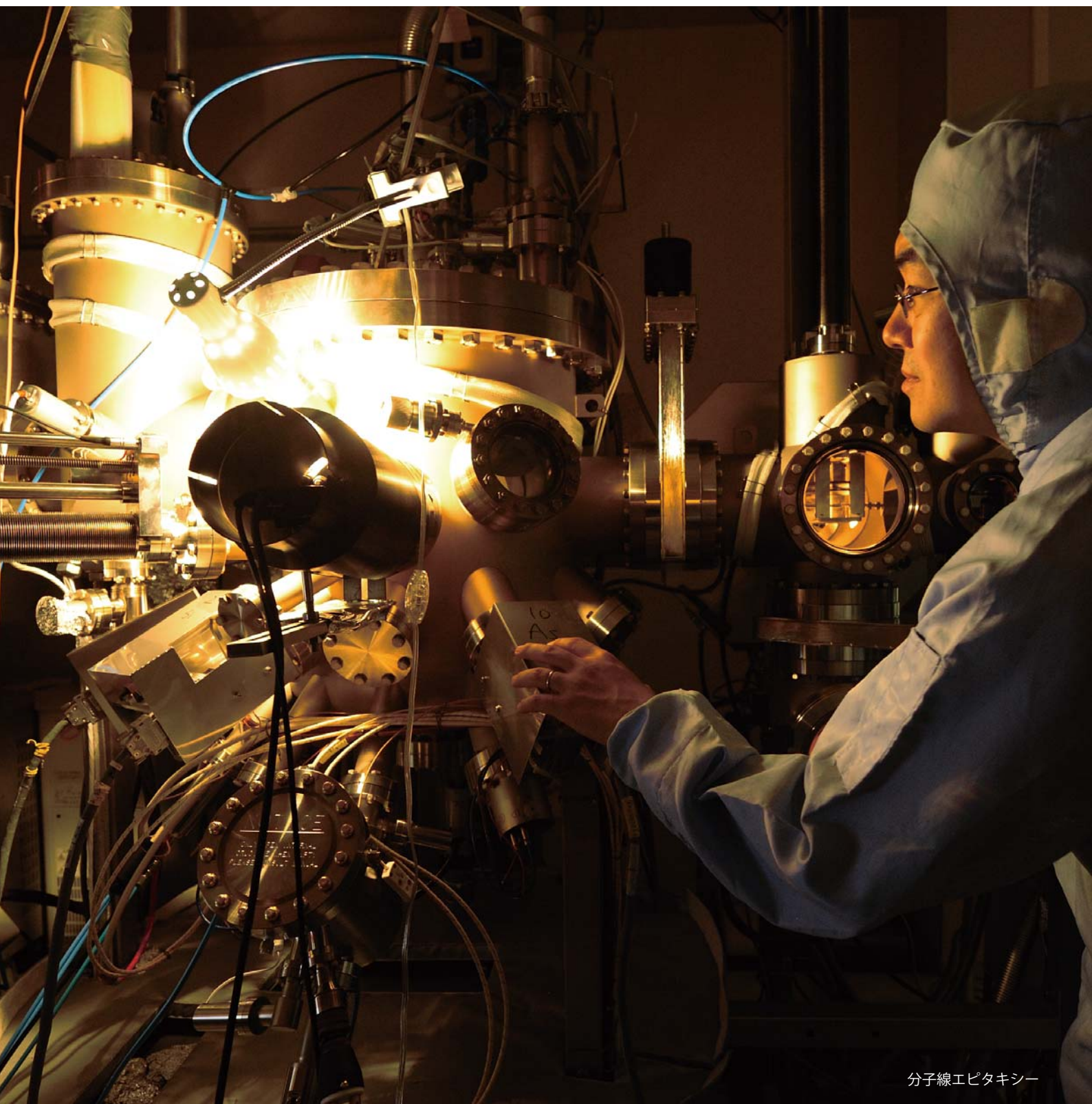


NIMS

2010年 5月号

NOW

進化する
量子ドットの世界



進化する 量子ドットの世界

量子ドット。二十年前には実現不可能と思われた夢の技術が、一躍実現可能なものとして注目を集めています。その最前線のひとつが、迫田和彰センター長率いるNIMSの量子ドットセンター。そこで培われた研究成果は、やがてレーザーから太陽電池、バイオ、量子情報解析にいたる様々な技術に多大なインパクトを与えるでしょう。量子ドットとはどのような技術なのか、その技術はなにを社会にもたらすのか。ブレイクスルー間近の量子ドットに迫ります。

