物質・材料研究の ークスルーの芽に出会う。

予稿集

社会ニーズに応える物質・材料研究

第9回 NIMSフォーラム 「京ビッグサイト 物質・材料の最先端研究と技術移転 階, 国際会議場

同時 開催

International Nanotechnology Exhibition & Conference Nano tech 2010 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議

大型展示ブース出 **2010. 2/17~19** 10:00~17:00 (東456市-U本会話地)

FORUN

http://www.nims.go.jp/nimsforum/

NIME

独立行政法人 物質・材料研究機構



独立行政法人 物質·材料研究機構 理事長 潮田資勝

独立行政法人 物質・材料研究機構 (NIMS) がどのような研究を行い、成果を生み出 しているかをより多くの方々に知っていただくため、平成13年のNIMS設立以来「NIMS フォーラム」を毎年度開催しています。

今年で9年目となる NIMS フォーラムでは、「社会ニーズに応える物質・材料研究」を キーワードに、NIMS における研究成果を広くアピールすること、特にその成果の普及・ 技術移転に重点を置き企画しています。

今回のフォーラムでは、午前は環境・エネルギー材料に、午後はナノテクノロジー研究、 最先端分析技術、バイオ研究に焦点をあてるとともに、産業総合技術研究所、筑波大学、 日本経済団体連合会とともに推進しておりますつくばナノテクノロジー拠点についても ご報告します。

昨年11月に、NIMSは文部科学省の「ナノテク材料を活用した環境技術開発プログラム」に応じて「ナノ材料科学環境拠点」を設立しましたが、本拠点についても「社会ニーズを実現する環境・エネルギー材料」のセッションでご紹介します。

隣接いたします Nano tech 2010 展示会場では、NIMS 独自のブースを設営し技術移転 の可能性のある新技術を中心に 40 枚以上のポスターと展示物を掲示し、具体的な研究成 果を研究者自身が紹介していますので、ぜひお立ち寄りいただきますようお願い申し上 げます。

プログラム

•

9:30 - 10:00	受付											
10:00 - 10:20	開会挨拶、NIMSの概要	理事長 潮田 資勝										
10:20 - 10:30	来賓挨拶											
10:30 - 12:10	社会ニーズを実現する環境・エネルギー材料											
	1) ナノ材料科学環境拠点と計算科学の可能性	大野 隆央 2										
	2) 色素増感太陽電池の高効率化	韓 礼元 4										
	3) 高性能二次電池を目指して	高田 和典 6										
	4) 水素製造および燃料電池に関わる材料の開発	西村 睦 8										
	5) ビスマス系高温超伝導線材高性能化と将来展望	北口 仁 10										
12:10 - 13:20	昼食 ───── 昼 ── 食 ─────											
13:20 - 14:00	環境浄化へのナノテクノロジーの適用											
	1) 多孔性ナノシートを用いて有機分子の超高速濾過を実現	ーノ瀬 泉 12										
	2) ナノ光触媒 -その可能性へのチャレンジ	葉 金花 14										
14:00 - 15:20	ナノテクノロジー研究の進展											
	1) 原子間力顕微鏡法による原子単位のナノ構造化	Oscar Custance ······ 16										
	2) プラズモンナノ共振器から生まれる新しい光機能	宮崎 英樹 18										
	3) 固有ジョセフソン接合 ー結晶に内蔵された超高速・超低消費電力・三次元集積素子	羽多野 毅 20										
	4) 単分子を識別・検出するナノプローブセンサーの開発	中山 知信 22										
15:20 - 15:40	·····································											
15:40 - 16:40	物質・材料研究ニーズに対応した最先端分析技術											
	1) 材料研究の懸案課題を打開する強磁場固体NMR	清水 禎 24										
	2) レーザーアトムプローブによる3次元ナノ組織解析	大久保 忠勝 26										
	3) 見えない半導体界面を可視化する -太陽電池から次世代半導体まで	関口 隆史 28										
16:40 - 17:40	バイオ研究の展開											
	1) 生体と調和する高分子と医用金属とのハイブリッドによる薬剤溶出性ステントの開発	田口 哲志 30										
	2) 配向連通多孔質アパタイト人工骨	末次 寧 32										
	3) バイオトランジスタによる生体分子認識の検出	宮原 裕二 34										
17:40 - 18:00	つくばナノテクノロジー拠点(NIMS・産総研・筑波大学・民間企業等連携)の報告	中村 和夫 36										
18:00	閉会											

nano tech 2010 出展ポスター

No.	カテゴリ	タイトル	発表者	頁
1		高性能燃料電池用固体電解質・電極材料の開発	森利之他	40
2		貴金属不要の水素製造用Ni ₃ AI 箔触媒材料の開発	許亜他	41
3		進化するメソポーラス金属材料	山内 悠輔	42
4		金属間化合物による排ガス清浄化	阿部 英樹 他	43
5	5 6 1. 環境・エネルギー材料・技術 7	1800メガパスカル級超高強度ボルトの開発	木村 勇次他	44
6		ウォームスプレー法による高機能コーティングの創製	渡邊 誠 他	45
7		発電用熱電材料の開発	篠原 嘉一	46
8		PZTを凌駕する非鉛圧電材料	任 暁兵	47
9	9 0 1 2	Optical Mesoporous Sensors for Ultra-Purification from Industrial Wastes	Sherif El-Safty	48
10		鉄系超伝導体 FeSe•FeTe	高野 義彦	49
11		新超伝導体の探索	室町 英治	50
12		ビスマス系高温超伝導線材高性能化と将来展望	北口仁	51
13	3 4 5 6 7	分子電気コード	杉安 和憲	52
14		異種分子で創る分子超格子	若山 裕	53
15		有機デバイス材料の開発	安田 剛	54
16		オール溶液プロセス自己形成プラスチック電子デバイス	塚越 一仁 他	55
17		パルスレーザーを利用した高分子ナノワイヤーの作製	後藤 真宏 他	56
18		単分子を識別・検出するナノプローブセンサーの開発	中山 知信	57
19	9 20 21 22 3. 光機能材料・デバイス	発光色を紫外ー可視で可変可能なナノ粒子の室温湿式調製と誘導化	白幡 直人	58
20		安全な小型遠紫外発光素子 – 新紫外発光材料 六方晶窒化ホウ素の実用化 –	渡邊 賢司 他	59
21		コロイドフォトニック材料	澤田勉也	60
22		カラー電子ペーパー	樋口 昌芳	61
23		ダイヤモンド深紫外線センサの開発	小出康夫他	62
24		透明高強度酸化物セラミックス	金 炳男	63
25		ナノシートの二次元結晶表面を利用した薄膜成長制御 – ナノシートシード法による配向制御・室温成長 –	柴田 竜雄 他	64
26		高い熱伝導性を有する絶縁複合材料への高純度BNナノ材料の大規模合成	支 春義 他	65
27		ナノイオニクス現象を利用したスイッチデバイスの創製	鶴岡 徹 他	66
28	4. ナノ構造体・ナノデバイス	ナノ粒界設計による機能性酸化物セラミックスの創製	吉田 英弘	67
29		次世代トランジスタ実現のための半導体ナノワイヤ	深田 直樹	68
30		Nanoporous Materials and their Multiple Functions	Ajayan Vinu	69
31		ナノ構造体の量子伝導特性の高精度解析	奈良 純 他	70
32		バイオトランジスタによる生体分子認識の検出	宮原 裕二 他	71
33		生きた細胞とマイクロ流路を利用した毒性センサ	谷口彰良他	72
34	34 5. バイオマテリアル・生体関連	細胞パターニングと薬剤放出制御のための光応答性材料	中西淳他	73
35		"自然から学ぶナノテクノロジー"研究クラスター	細田 奈麻絵	74
36	86	NIMSにおけるナノ材料の社会受容研究	宮澤 薫一	75
37		透過型電子顕微鏡用 高エネルギー分解能X線分析装置の開発	原徹	76
38	8 6 tt料其般ttag	先端電子顕微鏡による材料解析技術	木本 浩司	77
39	0. 小竹村坐置汉刚	先進技術を支える材料信頼性評価	緒形 俊夫	78
40		NIMSナノ材料開発の羅針盤としての先端量子ビーム大型施設	小林啓介他	79
41		CO。削減に役立つ超耐熱材料 - 高効率ジェットエンジンに向けて -	原田広史他	80
42	7 大型展示	CO。削減に役立つ超耐熱材料 - 発電ガスタービンの高効率化 -	原田 広史 他	81
43	/ · 八主成小	ナノ粒子 ー 固体の極限 ー	中谷 功	82
44		サイアロン蛍光体	広崎 尚登 m	83

第9回NIMSフォーラム

社会ニーズを実現する環境・エネルギー材料

1)ナノ材料科学環境拠点と計算科学の可能性

Innovative Center of Nanomaterials Science for Environment and Energy and Its Computational Science Approach

大野 隆央 Takahisa Ohno Ohno.Takahisa@nims.go.jp

Abstract

NIMS established the "Innovative Center of Nanomaterials Science for Environment and Energy" in 2009 to carry out "development of environmental technologies utilizing nanotechnology", which is a national project sponsored by MEXT. The Center is engaged in basic and generic research concerning materials that are relevant to environmental and energy problems, with focus on energy conversion systems that include photovoltaics, photocatalysts, rechargeable batteries and fuel cells. The Center's computational science-based approach will make a great contribution toward elucidating surface and interface phenomena that are the bases of the exotic functions of energy conversion systems.

1. はじめに

私たちが直面する環境問題は、人類が利用する エネルギーの総量が地球の許容量に近くなったこ とに起因している。豊かな生活を持続するために は、環境への負担を少なくする技術を開発するこ とが重要な課題である。このような状況の中、 2009年10月、文部科学省の「ナノテクノロジーを 活用した環境技術開発プログラム」において、 NIMS を中核とするオールジャパンの拠点形成を目 指す「ナノ材料科学環境拠点」計画が採択された¹¹ (Figure 1)。

ナノ材料科学環境拠点では、太陽光から出発す るエネルギーフローに関わる一連の材料技術、す



Figure 1. Outline of Innovative Center of Nanomaterials Science for Environment and Energy.

なわち、太陽光発電、光触媒、二次電池、燃料電 池のエネルギー変換システムをターゲットに、環 境・エネルギー問題を解決するための新しい材料 の創出に貢献する基礎基盤研究を行う。

この拠点では、従来の試行錯誤的な材料探索や ブラックボックス的なシステム特性評価から脱却 し、先端的な計算科学技術とその場測定技術を駆 使し理論と実験を連携・融合して、エネルギー変 換技術における共通課題である表面・界面現象の 理解と制御技術の確立を図り、環境・エネルギー に関する材料技術のブレークスルーに繋がる方法 論の普遍化を目指す。

2. エネルギー変換システムの共通課題

太陽光発電、光触媒、二次電池、燃料電池のエ ネルギー変換技術における課題解決のためには、 共通基盤課題として、システム内の電極、電解質 溶液、色素分子、燃料ガス等の異なる物質相から 構成される多様なヘテロ界面の構造と、そこで生 じる電荷移動、イオン拡散等の現象の理解と制御 が必要である。

例えば、Figure 2 に示すように、色素増感型の太 陽光発電では、色素分子の光励起により生成した 電子・正孔対が電荷分離し、電子は電極表面に移 動して外部回路を通って反対電極に移動しヨウ素 イオンを還元し、還元されたヨウ素イオンは電解 質中を移動して色素分子により酸化される。この 一連の物理・化学過程により光エネルギーが電気 エネルギーに変換される。燃料電池では、水素や 酸素等の燃料ガスが電極表面との間で電子をやり 取りして、燃料ガスの化学エネルギーが電気エネ



Figure 2. Fundamental mechanisms of energy conversion system.

ルギーに変換される。

このように、エネルギー変換システムにおいて 発現する機能は、表面・界面における光励起、電 子移動、電荷分離、原子・イオン移動等の多くの 物理・化学過程が関与するマルチスケール・マル チフィジックスな複雑現象である。システム内には、 電極表面、電極・電解質界面、分子吸着表面、固 液界面、ナノ複合体界面等の異なる物質・材料か ら構成される多様なヘテロ界面が存在し、それら 界面における物理・化学過程が連携して機能を発 現するが、現状では充分に理解されておらず、そ れが高性能材料開発の大きなネックとなっている。 表面・界面現象に関する深い理解とそれを制御す る技術なしには、エネルギー変換効率の飛躍的な 向上等のブレークスルーは困難である。計算科学 技術と先端解析技術を駆使し、理論と実験を連 携・融合することによって、表面・界面現象の理 解と制御技術の確立に取り組むことが重要である。

3. 計算科学の可能性

我々は、これまでに、物質・材料研究のための 計算科学技術を開発し、新規物性の解明や新規物 質の設計等を進めてきた^{2,3)}。この拠点では、第一 原理分子動力学法、時間依存密度汎関数法、 Phase-field法、マルチスケール手法等の計算科学 手法を開発・高度化することにより、ナノ表面・ 界面における構造、物性・機能を原子スケールか らメゾスケールまでマルチスケールに高精度に解 析・予測する計算科学技術を構築する。これによ り、Figure 3 に示すように、(1)ナノ表面・界面に おける電荷分離、電子移動、酸化還元等の"電子 ダイナミクス"、(2)原子・イオン拡散や触媒反応 等の"原子ダイナミクス"、(3)実材料のナノ組織 形成とナノ組織における原子の"マクロ・ダイナ ミクス"、を高精度に解析し、固液界面等を含む多



Figure 3. Computational materials science approach in the Center.

様なナノ表面・界面における物理・化学現象の機 構解明に貢献する。

具体的に、計算科学として取り組むべき研究課 題として、(1)太陽光発電材料と光触媒材料に対 しては、無機・有機界面、固液界面等のナノ表 面・界面における光励起、電子移動、電荷分離等 の電子的・構造的特性の解析、(2)二次電池材料 と燃料電池材料に対しては、遷移金属酸化物等の ナノ表面・界面、及びバルク内におけるイオン伝 導等の構造的・動力学的特性の解析を実施する。 次世代スーパーコンピュータに代表される高度な 計算機環境も活用して得られる信頼性のある解析 結果を基礎に、エネルギー変換システムに共通す る基礎原理である表面・界面現象の理解を目指す とともに、それに基づいた新材料の設計指針の構 築を図る。

4. おわりに

環境・エネルギー問題に取り組み、世界の持続 的発展に貢献することが、ナノ材料科学環境拠点、 及びその中核機関としての NIMS の使命である。 我が国のナノテクノロジー・材料分野の高い研究 ポテンシャルを結集し、国内外の研究機関や産業 界と連携し、トップレベルの研究者を集めたド リームチームで研究拠点を形成し、環境・エネル ギー問題の解決に挑んでいく。

- 1) ナノ材料科学環境拠点 Homepage: http://www.nims.go.jp/research/SeeMAT/index.html
- 2) NIMS 計算科学センター Homepage : http:// www.nims.go.jp/cmsc/
- イノベーション基盤シミュレーションソフト ウェアの研究開発プロジェクト Homepage: http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/riss/project/device/



2) 色素増感太陽電池の高効率化

Highly Efficient Dye-Sensitized Solar Cells

韓 礼元 Liyuan Han apvc@nims.go.jp

Abstract

Improved efficiency of dye-sensitized solar cells was reported based on an equivalent circuit model that was, first, proposed through an investigation of electrochemical impedance spectroscopy. It was found that the haze of TiO_2 films is a useful index when fabricating light-confined TiO_2 electrodes to improve short circuit current density. In addition, fill factor was improved through reduction of internal series resistance. The highest efficiency scores of 11.2% were achieved.

