.jp
客員助教授	河原 敏男 (Toshio KAWAHARA) (～11/15) TEL:06-6879-4309, E-mail:toshi@sanken.osaka-u.ac.jp
特任研究員	大野 隆裕 (Takahiro OHNO) TEL:06-6879-4309, E-mail:t-ohno@sanken.osaka-u.ac.jp
特任研究員	松井 良憲 (Yoshinori MATSUI) TEL:06-6879-4309, E-mail:matsui62@sanken.osaka-u.ac.jp
特任研究員	岡本 一将 (Kazumasa OKAMOTO) TEL:06-6879-4309, E-mail:okamoto@bms.sanken.osaka-u.ac.jp
事務補佐員	圓見 恵子 (Keiko ENMI) TEL:06-6879-4309, E-mail:kuri@sanken.osaka-u.ac.jp

1. 概要

文部科学省は我が国のナノテクノロジー研究開発を戦略的に進めるには、ナノテクノロジーに関する産学官全ての研究者が必要としながら容易に使用することができない計測技術や極微細加工技術あるいは合成評価技術等を利用できる施設整備が必要とする政策を打ち出し、ナノテクノロジー総合支援プロジェクト(RR2002)を2002年度から2006年度迄の5年間推進してきた。

ナノテクノロジープロセスファンドリー（以後ファンドリーと略す）はこの文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトの一環として、国内・学内外のナノテクノロジー研究を支援する共用施設として産業科学ナノテクノロジーセンター内に2002年8月に発足させ、このプロジェクトの最終年度である今年度（2006年度）迄に総件数180件の支援をしてきた。

ここでは、この5年間の支援活動について、その概要を紹介することにする。

2. 支援実績の概要

(1) 全国に14の共用機関と取りまとめ機関の合計15機関があるが、14の機関は①極微細加工・造形（5機関）、②超高压透過型電子顕微鏡（4機関）、③放射光（2機関）、④分子・物質総合合成・解析（3機関）の4グループに分かれ、ファンドリーは極微細加工・造形グループに所属してきた。

(2) ファンドリーの支援分野

①有機・無機薄膜形成支援

有機物、無機物、融点の高い材料や電極形成のための金属材料等を対象として、各種材料また各用途に最適な汎用性の高いシステムを用意し支援提供して

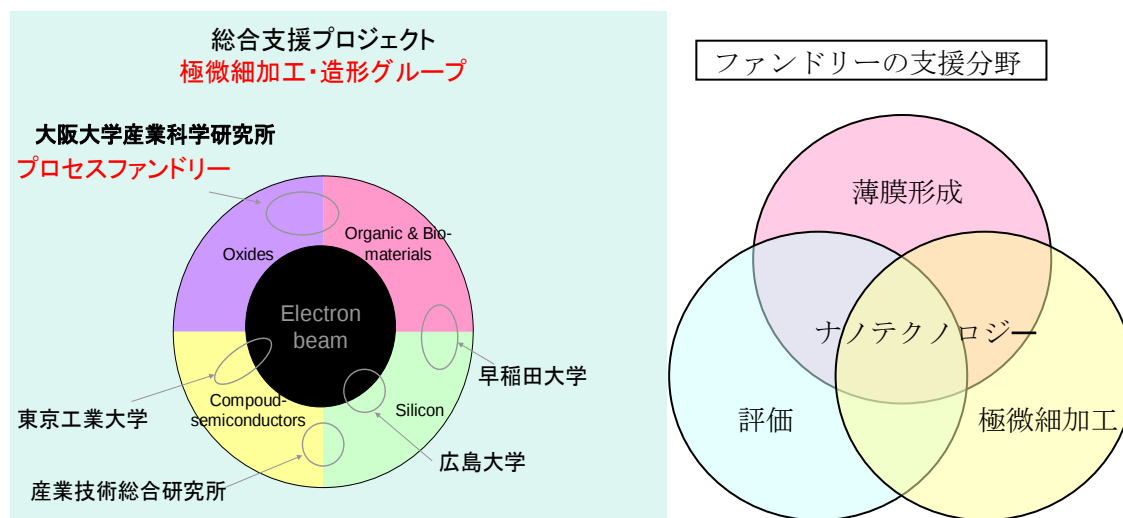
きた。

②有機・無機薄膜をデバイス化するための極微加工支援

酸化物薄膜や有機薄膜の機能を引き出すために必要な、基板上に極細パターン形成を行う装置を充実させ、薄膜材料の基礎物性から応用デバイスの観察や評価まで、広い範囲の要求に対応できるシステムを用意し支援提供してきた。