量子ドットの面白さ 量子サイズ効果による多彩な物性と応用

量子ドットセンター センター長
迫田 和彰

ナノメートルサイズの半導体の微粒子を量子ドットと呼びます。

この状態では波動関数が小さな体積に閉じ込められるため、電子のエネルギー準位は飛び飛びの値をとります。それが非常に興味深い、多様な物性となってあらわれるのです。

第1に、量子ドットのサイズが小さく、波動関数が小さな体積に閉じこめられるほど、ハイゼンベルグの不確定性原理にしたがって電子のエネルギーが大きくなります(量子サイズ効果)。このため、同じ材質の量子ドットであっても、大きさの違いによって発光波長(色)を変えることができます(図1)。

第2に、発光ピークが鋭いのでピーク波長において大きな光増幅が可能です。

第3に、電子間に働くクーロン反発力のために、複数の自由電子が1つの量子ドットに存在する確率が小さく、1個の電子による発光や電気伝導が実現します。1個の電子スピンも観測できます。

第4に、電子とホール(正孔)間のクーロン引力が大きく、両者の複合粒子である励起子が安定化します。

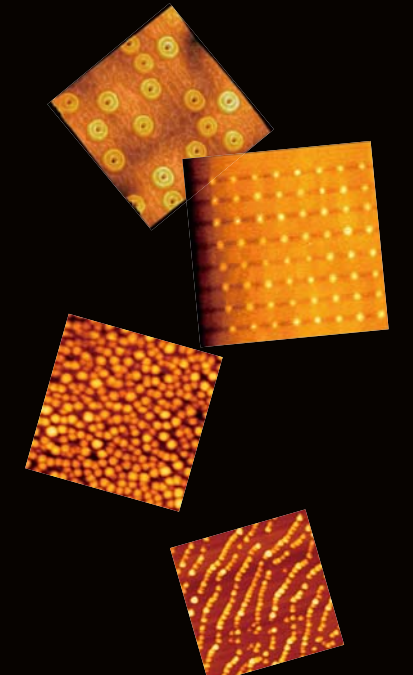
第5に、電子の位相緩和が小さいので、長い位相緩和時間を必要とする量子計算の実現などに有利です。また、有機色素とくらべると、光吸収の繰り返しによる劣化が少ないという利点があります。

以上のような特徴を利用することにより、図2に示すような数々の応用を目指した研究が進行中です。

量子ドットの研究の初期には、リンググラフィーによる作製が試みられました。しかし、小さな構造の作製が難しいことと試料表面に多数の欠陥が生じてしまうことから、今日では自己成長法が主流になっています。

NIMSでは、前量子ドットセンター長の小口信行らが液滴エピタキシーの方法(小口法)を開発して、いち早く量子ドットの自己成長に成功しました(1990年)。また、2005年には2重量子リングの作製に成功し、注目を集めています。