1. はじめに

地球規模での環境・エネルギー問題がクローズ アップされる中で、再生可能なエネルギーのひと つである太陽光発電が注目を集めている。シリコ ン太陽電池は既に商品化されているが、その発電 コストは従来型のエネルギー源と比較して高いと いう欠点を持つ。飛躍的な普及拡大を実現してい くためには、新材料を用いた低コスト次世代太陽 電池の開発が必要不可欠である。一方、酸化チタ ン(TiO₂)、増感色素、ヨウ素系電解質など、資源的 な制約が少ない廉価な材料で構成される色素増感 太陽電池は、高温・高真空プロセスを必要とせず、 大量生産に適した構造であることからモジュール の生産コストを大幅に下げる可能性を有している。 そのために低コスト次世代太陽電池の有力な候補 として位置づけられ、活発な研究開発が行われて いる。

色素増感太陽電池は、SnO₂ などの導電性透明電 極 (TCO 電極)、光を吸収する役割を担う増感色素、 増感色素が化学的に結合した TiO₂ などの多孔質半 導体電極、ヨウ化物イオン (Γ) およびトリヨウ化 物イオン (I₃⁻) を含む電解質溶液、白金または黒 鉛などの触媒機能を有する対極から構成されてい る (Figure 1)。

その動作原理は以下のように説明されている。 増感色素が光を吸収することで発生した光励起電 子は、TiO₂電極に注入され、TCO電極から外部回 路を通して対極に移動する。一方、電子を放出し て酸化状態にある増感色素は、電解液中の Γ から 電子を受け取り再生される。その際、 Γ は I_2 に酸化 され、さらには過剰の Γ との結合で I_3 の形になる。 対極表面に達した I_3 は対極からの電子によって還 元され Γ を再生する。このように、色素増感太陽 電池では、電子と正孔が別々の場所(TiO₂電極, 電解液)を移動して外部に取り出される。この機 構は、従来の pn 接合型太陽電池とは異なっており、



Figure 1. Structure and mechanism of dye-sensitized solar cells.

むしろ光合成の動作原理に似ている。

2. 研究成果の内容

色素増感太陽電池の効率を向上させるため、 我々はメカニズムの解明に着手した。交流イン ピーダンス測定に基づき、内部抵抗の解析を行っ た結果、Figure 2 に示す色素増感太陽電池の等価回 路モデルを提案した²⁾。

ここで、R₁、C₁は対極界面における酸化還元反応抵抗と電気容量成分、R₃、C₃は電解液中の電解 質の拡散抵抗と電気容量成分、Rh は主に TCO 電極の抵抗を示す。また、ダイオードと R_{sh} は TiO₂ / 色 素/電解液界面の電荷移動、定電流源(I_{ph})は光照



Figure 2. Equivalent circuit of dye-sensitized solar cells.

射による光励起キャリアをそれぞれ表す。

一方、太陽電池の性能からみると、太陽電池の 性能は短絡電流密度 (Jsc),開放電圧 (Voc)、お よび曲線因子(FF)の積によって表される。ここ で、等価回路の分析に基づく各因子の改善を行っ た。まず、FF を向上させるには、セルの直列抵抗 を低減しなければいけない。Figure 2 に示すように、 色素増感太陽電池の直列抵抗は R₁, R₃, R_hの三つ の抵抗成分から構成されている。そこで、我々は R₁, R₃, R_bの低減を検討した。まず、対極表面で の酸化還元反応を促進するべく、R₁と対極表面積 の関係を詳細に検討し,対極のラフネスファク ター(表面積/射影面積)を増大させることで R₁ を低減可能であることを見出した。また、電解液 部分の膜厚の減少により R₃を低減させると共に, TCO 基板シート抵抗の検討も行い、直列抵抗成分 を 1.8 Ω cm² まで低減(FF を約3%改善)するこ とができた(Figure 3)。

次いで、Jsc の改善には、①色素の光吸収量の増 大、②膜内の光路長の増大、の二通りの方法があ る。①において、エネルギーギャップの狭い色素 (長波長光に吸収のある色素)の開発が行われた。 ジケトナート Ru 錯体³⁾などの新規色素が合成さ れ、光波長感度領域は 900 nm までに伸ばした。

一方、②膜内の光路長の増大においては、我々 は、ヘイズ率という概念を色素増感太陽電池に初 めて導入し、多孔質 TiO₂ 電極内の光路長を評価し た。ここで、ヘイズ率は拡散透過光と全透過光の 比として定義される。Figure 4 に、増感色素として Black Dye を用いたセルの Jsc と、TiO₂ 電極の 800 nm におけるヘイズ率との関係を示す。ヘイズ率の 増大に伴い Jsc は増加していくことがわかった。

上記の改善により、変換効率 11.2 %を得ること ができた⁴⁾。



Figure 3. Reduction of series resistance.



3. 本研究の位置づけと今後の展開

シリコン系太陽電池と比べて、色素増感太陽電 池の変換効率はまだ低い。実用化するにはさらな る効率向上が非常に重要と考えられる。しかし、 シリコン太陽電池に比べ、色素増感太陽電池のメ カニズム(TiO₂中の電子輸送、固液界面の電子移 動等)は必ずしも解明されていない。今後、実用 化に向けて変換効率の更なる向上を実現していく ためには、上記のメカニズムの解明が重要である。 そのアプローチとして、①色素増感太陽電池の動 作原理の理解を深めること、②光吸収能の高い新 規色素材料や、ヨウ素系に替わる新規電解質など の各種材料の開発、③新規デバイス構造のデザイ ン⁵があげられる。

4. おわりに

今後、実用化に向けて変換効率の更なる向上を 実現していくとともに、大面積化,高信頼性を可 能にする製造技術開発が今後の研究課題である。 今後、これらの課題を解決するため、異分野の研 究者の参入や若い研究者の積極的な挑戦を期待し たい。

- B. O'Regan and M. Grätzel, *Nature*, **353**, 737 (1991).
- L. Han, N. Koide, Y. Chiba and T. Mitate, *Appl. Phys. Lett.*, 84, 2433 (2004).
- A. Islam, F. A. Chowdhury, Y. Chiba, R. Komiya, N. Fuke, N. Ikeda and L. Han, *Chem. Lett.*, 34, 344 (2005).
- Y. Chiba, A. Islam, R. Komiya, N. Koide and L. Han, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 45, L638 (2006).
- N. Fuke , A. Fukui, R. Komiya, A.I Islam, Y. Chiba, M. Yanagida, R. Yamanaka and L. Han, *Chem. Mater.*, 20, 4974 (2008).



3)高性能二次電池を目指して

Toward high-performance rechargeable batteries

高田和典 Kazunori Takada takada.kazunori@nims.go.jp

Abstract

Lithium-ion batteries are already used as power sources in portable electronics, and they are now expected to play an important role in helping realize a low-carbon society. It is anticipated that lithium-ion batteries will power electric vehicles, and further that smart grids equipped with high-performance batteries to stabilize interconnected power systems will be essential if introduction of renewable energies is to proceed. However, a drawback of lithium-ion batteries is a safety issue arising from their combustible organic electrolytes, which limits their energy densities and battery sizes. The most effective and fundamental solution to this problem will be the use of inorganic or ceramic electrolytes, which will pave the way to next-generation batteries.

1. はじめに

リチウムイオン電池は発売以来携帯電話やノー トパソコンの電源として用いられ、これら携帯電 子機器の普及にともない、現在の高度情報化社会 を支えるキーデバイスとなっている。

リチウムイオン電池が高性能二次電池と呼ばれ るもっとも大きな理由は、その高い起電力にある。 リチウムイオン電池登場以前に市販されていた二 次電池の起電力はほとんどが 1.2 V以下であるが、 水溶液の電解質を用いたこれらの二次電池では水 の分解電圧が起電力の限界となるためである。そ れに対してリチウムイオン電池では、水溶液では なく有機溶媒の電解質を用いる。そのために、高 い起電力を発生する電極活物質の使用が可能とな り、現状のリチウムイオン電池では水溶液電解質 系電池をはるかに超える4 V もの起電力を発生し ている。

このようにエネルギー密度の大幅な向上をもた らした有機溶媒電解質ではあるが、同時に有機溶 媒が可燃性の物質であるためにリチウム電池は本 質的に安全性の課題を抱えることとなった。その ために、リチウム電池では安全性を確保するため に余裕のある設計がほどこされ、数々の安全機構 が組み込まれている。しかしながら、携帯電子機 器が高機能化していくにしたがい消費電力が増大 していくと、このような電池のエネルギー密度を 低下させるフェイルセーフ設計をとることが困難 な状態となってきた。

NIMS ではこのような現状にかんがみ、リチウム イオン電池に絶対的な安全性を付与するために、 有機溶媒電解質に代えて不燃性のセラミックス電 解質を用いたリチウム電池を実現するための研究 を行っている。

2. 研究成果の内容

20世紀半ばに全固体電池の開発が開始されると、 全固体系の優れた資質をもつことが明らかとなり、 それを活かした電池の実現のため数多くの研究が 行われてきた。最初に取り組まれた課題は、当然 のことながら液体中に比べて動きにくい固体中で いかに高速でイオンを伝導させるかという点で あった。これらの研究は確実に実を結び、今日で は液体電解質に匹敵するイオン伝導度を有するい くつかの固体電解質が知られるようになっている。 しかしながら、電池内部における固体電解質の振 る舞いについての研究はほとんど行われてこな かった。

NIMSではいち早くこの課題に取り組み、特に電 極材料と固体電解質材料の界面における特異なイ オン伝導現象に着目することで、オールセラミッ クスの電池においても液体電解質を用いた市販リ チウムイオン電池と同等のエネルギー密度と出力 密度を達成した(Figure 1)¹¹。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

リチウムイオン電池はこれまで携帯機器の電源 として使用されてきたが、現在では環境・エネル ギー問題を解決し、低炭素社会を実現していくた めの新しい役割が期待されている。

環境・エネルギー問題の解決には、太陽光発電 や風力発電、さらには潮力発電などの再生可能エ ネルギーを積極的に導入するとともに、従来の化 石燃料を含めたエネルギー資源を高効率で利用し ていく必要がある。しかしながらこれら再生可能



Figure 1. Performance of solid-state battery.

エネルギーは、時間的変動の大きなエネルギーで あり、これらを接続することは電力系統を不安定 化する方向に働く。したがって、再生可能エネル ギーの大規模な導入には、電力系統を安定化する 二次電池の存在が不可欠である。またプラグイン ハイブリッド自動車や電気自動車をはじめとする 次世代クリーンエネルギー自動車の開発と普及は、 エネルギー資源の高効率利用を目指したものであ るが、電気自動車実現の鍵となるものも高性能二 次電池である。すなわち、これら低炭素社会実現 を目指した数々の施策の実現には、大型で高性能 な二次電池の存在が不可欠であり、その期待がか けられているものもリチウムイオン電池である。

ところが、ハイブリッド自動車用のニッケル-水素蓄電池を除くと、このような電池として現在 実証実験に使用されているものは、これまでに大 型化の実績のある鉛蓄電池やナトリウム硫黄電池 などである。充放電の繰り返し寿命や充放電効率、 さらには補器類を含めたランニングコストなどの 観点からみると、リチウムイオン電池がもっとも 高い性能を有していることは疑いないものの、電 池の大型化は可燃性の電解質量の増加と、放熱の 悪化による電池温度上昇の危険性の増大を意味し ており、高い水準で安全性を担保することが極め て重要な課題となっている。

さらに、電池が大型化するにしたがい改めてク

ローズアップされてくるものが、寿命の問題であ る。これらの用途の中でも比較的小型の部類に属 する車載用電池でも、何百というセルを接続した モジュールを用いることになり、頻繁に交換する ことはほぼ不可能となることから、10年以上の電 池寿命が必要とされている。固体電解質を用いた 電池の全固体化は安全性の課題のみならず、この ような電池の長寿命化に対しても一つの回答とな りうる。

電池の性能が徐々に低下していく原因として もっとも大きなものの一つが副反応である。電池 内部では、電解質の分解など本来の電池反応以外 の反応がいくらか起こっており、このような副反 応が電池性能の低下を引き起こす。特に起電力の 高いリチウムイオン電池に用いられる正極活物質 は高い酸化力をもつ材料が、一方の負極には高い 還元力をもつ材料が使用される。そのため、電解 質の酸化分解や還元分解などの副反応の起こりや すい系であるということができる。

このような副反応は電極表面で生じるため、副 反応が継続するには反応種が電極表面に供給され 続けなければならない。それに対して、固体電解 質中における拡散種はリチウムイオンに限られて いる。このことは、副反応が継続するための反応 種の供給が行われない、すなわち副反応が起こり にくく、電池寿命も長いものとなることを意味し ている。

4. おわりに

全固体電池の研究は、液体電解質系電池の性能 を全固体系の中でいかに達成するかを目標として 行われてきた。しかしながら、今後の電池にはさ らに高い性能が求められており、たとえば電気自 動車用電池で必要とされるエネルギー密度は現在 開発段階の車載用リチウムイオン電池の性能と比 べても7倍と言われている。このような性能を達 成するものがどのような電池であるかは予測だに しないが、未知の領域の多い固体系にも液体系を 超える可能性を秘めるものとしての高い期待がか けられている。

参考文献

1) N. Ohta, K. Takada, L. Zhang, R. Ma, M. Osada and T. Sasaki: Adv. Mater. 18 (2006) 2226.



4) 水素製造および燃料電池に関わる材料の開発

Development of Materials for Hydrogen Production and Fuel Cells

西村 睦 Chikashi Nishimura NISHIMURA.Chikashi@nims.go.jp

Abstract

Fuel cell technology will be the key to solving environmental and energy problems in the 21st century. There is, however, a host of technical problems that must be solved. If fuel cells are to see wide-spread application, it will be essential to develop cells that demonstrate high power and stability in an operational temperature range of 200 $^{\circ}$ C to 500 $^{\circ}$ C. Here, we have been striving to develop key materials for such fuel cells, including solid electrolytes and separators. We have also been developing materials for efficient and inexpensive hydrogen production, including fuel reforming catalysts and hydrogen purification membranes.

1. はじめに

この15年ほど、早い時期での燃料電池の実用化 を目指して、既存の固体電解質をベースにして高 出力化および低コスト化の取り組みが行われてき た。一方で、問題の起こりにくい温度域で作動す る燃料電池を実現する新しい材料開発というアプ ローチが始まっている。

2. 研究成果の内容

燃料電池材料センターが行っている「ナノ構造化 燃料電池用材料研究」(2006 年度~2010 年度)は、 まさにそのような材料を開発するためのプロジェ クトであり、200~500 ℃の中低温域で稼動する燃 料電池を実現する固体電解質やセパレータ材料お よび水素製造用の高機能材料を開発することを目 標としている¹⁾。材料の基礎に立ち返って(Back to the Basic)ナノ領域の微細構造、界面構造などを再 検討することで、イオン伝導度、触媒機能に与え る影響などを精査し、優れた機能を発揮する燃料 電池材料を開発する。これにより性能が安定して いて長寿命な燃料電池を実現させ、最初は遠回り になっても、将来的には真の普及につながる近道 と確信している。

研究分野として燃料改質用触媒、水素分離膜、 固体電解質・電極、セパレータの4つを設定し、4 グループを設置している。一般的な燃料電池や水 素製造材料には Pt や Pd など希少金属が多く使用 されているが、本プロジェクトでは、資源が比較 的豊富で環境負荷の小さい材料をベースにした 「元素戦略」²⁾に基づく材料開発を目指している。

燃料改質触媒としては低コスト、高効率の水素 製造を実現するため、Ni₃Al 基金属間化合物を採用 している。高温構造用金属間化合物として有名な Ni₃Al は加工性に難点があるが、一方向凝固などを 利用して延性化に成功し、数 10 ミクロンの薄さの 箔を得ることができた。その箔材料がメタノール やメタンの水蒸気改質に対して触媒活性が良いこ とを見出し、さらに酸とアルカリにより Ni リッチ の表面微細組織を生成することで低温での水素生 成触媒活性を大幅に向上している。

水素分離においては高純度水素精製を実現する 金属系水素分離膜を開発している。従来のPdに代 わる材料として、より水素透過性能が高く、Pdよ りはるかに資源豊富で採掘時の環境負荷が小さい V合金ベースの水素分離膜を開発し、その応用を 検討している。界面制御により水素透過流量の最 大化、溶接などによる構造体化および耐水素割れ 性の向上などに取り組み、高い水素透過流量と水 素同様に小さな気体分子であるHeすら透過させな い完璧な分離性能を実現している。 固体電解質としては、PEFC や SOFC における 中低温(200 ~ 500 ℃)稼動に注力している。従来 の PEFC は 80 ~ 100 ℃で稼動するが、より高温に することで白金の CO 被毒を減少させることがで きる。ナフィオン-ベンズイミダゾール系の有機無 機ハイブリッド膜を合成し、高速プロトン伝導経 路を導入することで 200 ℃でも高い伝導度を実現 した(Figure 1)。

SOFC ではセリア系電解質膜に着目している。イ オン伝導の低下要因となるドープドセリア中のマ イクロドメイン内部において酸素欠陥が秩序化し ていることを高分解能電子顕微鏡観察と欠陥構造 のシミュレーションを用いて明らかにした。パル ス通電焼結処理を用いて焼結条件を最適化して粒 径を均一化し、伝導の妨げとなるマイクロドメイ ンを減少させ、450 ℃において高い伝導度を実現し ている。



Figure 1. Proton Conductivity of organic - inorganic hybrid membranes.