③有機・無機薄膜評価支援

薄膜作製とその機能評価を容易にするための装置を充実させ、希望する多種多様な実験を行うときに共通して必要となる機器も含め、要請に応えた評価システムを用意し支援提供してきた。



(3) 支援実績件数

支援依頼を受けると、全件について依頼先と支援希望内容等を摺合せ（技術相談）、支援の可能性があると判断した場合に“支援申込（125 件）”をして貰った。

支援申込の後に“支援採択（117 件）”となれば実際の支援形態別にカウントして、支援不採択（8 件）及び技術相談で終わった案件（55 件）についてののみ「技術相談（63 件）」としてカウントした。

	共同研究	施設利用	技術代行	支援合計	技術相談	総合計
H14年度	11	7	0	18	6	24
H15年度	12	13	1	26	22	48
H16年度	8	14	1	23	16	39
H17年度	12	10	0	22	11	33
H18年度	20	8	0	28	8	36
合計	63	52	2	117	63	180

	支援合計	申込合計	採択率
H14年度	18	24	75%
H15年度	26	28	93%
H16年度	23	23	100%
H17年度	22	22	100%
H18年度	28	28	100%
合計	117	125	94%

（注）支援採択率；支援申込件数に対する“支援採択”となった件数比率を指す。

		共同研究				装置利用				技術代行				技術相談				合計
		学	産	公	計	学	産	公	計	学	産	公	計	学	産	公	計	
H14年度	申込	7	5	2	14	6	1	2	9	0	1	0	1	-	-	-	-	24
	支援	5	4	2	11	6	0	1	7	0	0	0	0	-	-	-	-	18
H15年度	申込	6	5	2	13	11	3	0	14	0	0	1	1	3	16	1	20	48
	支援	6	4	2	12	10	3	0	13	0	0	1	1	3	16	1	20	46
H16年度	申込	5	1	2	8	7	4	3	14	1	0	0	1	0	14	2	16	39
	支援	5	1	2	8	7	4	3	14	1	0	0	1	0	14	2	16	39
H17年度	申込	8	1	3	12	8	1	1	10	0	0	0	0	3	7	1	11	33
	支援	8	1	3	12	8	1	1	10	0	0	0	0	3	7	1	11	33
H18年度	申込	13	5	2	20	5	2	1	8	0	0	0	0	0	8	0	8	36
	支援	13	5	2	20	5	2	1	8	0	0	0	0	0	8	0	8	36
合計	申込	39	17	11	67	32	11	7	55	1	1	1	3	6	45	4	55	180
	支援	37	15	11	63	36	10	6	52	1	0	1	2	6	45	4	55	172