この特集では、NIMSにおける液滴エピタキシーによる量子ドット研究についてご紹介します。



(上から)同心二重量子リング、位置制御された量子ドット、非常に高密度な量子ドット、階段状の基板に整列した量子ドット

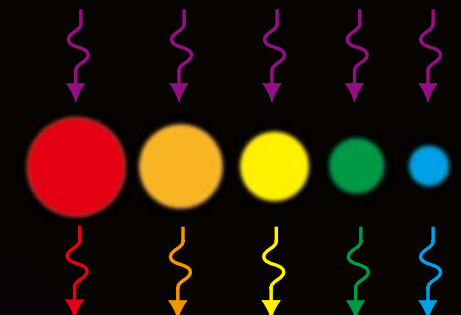
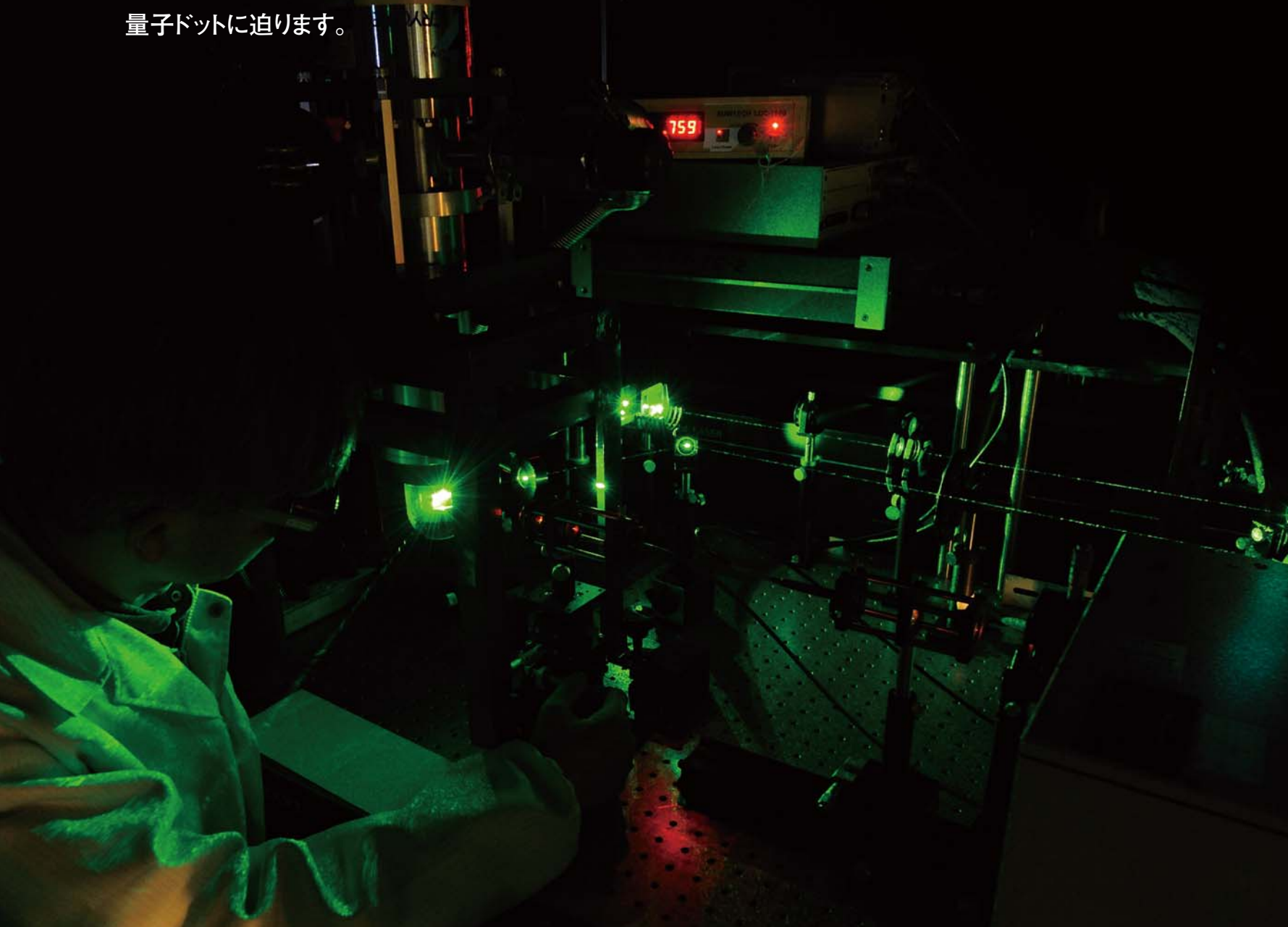


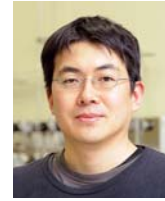
図1 量子サイズ効果による発光色の変化

フォトニクス分野	赤外線センサー ディスプレイ
量子情報分野	単一フォトン光源 量子ビット
基礎科学分野	アハラノフ・ボーム効果 パーセル効果
生体・医療分野	細胞マーカー 癌診断
エネルギー分野	量子ドット増感太陽電池 量子ドット型太陽電池
光エレクトロニクス分野	量子ドットレーザー 量子ドットLED

図2 量子ドットの応用分野



量子ドットの自己形成技術 液滴エピタキシー法の進展



量子ドットセンター
間野 高明



量子ドットセンター
野田 武司



量子ドットセンター
川津 琢也

量子ドットを自己形成でつくる

数十ナノメートルサイズの量子ドットの作製には、現在自己形成と呼ばれる手法がよく用いられます。この手法では、基板上に均様に材料を供給するだけでナノメートルサイズの島状構造が自然に形成されて、量子ドットになります。そのため、1cm²あたり数億〜千億個の非常に高い密度で量子ドットを簡単に、かつ高品質で作製することができます(図1)。