電極触媒として、Pt/CeO2 複合電極により、希少 金属である Ru を用いずに従来電極の性能値を超え ることに成功している。

セパレータとしては、ニッケルフリーの高窒素 ステンレス鋼を用いて、ニッケルイオンが溶出し ないために耐食性が高く、かつ高強度で加工性に 優れた PEFC 用金属セパレータを開発している。

水素・燃料電池の分野では貴金属等の希少金属 を使うケースが多いが、このプロジェクトでは Ni の代わりに窒素、Pd の代わりに V、Ru の代わりに CeO₂を使うなど、どこにでもある元素や安価で豊 富な代替金属を採用している。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

材料内部や表面・界面の構造、機能に関してま だまだ分からないことが多い。ナノレベルでの分 析・解析・シミュレーションなどを駆使して、材 料の構造・機能を明らかにして材料が秘めた本来 の性能を引き出すことで、ブレイクスルーが達成 できると確信している。

4. おわりに

燃料電池は近年の活発な研究投資により、めざ ましい進歩を遂げた。しかし、残念ながら我々の 身近な存在にはまだなっていない。燃料電池がエ ネルギー・環境問題の切り札として活躍するため には、将来の普及につながるような基礎に返った 材料研究を継続的に行う必要がある。

- 1) http://www.fuelcellmaterials.jp/
- 2) 西村 睦, まてりあ, vol.46, no.8 (2007), p.539.



5) ビスマス系高温超伝導線材高性能化と将来展望

Progress of Bi-HTS (High temp. superconducting) wires and future applications

北口 仁 Hitoshi Kitaguchi KITAGUCHI.Hitoshi@nims.go.jp

Abstract

More than twenty years have passed since the first discovery of high-Tc superconductors (HTS). Today, HTS are showing potential that is truly expected to revolutionize energy conservation. The most important development toward realizing innovation using HTS will be to improve the current carrying capacity of HTS wires. We are continuing efforts in both fundamental HTS materials science and wire processing aimed at doubling the current carrying capacity of $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ wires from 200 A/mm² to 400 A/mm² in the coming 5 years. Such a development should enhance the potential and significance of HTS applications.

1. はじめに

超伝導は「究極の省エネルギー技術」とも言わ れている。超伝導状態では大きな直流電流を電気 抵抗ゼロ、つまりエネルギーのロスなしに流すこ とが出来ることから、電力のより有効な利用を通 じて省エネルギー(CO₂削減)に貢献することが 出来る。例えば、送配電による電力損失率は、世 界的にトップレベルの効率を有する東京電力(株) でも4.8%と報告¹⁾されており、損失電力量は151 億 kw /時に達している。

液体窒素による冷却で超伝導を簡単に実現できる 酸化物高温超伝導物質が発見されて 20 年以上が経 過した。発見された当時の「超伝導フィーバー」は 沈静化したが、我々は今も着実に材料開発を進めて いる。特に、NIMS で発見(1987 年)された、ビス マス系高温酸化物超伝導体[(Bi,Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x、 以下 Bi-2223 と記す]材料は、超伝導転移温度(こ の転移温度より低い温度で超伝導状態となる。)が 100K を越えており、地球環境問題への取り組みの 一環である省エネルギー技術の切り札になる可能性 をもっている。

電気を流す用途には、やはり、所謂「電線」の ような材料が最も適している。そのために、様々 な超伝導線材(一般的には超伝導物質の細いフィ ラメントを金属基体中に分散させた複合線材)が 開発されている。この線材が無限の電力を損失無 く運ぶことが出来れば夢のような話であるが、現 実は多くの制限が存在する。特に、十分に低い温 度に冷やさねばならないことと、超伝導状態で流 すことの出来る電流に上限(この上限を臨界電流 と呼ぶ。)のあることが大きな制約である。超伝導 材料の開発は、この制約への挑戦であり、より高い温度で使えること、より多くの電流を抵抗ゼロ で運べることを目指して研究・開発を進めている。

2. 研究成果の内容

超伝導線材の開発で最大の目標は臨界電流特性を 向上させることである。これまでの研究から、フィ ラメント内部の鱗片状 Bi-2223 粒子の配向が臨界電 流特性と大きな相関を示すことが判っている²⁾。 Figure 1 に示すように Bi-2223 結晶粒子の配向度を 向上させることで臨界電流特性が向上する。Figure 2 に示すように、現在までに液体窒素温度(77K) で 200A/mm²の臨界電流が得られるようになってい る。これは、加圧焼成法³⁾の確立や線材作製プロセ スの最適化を進めることで達成されてきた。



Figure 1. Relationship between current carrying capacity and Bi-2223 particle alignment.

3. 本研究の位置づけと今後の展開

Figure 2 で示したように、我々は Bi-2223 線材の

臨界電流を、今後5年で倍増させようと研究を進 めている。Figure 1で示した関係から、Bi-2223粒 子の配向度を上げることで特性の向上が期待でき る。微細組織の研究結果から Figure 3に示すよう に、超伝導フィラメント内部では析出した非超伝 導相の大きな粒子が周辺の Bi-2223 相粒子の配向を 激しく乱している。更なる特性向上のためには、 Bi-2223 粒子配向を阻害する非超伝導相の生成を完 全に抑制して超伝導相の配向度を向上させなけれ



Figure 2. History of current carrying capacity improvement in Bi-2223 wires.



Figure 3. Typical microstructure of Bi-2223 superconducting filaments and the principle of future improvement.

ばならない。しかしながら、Bi-2223酸化物は金属 元素だけでも5元系であり、生成反応経路は非常 に複雑で解明されておらず、非超伝導相生成抑制 のための材料科学的指針は明らかではない。その ため、我々は、材料科学・固体化学の基盤に立ち 返った系統的な基礎研究に着手した。この研究を 進めることにより、複雑な反応過程を解明し、そ れに基づいて理想とする微細組織に近づけること で大きな特性向上の実現を目指している。

4. おわりに

Figure 4 に、様々な分野における超伝導を応用し た機器の例を示す。「抵抗ゼロで電気を流す」とい う特徴に直結している電力・エネルギー分野だけ でなく、医療・ライフサイエンス、輸送、環境、 情報通信と幅広い分野で活躍が期待されている。 現在、商業化・市場化が最も進んでいるのは MRI (磁気共鳴画像診断装置)や NMR(核磁気共鳴分 析装置)である。今後は特に省エネルギー技術関 連分野(電力ケーブルをはじめとする電力機器他) を中心に活躍していくように期待が高まっている。 我々の開発した線材が幅広い分野の機器で活躍で きるよう、これからも着実に研究を進めていく。



Figure 4. Wide variety of expected applications of superconductivity

- 1)東京電力サステナビリティレポート 2008 デー タ集.
- 2) N. Ayai et al., European Conference on Applied Superconductivity, Belgium, 2007.
- K. Kobayashi et al., Physica C 426-431 (2005) 1132.



環境浄化へのナノテクノロジーの適用

1)多孔性ナノシートを用いて有機分子の超高速濾過を実現

Ultrafast Permeation of Organic Molecules Realized Using Porous Nanosheet

ーノ瀬泉 Izumi Ichinose Ichinose.Izumi@nims.go.jp

Abstract

In water treatment membranes, the treatment speed increases in inverse proportion to the thickness of the membrane. Therefore, the development of ultrathin water treatment membranes has been pursued worldwide. In this study, we succeeded in forming ultrathin protein-based membranes with a thickness of 30 to 100 nm. Because countless water flow paths with diameters of approximately 2 nm are formed in the membrane, water can pass through the membrane at an extremely high speed, while organic molecules larger than 1.5 nm are completely rejected. It is therefore possible to concentrate an organic dye (protoporphyrin) at a rate of 6,000 L/h-m²-bar using a film of 60 nm. This filtration rate is approximately 1000 times faster than that of commercial ultrafiltration membranes with similar separation properties.

1. はじめに

圧力駆動の水処理プロセスでは、膜の厚みに反 比例して処理速度が向上する。しかし、水の高速 透過を実現するには、大きな透過流束に耐える極 薄かつ丈夫な多孔膜が必要となる。当機構では、 フェリチンという球状タンパク質を用い、30~100 nmの薄さの大面積多孔性ナノシートを製造するこ とに成功した。開発されたナノシートは、市販の 限外(または、ナノ)濾過膜と比較して約1000倍 の速度で有機分子を濾過できる。さらに、製造コ ストも低く、幅広い分野での実用化が期待できる。

2. 研究成果の内容

NIMS では、表面が著しく正に荷電したナノスト ランドと呼ばれる極細のファイバーを開発してい た。ナノストランドは、銅や亜鉛やカドミウムの 硝酸塩の水溶液にアルカリを加え、pH を中性付近 にすることで形成する。水酸化カドミウムのナノ ストランドは、直径 1.9 nm、長さが数 µm の極細 のファイバーであり、その表面の3分の1のカド ミウム原子が正荷電を帯びている(文献1と2を 参照)。ナノストランドの水溶液にフェリチン(直 径12 nm)の水溶液を加えると、負に荷電した フェリチンがナノストランドに沿って直線的に自 己集合する。これをフィルターで濾過して不織布 を形成し、フェリチンを化学的に架橋し、さらに 希塩酸でナノストランドを洗浄すると、球状のタ ンパク質が強く結合した多孔性ナノシートが得ら れる。

この製造方法では、予想以上に丈夫な大面積の

自立膜が形成できる。例えば、薄さ30 nm、直径7 cmのサイズでも、水処理膜に要求される力学的強 度をもつ。ヤング率の測定から多孔性ナノシート がナイロンに匹敵する強度(弾性率:4.4 GPa)を もつことが明らかとなっている(文献3と4を参 照)。

開発された多孔性ナノシートの断面の走査電子 顕微鏡写真を Figure 1 に示す。フェリチンは、球 状の構造を保っており、ナノシートの内部には多 くの隙間が形成されている。その空隙率は、含水 率の測定から 27 %と見積もられた。フェリチンの 間に形成された隙間は、水が透過するのに適して いるが、1.5 nm 以上の有機分子は通過することが できない。これは、3 つのフェリチンに挟まれた部 分が狭くなっているためである。

厚みが 60 nm の多孔性ナノシートにおける水の 透過量は、9000 L/h·m²·bar であった。この値は、



Figure 1. Cross-sectional SEM image of ultrathin proteinbased membrane.



Figure 2. Schematic illustration of protein-based membrane (a, b) and the top-view TEM image (c).

同様な分画分子量をもつ限外濾過膜と比較して約 1000 倍大きい。水の透過量は、前後の圧力差に比 例して大きくなることが、20 ~ 100 kPa(100 kPa は1気圧に相当)の間で確認されている。また、 透過量は、ナノシートの厚みに反比例して増大す る。

水の高速透過は、ハーゲン・ポアズイユの式で 解析できることが確認された。多孔性ナノシート の内部の細孔は2nm程度であるが、巨視的な流体 力学の式で議論することができるのである。一方、 流束からナノシートの厚みを推定すると、実際の 厚みの10分の1の値となった。即ち、60nmのナ ノシートでは、その実効厚みが5.8nm以下と考え る。水は、3つのフェリチンに挟まれた部分でのみ 抵抗を受けているのであろう(Figure 2)。

多孔性ナノシートは、プロトポルフィリンなどの1.5 nmより大きな色素分子を6000 L/h・m²・barの速度で濃縮できる(Figure 3)。即ち、ナノ細孔が色素分子によって塞がれることはない。このような超高速の濾過は、シクロデキストリンなどの中性の有機分子でも確認された。多くの濾過実験



Figure 3. Concentration of protoporphyrin in feed solution.

から、有機分子の阻止率がサイズや形状、コン フォメーションなどに顕著に影響を受けることが 分かった。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

多孔性ナノシートの特許は、旭化成クラレメ ディカル株式会社に実施許諾されており、血液浄 化用フィルターを目指した共同開発が進行してい る。NIMSの水処理膜は、人工透析システム以外に も、食品や化粧品の製造、飲料水や工業用の洗浄 水の製造など、幅広い膜分離プロセスに利用され るであろう。特に、タンパク質や酵素の濃縮は、 今後の有望な応用分野と位置づけられる。

4. おわりに

試薬級のフェリチンは、1 グラム 95 ドルで市販 されており、ナノ膜に必要なフェリチンの価格は、 1 m² あたり 750 円と計算されている。フェリチン は、大腸菌を用いて大量に製造することもできる。 このためナノシートの製造コストは、実用化の大 きな障害にはならないであろう。さらに NIMS で は、安価な高分子材料を用い、高速の水処理膜や ガス分離膜を製造するための多くの新技術が研究 されている。本講演では、環境・エネルギー分野 に役立つナノ分離膜に関し、NIMS の最新の研究を 紹介する。

- 1) I. Ichinose, J. Huang and Y. -H. Luo: Nano Lett. 5 (2005) 97.
- 2) ーノ瀬泉:現代化学 450 (2008) 49.
- X. Peng, J. Jin, E. M. Ericsson and I. Ichinose: J. Am. Chem. Soc. 129 (2007) 8625.
- X. Peng, J. Jin, Y. Nakamura, T. Ohno and I. Ichinose: Nature Nanotechnology 4 (2009) 353.



2) ナノ光触媒-その可能性へのチャレンジー Nano Photocatalytic Materials – Possibilities and Challenges –

葉 金花 Jinhua Ye Jinhua.YE@nims.go.jp

Abstract

It has long been hoped that nano photocatalysis—which is an ideal "green" technology for decomposition of hazardous chemicals and generation of hydrogen from water using semiconductors and solar light—will play a strong role in sustainable human development. The photocatalyst TiO₂, which was long looked to with anticipation, is practically limited in application to outdoor environmental remediation due to its large band gap. Consequently, in order to construct an efficient photocatalysis system for both indoor environmental remediation and solar energy conversion, it will be essential to utilize photocatalysts with high visible-light sensitivity in order to effectively utilize the largest component of the solar spectrum and indoor illuminations. In NIMS, we have been striving to develop new visible-light-responsive photocatalysts with tailored properties through energy band engineering. We will introduce and discuss our approaches and recent achievements.