(4) 平成18年度での新たな取組み

プロジェクトの極微細加工・造形グループ5機関は「集中講義」と「各機関の特徴ある実習」の2部制による「平成18年度人材育成スクール」を企画した。

平成18年9月19日&20日の「実習」を担当したファンドリーは9名を募集したが、企業から9名及び学部生1名と博士前期課程1名の計11名を受入れ、

①ITO薄膜の作製、②金薄膜の作製、③金電極の作製の3コースを開講した。

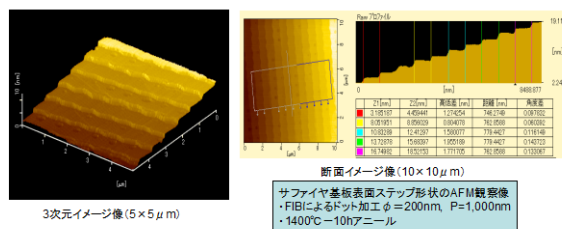
(5) 支援の例

3者連携による商品化目処への支援例

サファイヤ基板のナノステップ構造コントロール

並木精密宝石(株): F阪大H14-007, H15-010, H16-005, H17-002, H18-008

支援前に支援依頼元と東工大で取得した特許を基に、商品化するためのナノステップ構造作製の技術確立を3者連携により成し遂げた。



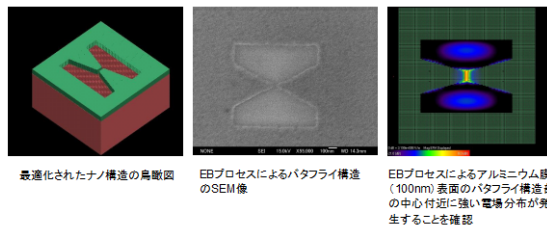
＜成果＞サファイヤ基板上にナノスケールでのテラスとステップを自在にコントロールして生成させる技術確立が出来たため、支援依頼元はAFM高解像度標準板としてAFMメーカーやユーザーに紹介を開始した。その他の期待できる用途のため支援は継続中。

他プロジェクト(NEDO)の目標達成への支援例

ガラス上金属パターンへのナノ構造作製および評価

ユニカミルタオプト(株): F阪大H15-020

支援依頼元がガラス基板上に蒸着した薄膜上に、ギャップ数十nmのパターンをFIBとEBとでシミュレーションに基づいた形状に加工。その出来映えをシミュレーションと比較評価をし、構造と加工方法に対する知見を深めた。



＜成果＞プロジェクトNEDOの「大容量光ストレージ技術の開発事業」の目標達成のため、困っている支援依頼元が抱える課題を解決するための支援(シミュレーションと実構造との結果比較)を果たした。

3. 今後の予定

5年間の支援業務の内容について、2004年の中間と2006年の最終との2回評価を受けたが、連携がスムーズであった極微細加工造形グループの他の4機関(産業技術総合研究所、早稲田大学、東京工業大学、広島大学)ともども評価結果は上々であった。評価委員会からはナノテクノロジー支援を平成19年度以降も発展的に継続することが支持され、現在文部科学省で多方面からの観点により鋭意企画されているが、ファンドリーとしてもこれまでのプロジェクトの実績を基にしてまた新たな取組み内容を追加して、次期プロジェクトに参画するための準備を進めている。

希望通り新プロジェクトに参画できたならば、学内外の研究者支援にこれまで以上に努めることができる体制となるので、引き続き利用頂ける機関を目指していく。

国際会議

1. Formation of aggregated radical cations of benzene and polystyrene in condensed phases. (poster), K. Okamoto, S. Seki, T. Kozawa, Y. Yoshida and S. Tagawa Gordon Research Conference (2006 GRC on Radiation Chemistry), ME, USA, Jun. 2-7, 2006.
2. Magnetic and Electric Properties of Fe-Doped ITO Thin Films. (poster), S. Kohiki, T. Ohno, T. Kawahara, M. Murasugi, H. Tanaka and T. Kawai International Conference on Magnetism (ICM-2006), Kyoto, Japan. Aug. 22-30, 2006.
3. Nanotechnology Process Foundry in ISIR for the Supporting of the Nanotechnology in Japan (poster), M. Murasugi, T. Kawahara, T. Ohno, Y. Matsui, K. Okamoto, and T. Kawai SISNN-2006, Suita, Japan, Sep. 19-20, 2006.