1. はじめに

光触媒材料は、光照射によって励起された電 子・ホールの酸化還元作用で有害化学物質を分 解・除去、さらには水を分解して水素を生成でき る材料である。常温で太陽光エネルギーのみを利 用して反応が進むため、新たな環境への負荷も少 なく、新エネルギー創製技術&環境保護技術とし て大変注目されている。しかし、既存の酸化チタ ン光触媒材料は紫外光にしか活性を示さないため、 応用範囲及び市場規模の拡大を制約している。飛 躍的な市場拡大を実現するためには、太陽光や室 内照明光をより有効に利用できる可視光応答型光 触媒の開発が必要不可欠である。また、ナノテク を駆使した高機能化研究も重要な鍵を握っている。 本講演では本研究センターにおける新規ナノ光触 媒材料の開発に関する最近の取り組み及び成果を 紹介する。

2. 研究成果の内容

2.1 新規可視光応答型光触媒の開発

従来の可視光化研究は紫外光応答型酸化チタン 材料の改良(異種金属元素或いはアニオンのドー プ等)を中心に行われてきたが、格子欠陥を伴う ため、光照射で生成した正孔と電子のトラップ・ 再結合中心となりやすく、大幅な活性向上が期待 できなかった。

より高機能な光触媒材料を求め、我々は酸化チタ ンの枠組みに囚われない、新規複合酸化物光触媒材 料の開発に取り組んできた。理論計算を導入しなが ら、構成元素の価数、外殻電子配置、スピン状態、 結晶場の影響などを総合的に考慮し、特にキャリア の移動度に深く関連する軌道の局在性について検討 した上で、材料設計・開発を行っている。その結果、 可視光照射下において水及び各種有機有害化学物質 を分解できる新規光触媒材料の開発において幾多の 成果を収めた¹⁻⁵⁾。その一例として固溶体合成法に よって作製し、優れた活性を示す可視光応答型光触 媒(Ag_{0.75}Sr_{0.25})(Nb_{0.75}Ti_{0.25})O₃について紹介する。

固溶体合成法は、二種類以上の酸化物半導体を 原子レベルで溶解させる方法である。この方法は、 母物質である個々の酸化物半導体の電子構造を光 触媒反応用に最適化することが可能であり、個々 の母物質では実現されない特性が得られる点で興 味深い。また、ドープ等の手法で見られる活性低 下を引き起こす欠陥準位の抑制の観点からも有望 な手法と考えられる。今回我々は、第一原理計算 の結果を参考に、ペロブスカイト系酸化物 SrTiO。 と AgNbO。を母物質として選択し、この両者の固 溶体は適量な可視光を吸収しながら、有機有害物 質の分解に十分なポテンシャルを有すると予測し た。

合成した固溶体材料 (AgNbO₃)_{1×} (SrTiO₃)_xを調 べた結果、AgNbO₃の成分が増えることに伴い、バ ンドギャップが徐々に狭くなり、固溶体の吸収端 が長波長側にレッドシフトすることが分かった。 また、シックハウス症候群の原因物質であるアセ トアルデヒドの酸化分解実験を試みた結果、母物 質である SrTiO₃ や AgNbO₃ と比較すると、固溶体 ではいずれも活性が優れていることが明らかに なった。なかでも、前者を 25 %、後者を 75 %含 む固溶体半導体 (AgNbO₃)_{0.75} (SrTiO₃)_{0.25} が、最も 優れた性能をもつ可視光応答型光触媒となること が判明した (Figure 1)。また、この固溶体光触媒 材料は、従来最も活性が高いとされている窒素 ドープ型酸化チタンと比べ、比表面積が数十分の1 しかないにもかかわらず、活性が 3 倍以上も高く、



Figure 1. Photocatalytic decomposition of CH_3CHO over $(AgNbO_3)_{0.75}(SrTiO_3)_{0.25}$ photocatalyst under visible light irradiation.

非常に有望な可視光応答型光触媒材料であるとい える。今後合成方法にナノテクノロジーを利用し、 超微粒子化による比表面積の大幅な増大を図るこ とによって飛躍的な性能改善も可能であり、室内 での環境浄化への用途も開けることが期待できる。

2.2 ナノテク応用による高機能化

光触媒反応が材料表面で行われるため、ナノテ クを駆使した高比表面積化、高結晶性化が極めて 重要である。我々は微粒子作製技術の開発にも積 極的に取り組み、様々な成果をあげてきた⁶⁻⁷⁾。そ の一例として、WO₃光触媒材料の形態制御による 高機能化について紹介する⁶⁾。

Figure 2 に、溶液法を用いて作製した中空構造を 有するナノ多階層構造 WO₃ 光触媒を示す。前駆体 材料の選択および合成条件の最適化を行うことに よって、枝状、ダンベル状、球状などの中空構造 WO。が得られた。なお、中空構造の壁の厚さはい ずれも 250nm 前後である。透過型電子顕微鏡を用 いて調べたところ、どの形態の材料においても表 面は格子欠陥の少ない(020)ナノ板状 WO₃単結晶 (サイズ: 10nm x 100nm x 100nm) によって構築さ れていることが分かった。このようなナノ構造を 有する材料は一般的に良い結晶性、高い比表面積、 さらには高い光透過性が期待できる。光触媒反応 のプロセスから考えると、結晶性の良い微粒子は 格子欠陥が少なく、光励起キャリアの移動に有利 なだけではなく、移動する距離が短縮する分、表 面へ辿り着く確率を上げる。また、高い比表面積 は、表面での酸化・還元反応における反応活性点 を増やすことになる。さらに、中空構造は光の透 過を容易にする。これらの特性が総合的に作用し た結果、中空構造における光触媒材料の活性が、 色素分解ならびに気相有害物質 IPA 分解のいずれ においても、市販の WO₃ 材料より大幅に向上する



Figure 2. SEM image of nano-structured WO₃.

ことをもたらした。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

光触媒科学やその関連産業が更なる発展を遂げ るためには高感度な可視光応答型光触媒材料の開 発が重要な鍵を握っている。本研究はその目的を 実現する上で非常に重要な取り組みである。今後 は理論計算を取り入れた材料設計・創製を行うと 共に、表面・界面での酸化・還元反応経路の解明、 メソポーラス材料などの吸着材料との複合化を行 うことによって、光触媒性能の飛躍的な向上を 図っていく予定である。室内環境浄化への応用を 目指す。

4. おわりに

光触媒材料は、低負荷型浄化技術として、環境 保全分野への応用に広がりを見せる一方、太陽光 エネルギーを化学エネルギーに変換・貯蔵する 「人工光合成技術」としても多大な可能性を秘めて いる。水から水素燃料を製造したり、二酸化炭素 をメタンなどに還元・資源化するなど、まさに夢 のような技術を提供することも可能である。持続 可能な社会の実現に向けて、我々の挑戦は続く。

- Z. Zou, J. Ye, K. Sayama and H. Arakawa, *Nature*, 414, 625, 2001
- J. Tang, Z. Zou, J. Ye, Angew. Chem. Int. Ed., 43, 4463, 2004.
- D. Wang, T. Kako, J. Ye, J. Am. Chem. Soc. 130, 2724, 2008
- S. Ouyang, N. Kikugawa, Z. Zou, J. Ye, *Appl. Cata.* A: General, 366, 309, 2009.
- X. Li, N. Kikugawa, J. Ye, Adv. Mater., 20, 3816, 2008.
- 6) D. Chen, J. Ye, Adv. Fun. Mater., 18, 1922, 2008.
- 7) Y. Bi, and J. Ye, Chem. Comm., 6551, 2009.



ナノテクノロジー研究の進展

1)原子間力顕微鏡法による原子単位のナノ構造化

Atom-by-atom nanostructuring with atomic force microscopy

クスタンセ・オスカル Oscar Custance CUSTANCE.Oscar@nims.go.jp

Abstract

During the last 20 years, the manipulation of atoms and molecules at surfaces has allowed the construction and characterization of model systems that could act as building blocks for future nanoscale devices. The majority of these works have been performed with scanning tunneling microscopy (STM) at cryogenic temperatures. Recently, we have shown that another scanning probe technique, the atomic force microscope (AFM), is also capable of positioning single atoms even at room temperature. Here, we present two approaches to create atomic patterns, one atom at a time, on semiconductor surfaces with the AFM.

1. はじめに

STM (走査型トンネル顕微鏡) または AFM (原 子間力顕微鏡) のいずれかによる原子操作は、原 子や分子による機械を創出するために必要な技術 の開発に役立っている。これまでのところ、将来 のナノスケールデバイスの構成単位の振る舞いや 特性、考えられる機能性などについての知見を向 上させるためのモデルシステムの創製には、STM が優れたツールとして使用されてきた。なかでも、 原子ワイヤの初期形成の観察や、電極と単一分子 の接触が分子固有の特性に及ぼす影響の研究、 個々の分子による基礎的な計算などは、この流れ における重要な功績の一例である。

最近、AFM によって個々の分子を位置決めでき るのではないかという可能性から^{1,2)}、物質の操作 における能力に新たな展望が開かれた。まだ初期 段階ではあるが、AFM による原子操作に、科学や 技術に関わる新事業への極めて大きな潜在的可能 性が見いだされている。AFM は、他の機能の中で も特に、バルク絶縁材料の表面に原子や分子の配 列を創出し、金属や半導体基板の影響から切り離 した、これらの配列に固有の特性を探求すること が可能である。

2. 研究成果の内容

我々は、室温でも、表面での原子操作に AFM を

適用できることを実証した。Figure 1aに、ゲルマ ニウム表面に組み込まれた個々のスズ原子を横方 向に操作することにより、初めて AFM を用いて創 出した原子パターンを示す^{2,3)}。これらの原子操作 は、表面における異なる原子種を、制御下におい て面内協調交換させることによって行なったもの である。AFM 探針の最先端部に位置する原子と、 表面のスズおよびゲルマニウム原子の原子間力を 調整することにより、これらの原子の面内交換拡 散の自然エネルギー障壁を、室温でプロセスの熱 活性化を実現できる閾値以下に軽減することが可 能である。さらに、探針の横方向への走査によって 表面に生じる指向性がこのプロセスを支援する^{2,4)}。

一方、表面と垂直な方向においても、これと同 様の状況が起こるものと推測することができる。 AFM 探針を徐々に表面に近づけていくと、最も近 接した探針先端原子と表面原子の交換を阻害する エネルギー障壁が、室温でプロセスを活性化でき る値以下になるような相互作用の閾値が存在する はずである。我々は最近、AFMを用いることによ り、シリコン基板の最上面に成長したスズ原子の 単一原子層において、この垂直の原子交換による 単原子操作メカニズムを特定した^{2.5)}。この表面で は、スズ層の平面に無作為にシリコン欠陥(Figure 1b および 1c のコントラストの減少した突起物)が 分布しているのがわかる。我々は、同じ原子表面



Figure 1. (a), Atomic design created at room temperature by producing the concerted lateral interchange between substitutional tin atoms (higher protrusions) and germanium atoms populating the $Ge(111)_c(2 \ge 8)$ surface using an AFM^{2,3)}. (b) and (c), Process of `writing with atoms' using AFM at room temperature. By producing controlled vertical interchange manipulations between the outermost atoms of the AFM tip and the atoms at a semiconductor surface it is possible to write atomic patterns at surfaces (b), as well as to erase motives by removing atomic impurities^{2,5)}.

上の位置に、スズとAFM 探針から生じるシリコン 原子を連続して交互に堆積させることにより、「原 子による」書き込みを行なえることを実証した。 すなわち、シリコン原子を連続的に堆積させ (Figure 1b)、その後にスズを堆積させてマーカー を取り除くことにより (Figure 1c)、原子のパター ンを創出することが可能である。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

AFM を用いた研究には多くの有望な用途があ り、原子スケールでの操作は確実に中枢的なツー ルになるものと思われる。特に、磁気的相互作用 の特性評価⁶⁾ やスピン検出⁷⁾、個々の原子の電荷状 態の特性評価⁸⁾、分子内の化学的分解能⁹⁾、単一原 子の化学的同定¹⁰⁾ などにおける近年の進展を AFM の原子操作機能と組み合わせることにより、高い 将来性が期待できる。

AFM による原子操作を伴うこれらの多くの用途 のうち、最も有望なのは、電気伝導が可能な場合 のトンネル電流と、探針-表面間の相互作用力を 同時に測定し、相関付けられるのではないかとい う期待である。最も基本的な特徴となりうるこの アプローチにより、STM では見えないが AFM で は見える、あるいはその逆の構造を同定すること が可能になるのである。

4. おわりに

本稿では、AFM を用いることにより、表面にお いて原子ごとに複雑な原子構造を創出できること を実証した。AFM による原子および分子操作の潜 在的可能性は、同様にこの手法を用いて個々の原 子の化学的同定を実現できる可能性によってさら に大きくなる¹⁰⁰。このような機能により、一度に 一原子ずつ、固有の機能を持つ異種原子構造を創 出することができる。

本研究の共同研究者である大阪大学の森田清三 教授と阿部真之博士、杉本宜昭博士には特に感謝 を申し上げる。

- O. Custance and S. Morita, *Science* **319**, 1051 (2008).
- 2) O. Custance, R. Perez and S. Morita, *Nature Nanotechnology* **4**, 803 (2009).
- Y. Sugimoto, et al., Nature Materials 4, 156 (2005).
- Y. Sugimoto, et al., Phys. Rev. Lett. 98, 106104 (2007).
- 5) Y. Sugimoto, et al., Science **322**, 413 (2008).
- 6) U. Kaiser, et al., Nature 446, 522 (2007).
- 7) D. Rugar, et al., Nature 430, 329 (2004).
- 8) L. Gross, et al., Science **324**, 1428 (2009).
- 9) L. Gross, et al., Science 325, 1110 (2009).
- 10) Y. Sugimoto, et al. Nature 446, 64 (2007).



2) プラズモンナノ共振器から生まれる新しい光機能

Novel optical functions originating from plasmon nanocavities

宮崎 英樹 Hideki T. Miyazaki MIYAZAKI.Hideki@nims.go.jp

Abstract

Engineered metallic surfaces on which rectangular nanotrenches are engraved exhibit novel optical functions that do not stem from the original materials. In this discussion, we demonstrate drastic enhancement of various optical properties originating from plasmon resonances in gold nanocavities. We have observed enhancement effects of Raman scattering and photoluminescence in an array of few-nm-wide and several-tens-nm-deep cavities. Controlled enhancement of Raman scattering is promising for sensitive detection of biomolecules without fluorescent markers. As the reverse process of absorption enhancement, heated nanocavities exhibit enhanced thermal emission. Infrared emitters based on this principle can be applied to environmental analysis such as CO_2 concentration measurement.

1. はじめに

材料の光学特性は構成元素だけで決まるもので はなく、光の波長(数100nm~数µm)よりも小 さな幾何学的構造(数nm~数100nm)によって 人工的に改変できることがわかってきた。プラズ モニクスは、適切に設計・作製した金属ナノ構造 により表面プラズモンを制御して、特異な機能を 持った光材料・デバイスを創出する技術である¹⁾。 表面プラズモンとは、金属表面に局在する、光と 自由電子プラズマが絡み合った波で、特に銀や金 の表面を効率良く伝搬する。本講演では、光を表 面プラズモンの形で小さな空間に閉じ込めるプラ ズモンナノ共振器から生まれる光機能について紹 介する。金属表面に多数のプラズモンナノ共振器 を作り込むと、その表面は元の金属とは性質の異 なる人工材料として振る舞い、様々な光学現象を 強めるようになる。その増強度は、多くの場合、 数桁に及ぶ(数%の向上や数倍という程度ではな V>!).

2. 研究成果の内容

金属壁面に挟まれた溝は、光を表面プラズモン の形に変換して伝搬させる導波路として働く。溝 を伝搬する表面プラズモンの波長は、溝の幅が狭 くなるほど短くなる。ある深さで行き止まりにし た矩形溝は、終端部と入り口での伝搬波の反射に より、表面プラズモンの1/4波長共振器となる (Figure 1)。厳密な設計は Maxwell の方程式を解い て行うが、簡潔に言うと、入射端での電場の強さ は溝の幅で、共鳴波長は溝の深さで決まる。我々 は、化学的な安定性から金を素材として選び、そ



Figure 1. Structure of the nanocavities arrayed on a gold surface and their fundamental mode (E : electric field).



Figure 2. Plasmon nanocavity array for enhanced Raman scattering (W = 7nm, D = 39nm, P = 157nm, 10 periods).

の表面に配列した矩形溝型ナノ共振器の応用を模 索している²⁾。

ラマン散乱はスペクトルの形から物質を同定で きる強力な分析手法であるが、効率が極めて低く、 通常は微量物質の検出には利用されない。しかし、 励起光に共鳴するナノ共振器の電場極大点に対象 分子を配置すると、ラマン散乱光は10桁かそれ以 上増強され、単一分子検出すら可能になる³³。従来 のラマン散乱増強は、銀や金のナノ粒子凝集体中 に偶然に形成された共振器に依存してきたが、よ く制御された均質な共振器を基板表面上に多数配 列できれば、重要な分析ツールとなる。Figure 2 は 試作中の共振器配列体で、ナノサイズの矩形溝が 金表面に刻み込まれている。この溝に分析したい 液体を満たして励起光を照射すると、液体のラマ ン散乱光が通常よりも増強される。現在、作製技 術が開発途上のため、共鳴波長の制御が不十分で、 増強度は 4000 倍にとどまっている。作製技術の確 立や構造の改良により、7~9桁の増強が可能と期 待している。また、本来は極微弱な金表面の蛍光 も 35 倍増強されて観察された。

金は本来、赤外光をほとんど吸収しないが、プ ラズモン共鳴が起こると、共鳴波長の吸収は数10 倍増強される。その逆過程として、共振器を加熱 すると、熱放射が増強される。Figure 3 はこの性質 を利用して実現した赤外光源である⁴⁰。金表面の虹



Figure 3. Infrared emitter based on plasmon nanocavities (W = 221nm, D = 769nm, P = 2.07µm).



Figure 4. Infrared emission from the fabricated emitter. Emission from a reference black body is also shown.

色の部分に矩形溝が刻み込まれている。対象波長 が長いため、溝の寸法はFigure 2よりも大きく、 作製は容易である。波長数μmの赤外光は、空気 中の二酸化炭素濃度など、環境計測に重要である。 しかし、従来の計測器は、黒体光源から放射され る広い波長範囲の光から、必要な波長の赤外光だ けをフィルターで取り出していたので、エネル ギー効率が低かった。それに対して、我々の光源 は、共鳴波長を中心とした光だけを最大40倍増強 し、無駄な光は放射しない(Figure 4)。放射され る赤外光が直線偏光していることも重要な特徴で ある。これにより、濃度測定のための光学系が簡 略化できる。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

ラマン散乱では対象分子が無標識で検出できる ので、何桁もの増強を再現性良く起こせるように なれば、従来の蛍光標識による分析手法に置き換 わる可能性がある。そのため、国内外で研究が盛 んで、様々な系で単一分子レベルの検出が実証さ れている(中山知信氏の講演を参照)。我々の構造 は表面の凹凸形状で機能が発現するので、ナノイ ンプリント技術により、使い捨て分析チップを安 価に提供できるものと期待している。また、ナノ 構造による赤外光放射の制御は必ずしも新しい発 想ではないが、ここでも形状転写による量産に適 していることが我々の光源の特徴である。

4. おわりに

適切な形・寸法のナノ構造により、素材にはな い様々な光機能が創出できることを紹介した。制 御されたナノ構造の量産技術の確立が、今後の大 きな課題である。

なお、共振器の基本設計については黒川要一氏 (元 ICYS)、赤外光源の開発についてはナルックス 株式会社との共同研究によるものである。

- H. A.アトウォーター: 日経サイエンス 37 (2007.7) 18.
- H. T. Miyazaki and Y. Kurokawa: Phys. Rev. Lett. 96 (2006) 097401.
- 3) H. Xu, et al.: Phys. Rev. Lett. 83 (1999) 4357.
- K. Ikeda, H. T. Miyazaki, T. Kasaya, et al.: Appl. Phys. Lett. 92 (2008) 021117.



3) 固有ジョセフソン接合 ー結晶に内蔵された超高速・超低消費電力・三次元集積素子

Intrinsic Josephson junctions: Natural 3D integrated devices in HTSC crystals

羽多野 毅 Takeshi Hatano Hatano.Takeshi@nims.go.jp

Abstract

The crystalline structure of high-Tc superconductors can be considered a stack of Josephson-coupled superconducting CuO_2 layers oriented perpendicularly to the c-axis. The density of such junctions reaches as high as 10^{15} /cm³. The array of junctions is applied to a terahertz generator and a potential candidate of three dimensional integrated devices with extremely high-speed and low-energy consumption. A novel device operation that employs two fluxon states in the crystals, one parallel and the other not parallel, to the layers is presented. The difference in response to the bias-current of the fluxon states can be applied to a digital device having flash memory effect.

1. はじめに

銅酸化物超伝導体は、Figure 1 に示すように結 晶の単位構造が超伝導素子の基本構造(ジョセフ ソン接合:超伝導層 Sの間に絶縁層 Iを挟んだ SIS 接合)を持つことから固有ジョセフソン接合と呼 ばれ、その密度が10¹⁵/cm³に達することから究極の ナノ3次元集積デバイス候補と言える¹⁾。高温超伝 導体であればテラヘルツの高周波動作が期待でき、 半導体素子に比べて、動作速度で二桁の優位性が ある。さらに、超伝導エネルギーギャップが半導 体のバンドギャップに比べて二桁小さいことから、 エネルギー消費においても二桁の優位性を有する。 この様な高いポテンシャルを有する銅酸化物超伝 導体の接合列は集団動作としてテラヘルツ発振現 象を示す^{2,3)}。この発振機構の解明と、個々の接合 単位での動作を狙った新奇現象の探索について報 告する。



Figure 1. Crystal structure of the Y-123 high-Tc superconductors. A pair of CuO_2 planes show superconductivity which is interleaved by the insulating layers.

2. 研究成果の内容

2.1 テラヘルツ発振現象の解明

小型軽量の周波数可変の連続波テラヘルツ発振 器が開発されれば、非破壊検査・医療診断・分子 などの分光分析に新規な学術・技術分野が拓かれ ることが期待されている。高温超伝導体固有ジョ セフソン接合におけるテラヘルツ放射の機構を解 明し、それをもとに出力の最大化を図ることを目 的として、固有ジョセフソン接合回路を1つの単 結晶に微細加工し、ドイツ・チュービンゲン大学 と共同で低温走査型レーザー顕微鏡により固有 ジョセフソン接合中の電界分布のイメージングを 行い定在波発振モードを観測した(Figure 2)⁴。



Figure 2. (Left) Current –voltage characteristics of the Bi-2212 high-Tc superconductors. (Right) We verify the appearance of cavity modes at low bias and in the high inputpower regime we find that standing-wave patterns are created through interactions with a hot spot, possibly pointing to a new mode of generating synchronized radiation in intrinsic Josephson junction stacks

試料の長手方向に定在波が生じていることが確認され、テラヘルツ励起モードが試料端の反射に よるキャビティ・モードであることを明らかにした。これらの実験事実に基づくデバイス設計により実用領域(~ mW)の高強度・周波数可変テラ ヘルツ波光源を、固有ジョセフソン接合列を用い て実現することが目的である。

2.2 新奇現象--フラッシュメモリー効果

Figure 3 は、層状結晶の酸化物高温超伝導体において、磁束量子が二つの状態(超伝導層間に入る ジョセフソン磁束と超伝導層を跨ぐ磁束)をとり⁵、 前者はバイアス電流により層間を高速で運動し電 圧を発生するため、応答の違いから磁束状態を読 み取ることができる。

我々は Figure 3 の二つの状態間を閾電流(ここ では 0.5mA)によりスイッチする現象を発見した。 磁束状態は不揮発に超伝導体中に記憶されるため、 Figure 4 に示すように記憶素子としての動作が確認 された。

超伝導層間のジョセフソン磁束も、超伝導層を 跨ぐパンケーキ磁束も接合数だけ存在できること から、ナノスケールの記憶要素として活用するこ とが期待される。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

テラヘルツ発振素子は、現在外部放射ビーム強 度が1nW程度と低いことから、光学的な集光・集 積化・増幅などにより、1mW級のビームを取り出 すことが最も重要な開発要素であり、そのために は我々が行ったような発振現象の機構解明に基づ くデバイス設計が必須である。

このために、固有ジョセフソン効果研究の世界的 中心であるドイツ・チュービンゲン大学、また超伝 導高周波エレクトロニクスの代表的研究機関である 中国南京大学と連携して研究を推進している。

個々の接合単位での動作を狙った新奇現象の探 索については、様々な可能性がある一方で、深さ 方向にナノ・スケールという技術的に困難な課題



Figure 3. (Left) Josephson vortex and (Right) the crossing lattice states.



Figure 4. Observed response of junctions to the bias current for Josephson vortex (middle) and the crossing lattice states (top and bottom).

の克服との両輪で研究を進めていく。

4. おわりに

高温超伝導体の中でも、テラヘルツ発振現象を 始め、新奇現象発掘の宝庫となっているのは、 1988 年 NIMS の前身の金属材料技術研究所の前田 弘らにより発見されたビスマス系銅酸化物超伝導 体である。この国産超伝導物質の真の応用に向け て研究を推進したい。

- R. Kleiner, F. Steinmeyer, G. Kunkel, and P. Müller, Phys. Rev. Lett., 68 (1992) 2394.
- 2) L. Ozyuzer et al., Science 318, 1291 (2007).
- H. B. Wang, S. Urayama, S. M. Kim, S. Arisawa, T. Hatano and B. Y. Zhu, Appl. Phys. Lett., 89 (2006) 252506.
- H. B. Wang, et. al., Phys. Rev. Lett., 102, (2009) 017006.
- 5) A. Grigorenko, S. Bending, T. Tamegai, S. Ooi and M.Henini, Nature 414 (2001) 728.

4)単分子を識別・検出するナノプローブセンサーの開発

Development of nanoprobe sensor to detect/identify single molecule

新ケ谷 義隆 青野 正和 中山 知信 Yoshitaka Shingaya, Masakazu Aono and Tomonobu Nakayama NAKAYAMA.Tomonobu@nims.go.jp

Abstract

We have developed a nanoprobe sensor that can detect/identify single molecules. The key material is tungsten suboxide nanorod. It shows extremely large enhancement effect of Raman scattering at the apex of the nanorod. Raman scattering from even a single molecule is observable. The tungsten suboxide nanorod can be used as a nanoprobe for three-dimensional scanning in liquid. The newly developed nanoprobe sensor can be applied to extremely sensitive sensors for molecular detection in the field of bio-nanotechnology.

1. はじめに

近年、生体細胞などの様々な機能を非常に少な い消費エネルギーで実現する高度に組織化された バイオシステムを手本にして、その機能発現メカ ニズムを模倣し、全く新しいデバイスを実現しよ うという研究が盛んに行われている。生体細胞は 高度に組織化された分子集合体であり、様々な機 能は分子によって実現されているので、機能発現 メカニズムを解明するためには、個々の分子に関 する詳細な情報を得ることが極めて重要である。 また、機能発現を本質的に司っているのはナノス ケールの分子集合体であるので、高い空間分解能 で分子に関する情報を得る必要がある。しかしな がら、これまでにバイオシステムが実際に動作し ている液中環境下で、高い空間分解能、時間分解 能で分子に関する情報を得る手段はほとんど無 かった。我々は、局所的に光電場を増強するため の新たな材料を見出し、これを用いて単分子の検 出、識別が可能なセンサーを開発した。

2. 研究成果の内容

我々は、タングステンの中間酸化物である WO_x (2.5<x<3)のナノロッド(直径 10 ~ 100 nm)に ラマン散乱の増強効果があることを見出した。 Figure 1 は、 WO_x ナノロッドを先鋭化した金属の 先端に取り付けたプローブの光学顕微鏡像である。 青く見えている部分が WO_x ナノロッドである。こ のナノロッドの先端部において非常に大きいラマ ン散乱の増強効果が得られる。

Figure 2 は薄いローダミン6G分子の水溶液中に 設置した、WO_x ナノロッドの先端部に励起レー ザー光を照射することによって得られたラマン散 乱のブリンキング現象を表している。これは単分 子レベルの極微量分子を観察した際に特有な現象 である。



Figure 1. Optical microscope image of WO_x nanoprobe sensor.

3. 本研究の位置づけと今後の展開

従来技術では、単分子レベルのラマン散乱を得 るためには銀、金の微粒子集合体が必要であった。 その際に問題となるのは、ラマン散乱の高い増強 効果を再現性よく、長期間安定して得るのが困難 であることであった。本研究では酸化タングステ ンナノロッドを用いることによって、このような 問題点を解決している。今後の展開としては、増 強効果をさらに高めることが挙げられる。現状で は単分子レベルで観察可能な分子種は限られてい るが、さらに増強効果を高めることにより、どの ような分子でも単分子検出できることを目指す。 また、本技術と走査型マルチプローブ顕微鏡技術 との融合により、実際の生体細胞の機能発現メカ ニズムを解明する研究 (Figure 3) へと発展させて いく。

4. おわりに

今回我々が開発した技術はナノスケールの任意 位置において分子振動を非常に高感度に捉えるこ とができる技術であり、上記のバイオ関連応用の みならず、分子の局所的な振る舞いが重要視され る触媒、光発電、燃料電池といった様々な研究分 野において、有用な新技術であると期待している。



Figure 2. Blinking phenomena of Raman scattering obserbed with WO_x nanorod probe in 1nM Rhodamine 6G solution.



Figure 3. Application of WO_x nanoprobe sensor to bionanotechnology.



物質・材料研究ニーズに対応した最先端分析技術

1)材料研究の懸案課題を打開する強磁場固体 NMR

High-Magnetic-Field NMR Providing Innovative Solutions in Materials Science

清水 禎 Tadashi Shimizu SHIMIZU.Tadashi@nims.go.jp

Abstract

We have been developing high-magnetic-field NMR spectrometers designed for materials that will make innovations possible in a magnetic field higher than 20 T. Thus far, available NMR elements have been restricted to a few that include protons. A high field magnet will push back limitations in solid-state NMR analysis, and will allow remarkable developments for quadrupolar nuclei. We present an example of Mg-NMR (one form of quadrupolar nuclei) experiments performed with a 21 T magnet. The result has resolved a long-standing problem in the supramolecular structure of bacteriochlorophyll.

1. はじめに

NMRとは、核磁気共鳴装置の略称で、原子核の 磁気的性質を利用して物質・材料の分子構造や電 子状態などを調べる分析装置である。NMRでは測 定試料を磁場中に入れて測定し、磁場強度が強い ほど感度と分解能が向上する。

本来のNMRは周期表の約9割の元素に対して適 用可能だが、従来は技術的な制約のために感度と 分解能の点で特別に有利な水素や炭素などごく一 部の元素に対象が限定されてきた。その結果、薬 品や有機分子など一部の研究分野だけがNMRの利 点を享受してきた。

NMRの適用範囲を拡大させる上で一つの効果的 な技術は超20T(テスラ)の強磁場を用いたNMR である。普及型NMRの磁場は10T級だが、超 20Tの磁場を用いれば、周期表(下記Table)の約

Table The elements in blue and red are dipolar and quadrupolar nuclei, respectively, which are defined by nuclear spin quantum numbers equal to or larger than 1/2, respectively. NMR resolutions of the dipolar nuclei will be improved in proportional to applied magnetic field. The quadrupolar nuclei have the resolutions improved in the order of $2^{nd}-5^{th}$ power of the magnetic field. (Ref. 1))

		/= 1/2				I>1											
ų.	Be					Unstable or /= 0						G		0	F	24	
Na	to Mg						200000 - 200						.81	P		CI	Ar
ĸ	C.	Sc	71	*	Er.	Mr.	-	Co	14	Cu	In	Ga	Ca	An	54		ĸ
Alla I	-	×	2)	ND	Ma	Τc	R.	Rh	Pd.	Aş	Cri	n	Se	Sti	Te	I.	X
Cs.	Ba	La	H	Ta	11	Hit	Cas.	tr.	11	Au	Ha	n.	22	-84	Pр	At	81
FC	Ra	Ac	Ka	Ha													
		La	Ce	R	NO	Pm	Set	Eù	Gt	Th	Oy	943	Đ	Tra	YO	Ly	Í
		Ac	Th	Pa	u	No	Pa	Art	Cri	-	C.	Es.	Ém	Mit	No	Lt	1

6割を占める四極子核(核スピン量子数が「1」以 上の原子核のことで、酸素、アルミ、ホウ素、チ タン、インジウムなど実用材料に重要な元素が多 く含まれる)と呼ばれる最難関な元素に対しても NMRの精密分析が初めて可能になる。従来、四極 子核は感度と分解能が低いという懸案課題を抱え ていたが、強磁場はこの課題を解決する原理的に 唯一の方法である。強磁場固体 NMR によって四極 子核の精密測定が実現すれば、ガラス、触媒、ポ リマーなど実用上重要な非晶質材料において局所 構造の解明が加速され、効率的な材料開発に結び つく。NMR は元々、X 線などの他技術に比べると、 非晶質構造や不均一構造に強みがある。

NIMSでは、強磁場を利用した材料分析に特化した特殊仕様の固体 NMR 分光計システムを開発し、 開発した装置(Figure 1)を国内ユーザーに広く開放し、材料開発の共通技術基盤として国際競争力の強化に貢献している。

2.研究成果の内容

一つの応用例として、葉緑素の研究成果を紹介 する。環境・エネルギー問題の解決を目指す太陽 電池開発の一環として、葉緑素を利用した色素増 感太陽電池の研究が近年注目されている。葉緑素 は集光機能(光子を吸収して分子を励起状態にす る)と発電機能(自由電子を発生させる)を兼ね 備えている。その分子構造(Figure 2)は、環状の 有機分子の中心に4配位(4個の陰イオンと結合し ている状態)のマグネシウム原子を1個持つ金属 錯体で、構造上の微妙な差異により約10種類の仲 間が知られている。実は、葉緑素の分子単体には 集光機能はあるが発電機能はない。発電機能は約



Figure 1. 930MHz-MAS-NMR spectrometer installed in NIMS, Tsukuba. The magnetic field is 21.8 T, which is the world highest field among the MAS-NMR magnets.