国内会議

1. Fe ドープ ITO 薄膜の室温における磁気特性と電気特性、大野隆裕、河原敏男、村杉政一、田中秀和、川合知二、岡田浩一、西祥生、古曳重美、2006 年秋季 第 67 回応用物理学会学術講演会、草津、2006. 8. 29-9. 1
2. ポリヒドロキシスチレンの分子内ダイマーラジカルカチオン、岡本一将、古澤孝弘、関修平、夏田健一郎、山本洋揮、田川精一、第 49 回放射線化学討論会高崎、2006. 10. 12-14

科研費、助成金等

川合 知二 文部科学省・受託研究(ナノテクノロジープロセスファクトリー)
「高度な極微細加工や観測・評価等の総合的な支援」
(新世紀重点研究創生プラン；RR2002)

オープンラボラトリー

吉田陽一（オープンラボ管理室長・ナノテクセンター専任教授）

吉田亮（オープンラボ管理室員・特任研究員）

法澤公寛（オープンラボ管理室員・特任研究員）

大橋佳代子（オープンラボ管理室員・事務補佐員）

<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/OpenLab/>

オープンラボラトリーは、物質・材料やデバイスを対象としたナノテクノロジーの科学技術発展の基盤となるべき、独創的、先進的な学術研究の推進を目的とした総合的研究に利用するものとし、平成 16 年 4 月より利用者の受け入れを開始した。

- ・ 本ラボラトリーを利用することができる者は、原則として産業科学ナノテクノロジーセンターの学内兼任教官及び客員教官並びに産業科学研究所に属する研究者グループ及び大阪大学のナノテクノロジー研究者のグループとする。
- ・ ナノテクノロジー研究推進を目的とする為、本ラボラトリーを使用することができる。利用期間は、原則として 1 年以上 3 年以内とする。ただし委員会が特に必要であると認めた場合は、2 年間を限度として利用期間の延長を認めることができる。
- ・ 利用面積は、1 申請当たり 200 m²を超えないものとする。
- ・ 利用する負担金は、年間1 m²当たり、20,000 円とする。
- ・ 研究実施に係る光熱水料等とクリーンルームに係る諸費用は使用する部屋に応じて利用者の負担とする。
- ・ 利用の申請があったときは、所長が本ラボラトリー利用専門委員会に諮り、委員会が適当と認めた者について利用を許可する。

以上の募集要項に従って 2004 年度より募集を開始して以来 3 年が経った。初年度の 2004 年度から利用者は大阪大学の理系全般にわたる 24 研究室、2005 年度は 28 研究室に増えました。2006 年度の利用者は、工学研究科、医学系研究科、生命機能研究科、微生

物病研究所、産業科学研究所、超高圧電子顕微鏡センター、ナノ推進機構所属の総計 28 研究室にのぼり、大阪大学のナノサイエンス・ナノテクノロジー研究の一翼を担う規模の施設へと成長することができました。2007 年 2 月現在、すべての実験室が稼動しており、大阪大学のナノサイエンス・ナノテクノロジー研究の一翼を担う規模の施設へと成長することができました。平成 18 年度の利用状況を次の表に示す。

オープンラボラトリー 平成 18 年度利用者リスト

平成 19 年 2 月現在

部屋番号	グループ名	研究課題	研究代表者	所属	利用終了時期
101	掛下研究室	ペロブスカイト型マンガン酸化物ならびに強磁性形状記憶合金の超高圧下における構造相転移	掛下知行教授	工学研究科	H20/3
102	山本研究室	磁性を有する超薄膜・ハイブリッド多層膜・高品位人工格子の材料開発とデバイス化	山本雅彦教授	工学研究科	H20/3
103-1	佐々木研究室	バルク GaN 完全結晶育成技術の開発ーナノ領域の完全性をマクロへ広げるー	佐々木孝友教授	工学研究科	H20/3
103-2	森（勇）研究室	ナノ構造制御高効率 UV 発光素子用半導体開発プロジェクト	森勇介助教授	工学研究科	H20/3
104-1	谷口研究室	ナノテクノロジーをもちいた糖鎖疾患学	谷口直之教授	微生物病研究所	H21/3
104-2	尾崎研究室	ナノ構造液晶の創成	尾崎雅則教授	工学研究科	H19/3
105	藤原研究室	ナノ構造制御による半導体／金属／絶縁体複合量子機能材料の創製	藤原康文教授	工学研究科	H21/3
108-1	物質基盤センター	物質基盤センターのナノサイエンス・ナノテクノロジーに関するプロジェクト研究	真嶋哲朗教授	産業科学研究所	H19/9
108-2	佐々木 藤原研究室	高次量子機能材料の創製とナノ物性評価	佐々木孝友教授 藤原康文教授	工学研究科	H23/3
109	森（博）研究室	三次元解析電子顕微鏡法	森博太郎教授	超高圧電子顕微鏡センター	H21/6
111	先端融合領域 イノベーション: ナノ材料グループ	生体ゆらぎに学ぶ知的人工物と情報システム	川合知二教授	産業科学研究所	H21/7
501 502-1 502-2 505 609	物質基盤センター	物質基盤センターのナノサイエンス・ナノテクノロジーに関するプロジェクト研究	真嶋哲朗教授	産業科学研究所	H19/9