Figure 2. Mg-MAS-NMR spectral in BChl-c supramolecule. The red and blue line is, respectively, a simulation for 5coordinated and 6-coordinated Mg. A single molecule of BChl-c shown in the inset has a 4-coordinated Mg only. The NMR experiment shown by the black line in the spectrum gives an evidence for 6-coordinated Mg sites which has resolved the long-pending problem in the supramolecule structure. (Ref. 2))

10 個~100 個程度の葉緑素が集まって分子集合体 (一種の超分子)を形成することによって初めて発 現する。この分子集合体は、詳細な構造がまだ分 かっていない。葉緑素の発電機能を解明する上で、 分子集合体の構造解明は不可欠である。

最近、葉緑素研究の専門家との共同研究により、

NIMS の 930MHz 固体 NMR 装置を用いて、この分 子集合体の構造に関して重要な進展があった。こ の研究(文献[2])に用いた葉緑素はバクテリオク ロロフィル-c(略して BChl-c)と呼ばれる種類 で、一部の光合成細菌の中に含まれている。今ま で BChl-c の分子集合体には 6 種類の異なる構造モ デルが提案されていた。6 種類の主な相違点は、単 体分子が集合する時の並び方(対称性)だけであ る。実際の分子集合体がどの構造になっているの かを決着させるために、X 線回折を含む多くの研 究が従来から行われてきたが、決定的な実験的証 拠はなかった。

今回、BChl-c中のマグネシウムについて NMR 測定を行った結果、BChl-c分子集合体のマグネシ ウムには5配位と6配位の2種類が含まれている (Figure 2) ことが判明した。従来は6配位マグネ シウムは存在しないとする学説が主流であった。 分子単体の時には4配位だったマグネシウムの配 位数が分子集合体になって増える理由は、分子が 集合するために必要な水素結合や分子間結合がマ グネシウムを介して発生した結果である。この NMR の結果を説明できる構造は、6種類のモデル のうち1種類だけなので、BChl-c分子集合体の構 造問題はここに決着することができた。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

マグネシウムのように感度と分解能の点で従来 は観測困難だった元素でも、強磁場を利用すれば 観測可能になる。今後も多くの元素へ固体 NMR の 観測範囲を広げていくことで、未解明の問題を開 拓することが期待される。特に、非晶質構造や不 均一構造などで NMR が得意とする局所構造の解明 において、X 線など他技術と相補的な役割を果た すようになると期待される。また、強磁場の利点 が最も良く発揮されるように、より最適な NMR 計 測技術など機器開発も重要な要素である。NIMS で は、そのような技術開発も合わせて行っている。

4. おわりに

本研究は関西学院大学の小山泰教授の研究グ ループ、日本電子(株)の技術本部との共同研究、 および、文科省の「ナノテクノロジーネットワー ク拠点」による支援事業による成果である。

- 1) T. Shimizu,et.al., Chem. Lett., 33 (2004) 1502.
- 2) Y. Kakitani, et.al., Biochemistry, 48 (2009) 74.



2) レーザーアトムプローブによる 3 次元ナノ組織解析 3D pape-structure analysis by laser assisted atom probe tomograp

3D nano-structure analysis by laser assisted atom probe tomography

大久保 忠勝 宝野 和博

Tadakatsu Ohkubo, Kazuhiro Hono OHKUBO.Tadakatsu@nims.go.jp, Kazuhiro.HONO@nims.go.jp

Abstract

The three-dimensional atom probe (3DAP) technique has been widely used to obtain atomic tomography of metals. Recent implementation of pulsed laser to assist field evaporation has expanded application of the atom probe technique to a wide variety of materials, including semiconductors and oxides. In addition, the development of site-specific specimen preparation methods using the focused ion beam technique has made device analyses possible. The substantially reduced frequency of specimen ruptures in the pulsed laser-assisted mode has also made the analysis of these specimens practical. This presentation will cover recent progress in laser-assisted 3DAP and its application to semiconductor devices and oxide insulators.

1. はじめに

針状試料の先端から電界蒸発する原子の飛行時 間測定を行う3次元アトムプローブは、これまで、 原子トモグラフィを得ることのできる究極的な解 析手法として金属材料などの導電性材料のナノ解 析に広く使われてきた。最近、アトムプローブ分 析における電界蒸発を補助するために、レーザー パルスを用いるレーザーアトムプローブが開発さ れ、アトムプローブ法の対象材料が金属材料のみ ならず、半導体や絶縁体にまで広がろうとしてい る。さらに、集束イオンビーム装置を用いて、特 定箇所から試料作製する技術の確立により、磁性 多層膜や、半導体デバイスまで解析が可能になっ てきているために複雑なナノ構造を持つデバイス の解析も可能となってきている。また、レーザー 補助により、試料破壊の頻度が低減され、従来の アトムプローブでは分析不可能な試料の解析も実 用的になってきた¹⁾。ここでは、最近 NIMS で開発 したフェムト秒紫外光レーザーアトムプローブと その応用を紹介する。

2. レーザーアトムプローブの開発

従来のアトムプローブでは静電圧に数 ns の電圧 パルスを印可して原子のイオン化を行うために、 試料に導電性がなければならないという制約が あった。また、電界応力による試料の頻繁な破壊 が 3DAP 法の最大の欠点とされてきた。これらの 原理的な制約を解決するために、レーザーアシス トによる電界蒸発を用いるレーザーアトムプロー ブを開発した。短波長のパルスレーザーによる原 子の電界蒸発をアシストすることにより(1)イオ ン化の際のエネルギー欠損が無いため、エネル ギー補償器無しでも、質量分解能が向上した。(2) その結果、飛行距離を短くできるので、広領域の 分析が可能になった。(3)電界強度を低く抑えら れるので、試料破壊の頻度が著しく減少した。(4) 短波長レーザーによるイオン化により、これまで 不可能であった絶縁体解析が可能になった。Figure 1 に開発装置の外観と原理の模式図を示す。本機で は遅延線検出器を採用し、試料検出器間距離を 12cmと短くすることで、従来の20倍程度の開口 角(0.32 sr)を達成している。また、基本波長が 1030nm、パルス幅400fsのフェムト秒レーザーを



Figure 1. Appearance and schematic of laser assisted atom probe.



Figure 2. Mass spectrum obtained from W specimen by UV laser assisted atom probe.

用い、非線形光学結晶による波長変換で343nm, 257 nm の紫外 (UV) 光まで利用可能となっている。 試料検出器間距離を28cm としUV のフェムト秒 レーザーによって W 試料から、m/Δ m (半値幅) で3000 以上の質量分解能が得られた (Figure 2)。 これは、直線型のアトムプローブとしては現時点 で世界最高の値である。また、UV レーザーを用い ることで、以下に示すように、これまで不可能で あったバルク絶縁体の解析にも世界で初めて成功 した。

3. レーザーアトムプローブの応用例

前述のように、UV レーザーアトムプローブに よって、半導体デバイスの解析が可能になってき た。Figure 3 は、青色半導体レーザー応用を目的と した GaInN 半導体積層試料から得られた 3D 原子 マップと組成プロファイルである。組成はほぼ想 定された値が得られており、解析の結果、層内の 原子分布が一様であること、基板側と表面側で元 素分布が非対称になることなどが確認された²。

また、バルク絶縁体の解析もこのUV レーザー アトムプローブで初めて可能になった。Figure 4 は、 ZrO₂-MgAl₂O₄ ナノコンポジットセラミックス試料 からUV レーザーアトムプローブによって得られ た3D 原子マップと、原子マップ中で選択した領域 から得られた組成プロファイルである。絶縁体で あっても、試料のナノ組織を反映した元素分布が 詳細に再現されており、さらに、粒内の組成の同 定や、粒界偏析の定量解析が可能になった³⁾。

4. おわりに

アトムプローブをパルスレーザーによって補助 することにより、アトムプローブ法の最大の欠点 であった分析中の試料破壊の確率が著しく低減さ れ、解析領域が拡大し、集束イオンビーム装置に よる任意箇所からの試料作製によって、従来のア トムプローブでは全く分析ができなかったような 半導体デバイス、バルク絶縁体試料等の解析も可



Figure 3. 3D atom map and the composition profile obtained from GaInN specimen by UV laser assisted atom probe.



Figure 4. 3D atom maps and the composition profile obtained from ZrO₂-MgAl₂O₄ nanocomposite ceramics specimen by UV laser assisted atom probe.

能になってきた。このような大きな利点を有する レーザーアトムプローブは、原子レベルで3次元 的な元素分布を解析できる唯一の手法として、現 在、大きな注目を浴びており、今後、磁性・半導 体デバイス材料、セラミックス材料等の解析へと 応用範囲が劇的に広がる可能性がある。依然とし て、レーザーによるイオン化メカニズムや、試料 に応じた最適な波長、エネルギー、試料温度の影 響等、不明な点も多く残されているが、今後、こ れらが明らかにされ、条件を最適化することで、 ますます、レーザーアトムプローブの活躍の場が 増えてくるものと思われる。

- 1) 大久保忠勝, 宝野和博: 顕微鏡 42 (2007) 192.
- S. Tomiya, M. Ikeda, S. Tanaka, Y. Kanitani, T. Ohkubo, K. Hono: Proceedings MRS 2009 Fall meeting, submitted.
- 3) Y. M. Chen, T. Ohkubo, M. Kodzuka, K. Morita and K. Hono: Scripta Mater. 61 (2009) 693.



3) 見えない半導体界面を可視化する-太陽電池から次世代半導体まで-

Attempt to visualize various semiconductor interfaces

関口 隆史 Takashi Sekiguchi Sekiguchi.takashi@nims.go.jp

Abstract

We are attempting to visualize various semiconductor interfaces by using scanning electron microscopy (SEM). In the case of multicrystalline Si in photovoltaic application, certain types of grain boundaries degrade the solar cell efficiency. The electron beam induced current (EBIC) method is a powerful tool for visualizing such electrical active grain boundaries. EBIC is also very powerful in identifying the imperfections of high-k gate dielectrics in advanced MOSFETs. We demonstrate the advanced characterization method by using secondary electron images of low-energy SEM.

1. はじめに

多結晶 Si 太陽電池の効率を制限するのは結晶粒 界におけるキャリアの再結合である。MOSFET は ゲート電極下のチャンネル層を走るキャリアが特 性を担っている。フラッシュメモリは、Si 表面の 酸化膜(フローティングゲート)に電荷を注入し て情報を記憶させている。このように、半導体素 子の特性を左右するのは界面だと言っても過言で はない。そこで、半導体開発では、界面の機能を 素子構造のままで評価することが求められる。

しかし、素子内部にある界面を観察することは 難しい。我々は、走査電子顕微鏡(SEM)を用い て電子を試料に照射したときに誘起される電流 (Electron-Beam-Induced Current; EBIC)を用いて 材料や素子の電気的特性を調べる手法を開発して いる。ここでは、EBICを用いた半導体材料の評価 について紹介する¹⁾。

2. 多結晶 Si 太陽電池の結晶粒界²⁾

Figure 1 に多結晶 Si 太陽電池の写真を示す。写 真中に見える組織が Si 粒であり、ひび状の模様が 結晶粒界である。多結晶 Si ウエハでは、粒界が多 い部分でキャリアの拡散長が短く、粒界が変換効 率を下げる要因だとされてきた。また一般に、太 陽電池材料は電子材料に比べて純度が低く、Fe 不 純物の影響も指摘されていた。我々は、この両者 を区別するため、高純度多結晶 Si 材料で粒界の EBIC 観察を行い、さらに Fe 汚染を施して同様の 実験を行ない、粒界と不純物の相互作用を明らか にした。

Figure 2 に粒界の二次電子 (SE) 像と、粒界



Figure 1. Photograph of multicrystalline (mc-) Si solar cell (from Web site.)



Figure 2. SE, EBSD, and EBIC images of mc-Si.

マップ、EBIC 像を示す。粒界のうち特定のものが EBIC 像で黒くなっており、電気的に活性であるこ とがわかる。これは小角粒界であり、粒界の構造 によって、電気的作用が異なることがわかる。Fe 汚染の実験では、整合性の悪い粒界から汚染が進 み、電気的に悪影響を及ぼすことが明らかになっ た。

3. 次世代半導体 (high-k MOSFET) 素子評価³⁾

次世代半導体開発では、素子の性能を向上させ るため、様々な技術や材料の導入が検討されてい る。ゲート絶縁膜では、SiO₂を high-k 材料と呼ば れる希土類酸化膜に置き換えることが検討されて



Figure 3. Structure of high-k MOSFET.



Figure 4. SE and EBIC images of high-k MOSFET.

いるが、信頼性などの問題を克服しなければなら ない。我々は Selete (株と共同で、Hf 系の high-k MOSFET の絶縁膜のリーク評価を行なってきた。 この素子は、Figure 3 に示すように、ゲート絶縁膜 が電極や保護膜の下にあるため、素子をそのまま 評価するためには、キャリアを絶縁膜の下に打ち 込まなければならない。EBIC は加速電圧を変える ことで、キャリア生成の深さを制御できるため、 この目的には最適である。これは、他の方法には ない大きな特徴である。

Figure 4に high-k MOSFET を平面で観察した時 の二次電子像と EBIC 像を示す。像の中心の正方 形の領域が Gate 電極であり、EBIC 像では弱い Background 電流を反映して灰色になる。実は、こ の素子は不良であり、Gate 絶縁膜を通してリーク がある。その原因となるのが、Gate 電極下部に見 られる 4 つの明点である。明点の領域では、走査 電子線によって p-Si 基板に生成されたキャリアが、 high-k (HfSiON) 膜の欠陥を通して Gate 電極に流



Figure 5. SE images of Si₃N₄ nanobelt.