部屋 番号	グループ名	研究課題	研究代表者	所属	利用終了時期
502-3	ナノテクノロジー・プロセスファウンドリー	ナノテクノロジー研究の総合支援（産学官連携）	村杉政一客員助教授	産業科学研究所	H20/3
503-1	増原研究室	ナノフォトニクスセンターのスタートアップ	増原宏教授	工学研究科	H19/3
503-2	生田研究室	近赤外スペクトルのケモメトリクス解析を用いたナノ計測診断技術開発 (ウイルス感染診断への応用)	生田和良教授	微生物病研究所	H20/3
506	先端融合領域イノベーション:ナノ材料グループ	生体ゆらぎに学ぶ知的人工物と情報システム	川合知二教授	産業科学研究所	H21/7
507	田川研究室	リソグラフィ技術の高度化に関する研究	田川精一教授	産業科学研究所	H19/3
513-1 513-2	川合研究室	1分子DNA解析システムの開発	川合知二教授	産業科学研究所	H20/3
513-3	山崎研究室	生活習慣病早期診断治療システムの構築	山崎義光助教授	医学系研究科	H20/3
601	大竹研究室	ナノテクノロジーを用いた生物反応場の解析と生産プロセス基盤技術開発への応用	大竹久夫教授	工学研究科	H19/3
602	ナノサイエンス・ナノテクノロジー研究推進機構	全学横断の大学院ナノ教育研究訓練プログラム	馬越佑吉教授	ナノサイエンス・ナノテクノロジー研究推進機構	H20/3
603	井上 和田研究室	外部刺激による機能制御能力を有するナノ組織体の創成	和田健彦助教授	工学研究科	H20/3
604 607	桑畑研究室	ナノ電気化学材料の創製と機能	桑畑進教授	工学研究科	H20/3
605	明石研究室	交互積層法によるナノ構造制御材料の開発	明石満教授	工学研究科	H19/3
606	黒田研究室	バイオナノカプセルを用いた癌治療用医薬品の開発	黒田俊一助教授	産業科学研究所	H20/12
610	小林研究室	極限ゲート構造によるシステムディスプレイの超低消費電力化	小林光教授	産業科学研究所	H22/10
	田川研究室	リソグラフィ技術の高度化に関する研究	田川精一教授	産業科学研究所	H19/3
611	吉田(博)研究室	先端計測・分析技術に関する調査研究	吉田博教授	産業科学研究所	H20/3
613 617	福井研究室	ナノメディクスを利用した新規医薬品の開発	福井希一教授	工学研究科	H20/3

来 訪 者 リ ス ト

平成19年1月29日	文部科学省 科学技術・学術政策局基盤政策課 人材政策企画官、同 基礎人材係専門職	NPO「青い銀杏の会」第4回大会出席に伴う阪大視察
平成19年3月23日	カナダ・Institut National de la Recherche Scientifique(INRS) Director general	フェムト、ナノ、バイオ研究に関する視察