れている。この観察より、high-k 膜のどこにどの ような原因で欠陥が生成するかを知る手がかりが 得られる。現在は、EBIC によって特定した不良箇 所を抽出して、断面透過電顕観察により、リーク のメカニズムを詳細に調べる実験を行なっている。

4. 低加速走查電子顕微鏡(LE-SEM)法

我々は最近、5 kV 以下の低加速電子で材料を観察 し、二次電子像に含まれた情報を解析することで、 材料表面下の情報を得る手法を開発している。

Figure 5 に、マイクログリッドに載せた Si₃N₄ ナ ノベルトの二次電子像を示す。2 枚の写真はそれぞ れ In-lens、Out-lens タイプの検出器によって得て いる。前者ではナノベルトが透けて下のマイクロ グリッドが現れている。LV-SEM では電子線源と 検出器が試料に対して同方向にあり、マイクログ リッドはナノベルトの反対側にある。つまりこの 写真は、LV-SEM によって表面に埋もれた構造が 観察できる可能性を示している。

これらの手法を発展させることにより、これま で見えなかった世界が開けていくことが期待され る。

- 1) 関口隆史, 陳君, 袁暁利: 顕微鏡 42 (2007) 84.
- 2) 関口隆史,陳君,伊藤俊:まてりあ 45 (2006) 729.
- J. Chen et al. : Appl. Phys. Lett. 89 (2006) 222104.



バイオ研究の展開

1) 生体と調和する高分子と医用金属とのハイブリッドによる薬剤溶出性 ステントの開発

Development of Novel Drug-eluting Stent by Hybridization of Bio-friendly Polymeric Matrix with Biometal

田口 哲志 Tetsushi Taguchi TAGUCHI.Tetsushi@nims.go.jp

Abstract

Drug-eluting stent (DES) prevents in-stent restenosis through the elution of drugs from matrices. DES effectively reduces restenosis by suppressing smooth muscle cell growth; however, the residual matrices of DES after drug elution lead to complications, such as inflammatory response, thrombus formation and prevention of endothelialization on the stent surface. Also, anti-cancer drugs or immunosuppressants have been used as drugs; however, they are known to show toxicity and side effects. Therefore, it is necessary to develop a novel DES that has a biodegradable matrix with anti-thrombogenic and endothelial cell adhesive properties for releasing bio-friendly drugs. Here, we report on citric acid-cross-linked biodegradable matrices with anti-thrombogenic and endothelial cell adhesive properties. We also describe how we fabricated a novel DES by impregnating Am80, a synthetic retinoic acid receptor α -specific agonist, in the resulting matrices and evaluated its efficiency in reducing restenosis *in vivo*.

1. はじめに

狭心症や心筋梗塞に代表される虚血性心疾患は、 日本人の死因の第2位であり、冠動脈ステント留 置術が主要な治療方法となっている。現在、我が 国において冠動脈ステント留置術は年間15万症例 以上行われており、その有効性は確立されている。 しかし、いったん拡張した血管内腔が再び狭窄す る再狭窄が20~40%の症例に生じ、再度の手術 が必要となることが最大の問題となっている。

再狭窄の弱点を克服する方法として、冠動脈ス テント表面から薬剤を徐放する薬剤溶出性ステン ト(DES)が開発され、日本でも海外企業製のス テントが2004年から使用されている。しかし、薬 剤溶出性ステントを構成している①薬剤溶出用高 分子マトリックス、②ステント金属、③薬剤の3 成分のうち、薬剤溶出用高分子においては、生体 親和性が低く、永久に生体内に残存することが知 られている。その結果、ステントによって拡張し た血管壁の傷が治癒せず、最悪の場合には、血栓 形成による血管の閉塞が生じる。また、血栓形成 と血管の閉塞を予防するため、手術後には、副作 用発現率が非常に高い抗血小板薬を6か月から1 年間、アスピリンを永続的に内服しなければなら ないという欠点もある。

さらにステント金属においては、生体内ヘニッ ケルイオンが溶出する SUS316L ステンレスが多く 使用されているため、アレルギー反応が懸念され ている。また、薬剤についても抗ガン剤や免疫抑 制剤が使用されており、副作用や安全性が懸念さ れている。そのため、現在の薬剤溶出性ステント は、構成成分のいずれについても十分な安全性と 有効性が満たされているとは言えない。

そこで本研究では、血栓形成を起こさず、体内 で分解・吸収されて生体システムと調和する高分 子材料を開発¹⁾し、この材料から臨床使用実績の ある細胞分化誘導剤(Am80)²⁾を徐放する新しい DES について紹介する。また、NIMSで開発され、 高い生体親和性が期待される新規ステント素材の 開発状況についても触れる。
2. 研究成果の内容

新しい DES に用いる薬剤溶出用高分子マトリッ クスとして、クエン酸から合成した架橋剤(TSC) とアルカリ処理ゼラチン(AlGelatin)から構成さ れる薬剤溶出用高分子マトリックス(AlGelatin-TSC)を開発した。得られた高分子マトリックスの 抗血栓性評価を行った結果を Figure 1 に示す。市 販のグルタルアルデヒドによって調製した高分子 マトリックス(AlGelatin-GA)の場合、血栓形成が 認められるが、本研究で最適化を行った AlGelatin-TSC では、血栓形成が全く認められないことが明 らかとなった。

Figure 2 には、ヒト臍帯静脈血管内皮細胞 (HUVEC)の接着性を評価した結果を示す。 AlGelatin-GA上では、HUVECの接着性が低いのに 対し、AlGelatin-TSC上では高い細胞接着性が認め られた。AlGelatin-TSCの物理化学的特性の解析か ら、AlGelatin-TSCのDES用高分子マトリックス としての優れた特徴は、高分子マトリックス内の 細胞接着ペプチドの濃縮とカルボキシル基の生成 に起因していることを明らかにしている。

一方、Figure 3 には、得られた高分子マトリック スを用いて細胞分化誘導剤 Am80 をステント上に



Figure 1. Anti-thrombogenic property of polymeric matrices after immersion in rat whole blood. ((a) AlGelatin-GA, (b) AlGelatin-TSC)



Figure 2. HUVEC adhesion on polymeric matrices. ((a) AlGelatin-GA, (b) AlGelatin-TSC)



Figure 3. Endothelialization on (a) commercial DES and (b) developed DES after implantation in pig coronary arteries for 2 weeks.

コーティングすることにより調製した DES をブタ 冠動脈へ留置して2週間後の結果を示す。Figure 3a に示すように市販品の DES を用いた場合には、 血管内皮の形成が不十分であり、重篤な血栓形成 が認められた。一方、本研究で開発した DES では、 良好な血管内皮形成が認められ、血栓形成も全く 認められないことが明らかとなった(Figure 3b)。 さらに4週後の再狭窄率を評価した結果、開発し た DES は有意に再狭窄率が低いことも明らかに なっている。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

本研究で開発した DES は、現在使用されている DES を超える安全性・有効性を持っていると期待 される。今後は、企業との連携により DES の実用 化に向けて開発を進めたいと考えている。

4. おわりに

心筋梗塞などの虚血性心疾患の患者数は、超高 齢社会の到来に伴い年々増加している。我々の開 発した DES は、日本独自の基盤技術を基に開発し たものであり、国内医療機器産業の活性化と国際 競争力を持った医療機器の創出に繋がると期待さ れる。

参考文献

- H. Saito, S. Murabayashi, Y. Mitamura and T. Taguchi: Biomacromolecules 8 (2007) 1992.
- K. Fujiu, I. Manabe, A. Ishihara, Y. Oishi, H. Iwata, G. Nishimura, T. Shindo, K. Maemura, H. Kagechika, K. Shudo and R. Nagai: Circ. Res. 97 (2005) 1132.



2) 配向連通多孔質アパタイト人工骨

Hydroxyapatite Bone Filler with Unidirectional Pores

末次 寧 菊池 正紀 Yasushi Suetsugu, Masanori Kikuchi Suetsugu.Yasushi@nims.go.jp

Abstract

Porous ceramics of hydroxyapatite are promising scaffold materials for bone regeneration due to their high biocompatibility and osteoconductive activity. To date, numerous fabrication methods have been successfully applied to hydroxyapatite porous ceramics for bone regeneration, and most of these materials have an intricate and macroscopically isotropic pore structure. However, an anisotropic microstructure, for example, comprised of unidirectionally ordered channels, could provide higher osteoconductive activity and preferable mechanical properties. In this project, we fabricated hydroxyapatite porous ceramics with unidirectionally ordered continuous pores utilizing anisotropically grown thin ice columns as the template, and found them favorable as the scaffold materials for bone regeneration.

1. はじめに

我々の骨は、リン酸カルシウムの一種である水 酸アパタイト(Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂)の微結晶が、タンパ ク質の一種であるコラーゲンの線維に沿うように 配列してできている。このアパタイトを人工的に 合成して作製したセラミックスは生体親和性が高 く、体内で骨と直接接合する特性を有するため、 人工骨材料として高く評価されている。緻密体の ブロックのほか、顆粒・セメントなどの種々の使 用形態があり、それぞれ目的に応じて使い分けら れているが、その中でも多孔質セラミックスは、 インプラント後に気孔内部に新生骨が伝導される という点が特徴的である。このため、周囲の骨組 織との結合が強固になり、セラミックス材料の弱 点である破壊脆性が改善され、好適な最終治癒形 態を期待できるという利点がある。ただし多孔質 人工骨材料の開発においては、骨伝導効率の向上 のために気孔率を高くすると、必然的に初期強度 の低下が避けられないというジレンマがある。そ こで我々の研究グループでは、初期強度が実用に 耐えられる程度に高く、かつ内部に新生骨を効率 的に形成させる能力を兼ね備えたアパタイト多孔 体の開発を目指し、気孔を一方向に配向させると いうコンセプトを選択した。

2. 研究成果の内容

配向連通多孔構造を構築する方法には、金属な どでできた型を使った成型や三次元プリンティン グなどが考えられるが、我々は異方的に成長した 氷をテンプレートとする手法を採用した。まずア パタイトの微粒子を合成して水中に分散させ、有 機高分子を加えてゼリー状に固めた。次にこれを 一方から冷却することにより、その方向に沿った 多数の細い氷柱を成長させた後、氷柱を凍結乾燥 によって取り除き、高温で焼結することによって 多孔体を作製した¹⁾。得られた材料内では、一方向 に並んだ管状の気孔が材料全体をほぼ貫通してい た (Figure 1)。本多孔体の異方的な構造は圧縮強 度に明瞭に反映されており、気孔率75%の場合で、 気孔に平行な方向の荷重に対しては約14MPaとな り、それに垂直な方向の強度の7倍に及んだ。表 面からぼろぼろ崩れるような感触はなく、ハンド リング性も良好であった。

この多孔体をウサギの大腿骨の中に埋植したと



Figure 1. Preparation of porous apatite ceramics utilizing thin ice columns as template.

ころ、術後2週も経過すると気孔内部に骨組織が 新生し、随所で血管の形成も見られた。同様にイ ンプラントした複数の多孔体を所定の期間ごとに 取り出して力学試験を行った結果²⁰、気孔方向の圧 縮荷重に対する強度が埋植後の経過時間とともに 増加し、12週後には比較用のランダム構造の多孔 体よりも有意に高い47MPaに達した(Figure 2)。 これは皮質骨の強度の1/2程度に相当する。このよ うな著しい強度の上昇は、気孔内部にできた新生 骨のコラーゲン線維とアパタイト結晶が、管状の 気孔と平行に配列することにより、その方向の圧 縮荷重を効果的に支えることができたためではな いかと考えられる。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

これまでに開発されてきた多孔質人工骨材料の 多くは、ランダムかつ複雑に入り組んだ三次元網 目状の骨格を持ち、巨視的に見ると力学的性質や 組織の進入性などの特性は等方的である。しかし、 異方的な微構造を有した材料の持つ種々の有利性 も近年明らかになりつつある。たとえば本研究で 開発した多孔質材料は、初期強度や骨伝導能にお いて優れているだけでなく、その内部に新生した 骨が、コラーゲンとアパタイトからなるナノ構造 の方向に沿って伸長したミクロ形態をとっており、 自然の状態に近い微構造を有する骨の再生を促す 材料として期待される。生体組織工学分野全体に おいても、細胞足場材料の微形態の重要性につい



Figure 2. Change in compressive strength of porous apatite implanted in rabbit femur.

• : Unidirectional porous apatite (loading direction is parallel to pore direction)

• : Porous apatite with random structure

て今後さらに認識が高まっていくものと思われる。

4. おわりに

本材料は、株式会社クラレとの共同研究により 開発され、筑波大学整形外科の協力を得て生体内 での機能評価を行ったものである。平成21年7月 に厚生労働省の薬事承認を取得し、「リジェノス[®]」 の商標で実用化された。本研究開発の遂行にご尽 力をくださった関係各位、特に筑波大学の落合直 之教授、坂根正孝準教授、岩指仁医師(現:公立昭 和病院)、(株)クラレの檜垣達彦氏、堀田裕司氏 に心から御礼を申し上げる。

参考文献

- Y. Suetsugu, Y. Hotta, M. Iwasashi, M. Sakane, M. Kikuchi, T. Ikoma, T. Higaki, N. Ochiai and J. Tanaka: Key Engineering Materials 330-332 (2007) 1003.
- M. Iwasashi, M. Sakane, Y. Shirai, Y. Suetsugu, T. Tateishi and N. Ochiai, J. Bone Miner. Res. 22 (Suppl. 1) (2007) S262.



3) バイオトランジスタによる生体分子認識の検出

Detection of bio-molecular recognition using bio-transistor

宮原裕二 Yuji Miyahara MIYAHARA.Yuji@nims.go.jp

Abstract

We have been investigating a new method to detect molecular recognition events by means of electrostatic interaction between charged biomolecules and electrons in silicon. We have reported several types of biologically coupled field effect transistors (FET) that are based on direct transduction of surface density change of charged biomolecules into electrical signal by the field effect. In the case of genetic FET, oligonucleotide probes are immobilized on the surface of the gate insulator. When complementary DNA molecules are contained in a sample solution, hybridization occurs at the gate surface. Since DNA molecules are negatively charged in an aqueous solution, electrons are expelled from the surface of silicon by electrostatic interaction. Thus, a specific binding of charged biomolecules at the gate surface can be detected as a shift of the threshold voltage V_T .

1. はじめに

当研究グループでは、電界効果トランジスタ (Field Effect Transistor, FET)を用いた生体分子認 識検出デバイス(バイオトランジスタ)の研究を 行っており、これを基盤に遺伝子、糖鎖、脂質、 細胞などを対象としてその解析技術を開発してい る。電界効果トランジスタのゲート絶縁膜表面に 機能性分子を固定化し、電荷密度変化を伴うよう な生体分子認識反応をデザインする。ゲート絶縁 膜表面で生体分子認識反応の結果誘起される電荷 密度変化に応答してシリコン表面の電子密度が変 化する。この静電的相互作用を電界効果トランジ スタのしきい値電圧変化として検出することがで きる。

2. 研究成果の内容

遺伝子トランジスタでは Figure 1 に示すように ゲート絶縁膜表面にオリゴヌクレオチドプローブ を固定化し、相補的 DNA を含有する試料溶液を導 入するとハイブリダイゼーションによりゲート上 で二本鎖 DNA が形成される。DNA 分子は水溶液 中でリン酸イオンに起因する負の電荷を有してい るため、しきい値電圧の変化としてハイブリダイ ゼーションを検出することができる¹³⁾。ハイブリ ダイゼーションのほか、プライマー伸長反応や DNA バインダーとの結合などを検出できることを 確認している。ゲート絶縁膜上でのプライマー伸 長反応において、dATP, dGTP, dTTP をそれ ぞれ別々に Taq DNA ポリメラーゼとともに順次添 加し、ゲート上で一塩基伸長反応を行わせて遺伝



Figure 1. Concept of genetic FET.

子 FET のしきい値電圧変化を測定した。添加した デオキシヌクレオチドがターゲット DNA の塩基と 相補的であれば伸長反応により一塩基のみ合成さ れ、相補的でなければ合成反応は起こらない。し たがって4種類の塩基を順次添加した後のそれぞ れのしきい値電圧の変化を測定すれば、ターゲッ ト DNA の未知の塩基配列を知ることができる。 Figure 2 にゲート上での一塩基伸長反の測定結果を 示す。加えた塩基がターゲット DNA の塩基と相補 的な場合、一塩基伸長により 3mV 程度しきい値電 圧 VT が変化し、相補的でない場合にはしきい値 電圧はほとんど変化しなかった。また同じ塩基が 2 つ連続した配列では、デオキシヌクレオチド添加 により約 5-6mV と大きなしきい値電圧変化が得ら れた。

しきい値電圧の変化量と連続する塩基の数は、 ほぼ直線的な関係が得られることを確認している。 これより、4つの塩基を繰り返し添加してしきい値



Figure 2. FET-based DNA sequencing.

電圧変化を測定することにより、分子電荷の直接 検出という方法で、DNA シーケンシング(塩基配 列解析)を行う見通しが得られた。現状では約10 塩基長の DNA シーケンシングが可能であるが、読 み取り塩基長の向上及び高精度化が課題である。 オリゴヌクレオチドプローブ、伸長反応条件の最 適化に加えて、アッセイプロトコルの自動化によ り高精度化を図ることができると考える。本方式 では DNA シーケンシングはもとより、SNP 解析の ほか、short tandem repeat、insertion/deletion など の多型解析に有効である。

またバイオトランジスタのゲート絶縁膜表面に 細胞を設置して細胞膜の電気現象を非侵襲で計測 する細胞トランジスタの研究も行っている⁴⁾。例え ば Figure 3 に示すように細胞内外の物質移動の制 御をつかさどるトランスポーターを卵母細胞の細 胞膜表面に発現させ、FET のゲート絶縁膜表面に 設置して基質との相互作用を非侵襲で計測した。 その結果、Figure 3 に示したように、トランスポー ターを発現させた卵母細胞を有する FET のみ特徴 的な応答が得られた。さらに多型による基質取り 込み能力の違いを検出することも可能であること を確認しており、創薬分野の高スループットスク リーニングデバイスとして期待される。

3. 本研究の位置づけと今後の展開

現在、Figure 4 に示すように FET のゲート絶縁 膜表面にナノ構造を構築し、様々な生体分子認識 反応と組み合わせて生体分子や細胞機能を高感度 に検出するデバイスの研究を進めている。これら の研究を深めることにより、バイオトランジスタ を医療や生命科学の分野に応用していく。

4. おわりに

従来、生体分子の検出方式として、蛍光、屈折



Figure 3. Transporter analysis using cell-FET.



Figure 4. Future perspective for bio-transistors.

率、質量、酸化・還元電流、化学発光などが用い られているが、本研究では分子電荷の直接検出と いう新しい方法を開発した。バイオトランジスタ は、半導体微細加工技術を用いることにより集積 化・高密度化が可能であり、小型、簡便性に優れ た生体分子解析システムのキー技術になると期待 される。

参考文献

- 1) T. Sakata, Y. Miyahara, Biosensors and Bioelectronics, 22, 1311-1316 (2007).
- T. Sakata, Y. Miyahara, Angew. Chem. Int. Ed., 45, 2225-2228 (2006).
- T. Sakata, Y. Miyahara, ChemBioChem, 6, 703-710 (2005).
- 4) T. Sakata, Y. Miyahara, Anal. Chem. 80, 1493-1496 (2008).



つくばナノテクノロジー拠点の報告

Introduction of "Tsukuba Innovation Arena for Nanotechnology"

中村和夫 Kazuo Nakamura NAKAMURA.Kazuo@nims.go.jp

Abstract

The Tsukuba Innovation Arena for Nanotechnology was formed to create a research hub in which researchers from Tsukuba University, AIST, NIMS, and private industries can have cooperative and cohesive interactions. The hub focuses on research that ranges from basic science to practical applications. We want to create an environment in which practical applications and basic research seeds form a reciprocal relationship. We also seek to nurture the human resources that will serve as the driving force in Japanese industry and science of the future.

1. はじめに

Nanotech 2010の展示でも判るように、ナノテク ノロジーは、環境、エネルギー、健康、安全など 持続可能な経済社会を実現していく上で、計り知 れない可能性を秘めた科学技術である。この為、 近年、欧米を中心として、国家レベルのナノテク ノロジー戦略が強力に展開されており、特に中核 的拠点の形成と集中的投資、この中核拠点と多様 な研究との効果的な連携といった取組が展開され、 多くの日本企業までも参加している状況である。

つくばは、この四半世紀にわたるナショナル・ リサーチパークとしての投資蓄積の結果、国内の みならず国際的に見ても、クリーンルーム、高度 ナノ計測機などのナノテク施設の資産蓄積につい ては、世界最高水準にある。

このような背景の下、2009年6月に筑波大、 NIMS、産総研、及び、経団連の4者は、研究・教 育両面に亘る統合的な戦略とマネジメントの再構 築と実行により、つくばにおいて、我が国、及び 人類社会の繁栄に貢献できるナノテクノロジー拠 点("Tsukuba Innovation Arena [TIA] nano")の形 成を目指すことを確認した(Figure 1)。

目的としては、以下の5つのポイントがある。

- (1) 世界的な価値創造
- (2) Under One Roof (共創場)の提供
- (3) 自立・好循環(共通基盤インフラ)
- (4) Win-Win 連携網
- (5) 次世代人材育成(教育機能の充実)

これらを基本理念として本拠点を形成する。

特にイノベーションに重要な共創場(Under One Roof)を意識し、本拠点のシンボルマークとして Figure 2 のシンボルマークを作成している。

2. 拠点での活動内容

本拠点で実施する6つのコア研究領域と3つの



Figure 1. NIMS, AIST, Tsukuba Univ. and Committee on Industrial Technology of Nippon Keidanren agreed to form "Tsukuba Innovation Arena nano".



Figure 2. Symbol mark for TIA nano

コアインフラを Figure 3 に示す。

これら6つのコア研究領域の内、ナノテクを活 用した環境関連技術の研究のナノグリーンは NIMS が中心となって行ない、その他の研究領域は主に 産総研が中心となるが、他の研究機関や産業界も 拠点の基本理念に基づき参加する。

3つのコアインフラについては、産総研のスー パークリーンルームを中心とするナノデバイス実 証・評価ファンドリー、NIMS や産総研で保有する



Figure 3. TIA nano focuses on 6 core-research domains and 3 infrastructures.

世界最新・最先端の大型計測設備やナノ加工装置 などをオープンに使用可能となるナノテク共用施 設、さらに筑波大の他、理科大や芝工大も参加し、 NIMS・産総研の研究者と一緒になって大学院学生 を教育するナノテク大学院連携がある。

次にNIMSが主となり担当するナノグリーンに ついて、以下、概略を述べることにする。言うま でもなく、グリーンイノベーションが現在の科学 技術政策における1丁目1番地であり、日本だけ でなく、全世界における喫緊の課題となっている。 本拠点ではNIMSがこれまでに蓄積してきた環境 技術を核として、革新的環境技術の研究開発を加 速し、温室効果ガスの削減など低炭素社会の構築 に貢献する。

特に Figure 4 に示されているように、ナノテク ノロジーを活用することで、基礎的現象理解・制 御による材料開発、計算と実験の強い連携・融合、 表面・界面現象理解と制御技術高度化を図ること により、基礎基盤技術のレベルアップを行なうこ とで、ナノグリーンに必須となる材料技術のブ レークスルーを実現する。主な研究項目としては、 高効率・低コストで資源制約の少ない革新的太陽 光発電材料、高性能なエネルギー変換・貯蔵材料 (燃料電池、熱電変換材料、二次電池、超伝導等)、 光触媒を利用した低環境負荷型の環境再生材料等 がある。これらの研究を推進するにあたり、NIMS を中心とし、産総研、筑波大、産業界が密接に連 携して、実用ニーズを見据えた基礎研究・応用開 発を推進することがつくばナノテクノロジー拠点 の大きな役割であり、使命と考えている。



Figure 4. Concept of Nano-Green research led mainly by NIMS.

3. 本拠点の位置づけと今後の展開

つくばナノテクノロジー拠点では既に WG を構 築して、活動を始めているものもあるが、これか ら本格的に動き出すものが多い。最初に述べた様 に、欧米では既に幾つかの拠点が大きな成功を納 めている。産学独の有力な研究機関が集積してい るつくばは、各機関の特長を生かした相互連携を 密接に取ることで、これらの欧米の拠点に優ると も劣らないアジアにおける大きな研究拠点として 発展し得る。その中心としてこのつくばナノテク ノロジー拠点を位置付けたいと考えている。この 拠点の存在感をアピールすることで、世界中から 優秀な人材や企業が集まる拠点となることを狙っ ている。このことにより、革新的なイノベーショ ンを各分野で引き起こし、それがさらに目的基礎 研究のタネをもたらすという良い循環を生み出す ことも期待している。

4. おわりに

つくばは「研究学園都市」として長年にわたっ て大きな投資と多くの人々の努力がなされてきた。 しかしながら残念なことに世界的な知名度はそれ 程高くない。本拠点で各機関の相互連携を実現し、 そこから生み出されるイノベーションを基にして、 つくばの存在感を世界に示すと共に、日本経済の 活性化や科学の発展にも寄与できることを願って いる。

参考文献

1) つくばナノテクノロジー拠点パンフレット



-37 -

Nano tech 2010出展





E-mail: XU.Ya@nims.go.ip







Keywords: Mesoporous Materials, Metals

白金をはじめとする貴金属は、触媒として高い活性を持ち、電極や工業触媒として用いられている。触媒機能 は露出している金属表面積を増加することで非常に活性化する。そこで多孔質化により少量の貴金属で大き な表面積を実現し、高い触媒活性を示す新しいメソポーラス金属を開発する。

Noble metals such as platinum are known to possess high activity as a catalyst, and are widely used as an industrial catalysts and an electrodes in batteries. When the surface area of metals can be increased, dramatic improvement in catalytic performance can be expected, as the exposed area also is increased. Here we will present our recent research on synthesis of new mesoporous metals.



Introduction

界面活性剤の自己組織化プロセスを利用することで、金属内部にナノ空間をより精密にデザインすることが可能となった。 表面積は、60 m²/g以上であり、熱的にも安定な金属ナノ構造であることから今後自動車の浄化触媒や燃料電池の電極 材料としての展開が期待されている。

Ordered mesoporous metals can be easily created by using supermolecular assemblies of surfactants. The obtained materials shows high thermal stability, being able to withstand up to 300 degree. Their surface area is more than 60 m²/g, thus achieving the highest area among all existing metal-based nanomaterials.

分子鋳型で金属ナノ空間を作り出す~ボトムアップ的なアプローチでナノ空間をより精密にデザイン~

界面活性剤の大きさを変えることで、細孔の大きさやナノ 空間の構造を自由自在に変えることができる。また薄膜 化やファイバー化も可能であり、溶液プロセスを導入する ことでナノ粒子の形態でも合成できる。

We can finely control the mesopore size by changing the size of the used surfactants. Also, various morphologies such as films, fibers, and nanoparticles can be prepared under the optimized electrochemical conditions.





巨大細孔有するメソポーラス金属の電子顕微鏡写真 Electron microscopical images of mesoporous metals with giant mesopores メソポーラス金属ナノ粒子(白金ナノ金平糖)の電子顕微鏡写真 Electron microscopical images of mesoporous metal nanoparticles



メソポーラス金属ファイバーの電子顕微鏡写真 Electron microscopical images of mesoporous metal fibers

まとめ Summary

- 界面活性剤の自己組織化プロセスを利用し、金属内部に ナノ空間を精密にデザインできる。
- ●細孔の大きさやナノ空間の構造、粒子の携帯制御が可能。
- 表面積は60m²/g以上、熱的にも安定なナノ粒子。

将来の夢 Future Development & Outcome

- 自動車の浄化触媒
- 燃料電池の電極材料

担当者名: 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA) 山内 悠輔 E-mail: Yamauchi.Yusuke@nims.go.jp



Nano tech 2010 出展

コネルギ











担当者名: センサ材料センター センサ物理グループ 任 暁兵 E-mail: REN.Xiaobing@nims.go.jp













担当者名: 超伝導材料センター 高温線材グループ 北口 仁 E-mail: KITAGUCHI.Hitoshi@nims.go.jp



1









E-mail: YASUDA.Takeshi@nims.go.jp



担当者名: 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA) パイ電子エレクトロニクスグループ 三成 剛生、塚越 一仁 E-mail: TSUKAGOSHI.Kazuhito@nims.go.jp



2 分子デバイス











担当者名: 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA) 樋口 昌芳 E-mail: HIGUCHI.Masayoshi@nims.go.jp





3光機能材料・

Nano tech 2010 出展(2010.2.17 ~ 2.19)




















担当者名 : 計算科学センター 第一原理物性グループ 奈良 純、大野 隆央、近藤 恒 E-mail: NARA.Jun@nims.go.jp



*坂田利弥、*松元亮、*前田康弘(*:東京大学大学院工学系研究科) E-mail: MIYAHARA.Yuji@nims.go.jp





まとめ Summarv

- ●細胞毒性に応答するセンサ細胞を作成した。
- センサ細胞をマイクロ流路内で培養することに成功した。
- ●塩化カドミウムの層流の濃度に従い蛍光が上昇した。
- ●マイクロ流路内で細胞毒性を迅速かつ簡便に測定できた。

● 医薬品やナノ物質の毒性評価に応用したい。

Future Development & Outcome

- ●いろいろな種類のセンサ細胞を作成する。
- より複雑なマイクロ流路を用いて測定する。
- 細胞アレイに応用する。

担当者名:生体材料センター 先端医療材料グループ 谷口 彰良、右田 聖 E-mail: TANIGUCHI.Akiyoshi@nims.go.jp



担当者名: 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA) 中西 淳 共同研究者: 山口 和夫(神奈川大理) E-mail: NAKANISHI.Jun@nims.go.jp 生体関連



"自然から学ぶナノテクノロジー"研究クラスター

■個別研究課題1

・魚や虫の体色から学ぶ構造色(新しい構造色、魚の変 色構造を利用した歪センサーの開発)/不動寺 浩
・アワビの真珠層の構造から学ぶ無機・有機複合構造 (高靭性材料の創製)/垣澤 秀樹
・落葉・昆虫・爬虫類から学ぶ可逆的接着(循環型のものづくりへ貢献)/細田 奈麻絵,重藤 暁津
・生物的プロセスの模倣・バイオミネラリゼイション(常温でセラミックスを創る)/齋藤 紀子



まとめ Summary

 農学、材料学などの異分野の研究者によるネットワークを 通じて、自然のナノ構造を理解し、ものづくりに生かす取 り組みを行っている。



■個別研究課題2 ・細胞間の接着剤/田口 哲志 ・生物的プロセスで骨を作る(有機無機複合構造)/ 菊池 正紀 ・粘土のナノ構造から学ぶ積層構造(新機能を持った 材料の開発)/山田 裕久、田村 健司、森本 和也 ・脳を創る/中山 知信 ・地衣類と表面の界面/渡邉 克晃

将来の夢 Future Development & Outcome

ナノテクノロジーを用いて、まだ知られていない生物が造り出したナノ形状と機能の発現を理解し、その知識をものづくりに生かし、循環型の技術開発を行いたい。

担当者名: ハイブリッド材料センター 機能化インターコネクショングループ 細田 奈麻絵 E-mail: HOSODA.Naoe@nims.go.jp









担当者名: ナノ計測センター 先端電子顕微鏡グループ 木本 浩司 E-mail: kimoto.koji@nims.go.jp



6

材料基盤技術



E-mail: OGATA.Toshio@nims.go.jp

6

材料基盤技術



6

材料基盤技術

- 79 -









担当者名: 超耐熱材料センター 原田 広史、横川 忠晴、小林 敏治、鉄井 利光、藤岡 順三、小泉 裕、坂本 正雄 E-mail: HARADA.Hiroshi@nims.go.jp





担当者名: 環境・エネルギー材料萌芽ラボ 融合領域研究グループ 中谷 功 E-mail: nakatani.isao@nims.go.jp

7 大型展示





技術移転関連のお問い合わせ先

担当部署名:企画部連携推進室

電話:029-859-2600

FAX : 029-859-2500

E-mail : M-O@nims.go.jp

ホームページ : http://www.nims.go.jp



独立行政法人 物質・材料研究機構 企画部 広報室

千現地区 〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1 TEL: 029-859-2026 FAX: 029-859-2017

http://www.nims.go.jp/