<高 等 学 校>

平成18年4月25日	近畿大学附属東広島高等学校	進路指導の一環のため
平成18年6月29日	武庫川女子大学附属高等学校	スーパーサイエンスハイスクール指定校との連携のため
平成18年7月11日	宮崎県立宮崎南高等学校	PTA会員の家庭教育の充実、進路意識の啓発
平成18年7月18日	兵庫県立西宮北高等学校	先端科学技術分野の知識を深め、自然科学についての 興味・関心を高める。
平成18年7月13日	徳島県立富岡東高等学校	PTA会員の家庭教育の充実、進路意識の啓発
平成18年10月18日	島根県立松江東高等学校	スーパーサイエンスハイスクール指定校との連携のため
平成18年11月17日	奈良市立一条高等学校	サイエンスセミナーの受講のため
平成18年12月13日	韓国 漢城科学高等学校	海外体験研修として最先端の教育施設及び現況などを 見学(工、産研、蛋白研に分かれて見学)

事務補佐員

池田 恵 (いけだ めぐみ)

今年は学生も増えて研究室が一層楽しくなりましたが、12月から田畑先生が東大へ移られ、色々大変でした。

田畑先生をはじめ、産研の先生方や、客員教官として来て頂いた先生方にも大変お世話になりました。

本当にありがとうございました。

松下 美佐 (まつした みさ)

今年の4月から菅沼研究室の秘書としてお世話になっています。

ようやく仕事にも慣れ、これからは皆様のお役に立てるようがんばりますので、よろしくおねがいします。

寺下 美絵 (てらした みえ)

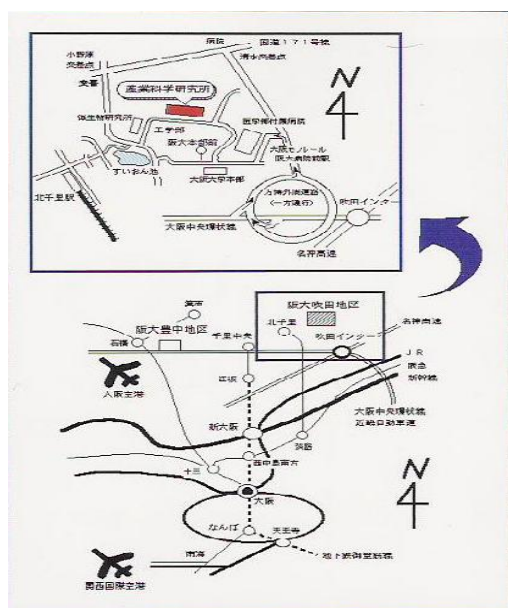
吉田研の秘書になって早4年が終わろうとしています。

今年こそはおっちょこちょいな性格をなおして、みんなから頼れる秘書と思われるようにがんばりたいと思います！

甲元 彩 (こうもと あや)

今年度4月よりナノテクノロジーセンターの事務補佐員としてお世話になりました。これまでたくさんのことを学ばせていただきましたが、ご迷惑のかけっぱなしになってしまったことが残念です。

一年間ありがとうございました。



編集後記

産業科学ナノテクセンターは発足以来 5 年が経過し、折り返し点？に到達いたしました。年次報告書をさかのぼってみますと、過去 5 年間で研究成果も蓄積され、残り 5 年間で更なる飛躍が期待できる内容となっております。

菅沼、周、岡島、谷口、古澤、大橋、甲元

大阪大学産業科学研究所
産業科学ナノテクノロジーセンター報告書
Vol. 5 2006

発行元：大阪大学産業科学研究所
産業科学ナノテクノロジーセンター
Tel & Fax: 06-6879-8518

URL: <http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/nano/index.html>

発行日：平成 19 年 3 月 31 日
印刷：セイエイ印刷（株）

■発行日 2007年 3月

■事務連絡先

大阪大学 産業科学研究所 産業科学ナノテクノロジーセンター
Nanoscience and Nanotechnology Center , ISIR , Osaka University

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘8-1

TEL:06-6879-8518

FAX:06-6879-8518

8-1 Mihogaoka,Ibaraki,Osaka 567-0047,Japan TEL:+81-6-6879-8518

URL: <http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/nano/index.html>