このような優れた特色を持っている自己形成手法は、ゼロ次元系における基礎物性研究やレーザーをはじめとする素子応用の観点から、1990年代以降大きく発展してきました。量子ドットの自己形成手法としては、SK法(ストランスキークラスタノフ法)という手法が広く知られています。この手法では、基板と格子定数の異なる材料を成長した際に、はじめに二次元成長した後に三次元島状成長することを用いて量子ドットを作製します。この手法は、光ファイバー通信に適用可能な波長で発光するインジウムヒ素(InAs)量子ドットの作製などに用いられ、量子ドットレーザーなどの実用化にむけた取り組みがさかんにおこなわれています。

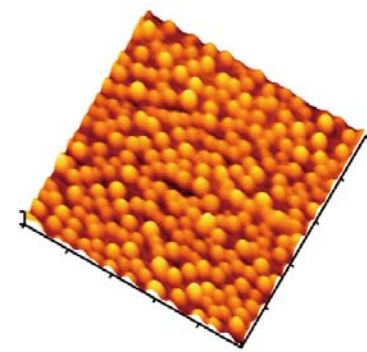


図1 液滴エピタキシー法により自己形成したGaAs量子ドット。1cm²あたり1000億個(10¹¹/cm²)と、非常に高密度な量子ドットが形成されている。

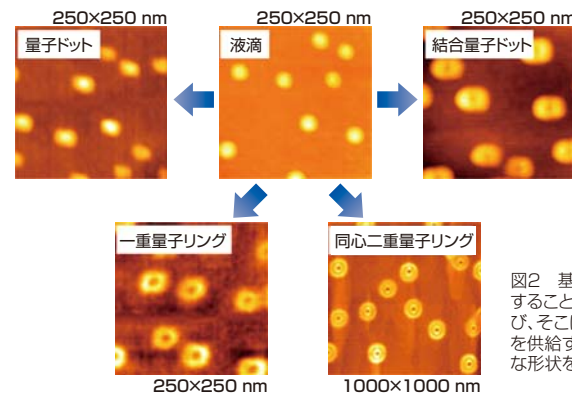


図2 基板上にガリウムのみを供給することにより形成したGa液滴、及び、そこに異なる強度のヒ素分子線を供給することにより形成した多様な形状を有する量子ドット。

NIMSが考案した「液滴エピタキシー法」

一方、NIMSでは1990年に「液滴エピタキシー法」と名付けられた日本独自の量子ドット自己形成手法を考案し、これまで研究開発を進めてきました。

この方法は、ガリウムヒ素(GaAs)、インジウムヒ素(InAs)、ガリウムアンチモン(GaSb)などの化合物半導体に用いられています。これらの構成元素であるガリウムやインジウムのみを基板表面に照射すると、ナノメートルサイズの半球状の金属液滴が自然に形成されることを利用したものです(図2)。

これは、テフロン加工されたフライパン上に水をかけると水滴になるのと同様の原理です。この液滴にヒ素(As)やアンチモン(Sb)を供給すると、液滴が化合物半導体へ結晶化し、量子ドットが形成されます。

液滴エピタキシー法は、このような成長機構に基づき量子ドットを形成するため、前述のSK法が適用できない、ガリウムヒ素/アルミニウムガリウムヒ素(GaAs/AlGaAs)のような格子整合材料系にも適用できるという特徴を持っています。

液滴エピタキシー法は、通常の結晶成長とかなり異なる条件でおこなう必要があります。そのため、研究開始当初は、低温過程による

品質低下など様々な問題により高品質な量子ドットの形成は困難でした。

しかし、その後、熱処理過程の導入など、様々な改良を重ね、現在では極めて高品質な量子ドットを精度よく作製できるようになってきました。

また、液滴の結晶化という複雑な過程に着目することにより、通常の量子ドットに加えて、同心二重量子リング、一重量子リング、結合量子ドットなどの、他の手法では実現困難な複雑な形状を有する新規量子ドット構造の作製にも成功しています(図2)。

注目を浴びる液滴エピタキシー法

現在では、これらの量子ドットを対象にした光物性研究、またその特徴を生かした量子ドットレーザーや量子ドット太陽電池などのデバイス応用を見据えた研究をおこなっています。

これまでのわたしたちの研究によって、液滴エピタキシー法には有用性と大きな可能性があることが明らかになってきました。その結果、同手法に対する注目が高まり、追従する研究グループが急増しています。現在ではヨーロッパ、アメリカ、アジアの各国で同手法を用いた研究が精力的におこなわれています。

量子ドットの精密分光実験 天然原子と量子ドット — 類似性と相違性



量子ドットセンター
黒田 隆



量子ドットセンター
マルコ アバルキ

原子のようにふるまう量子ドット

半導体を用いて量子ドットを作製すると、大きさが数ナノメートルの微小空間に伝導電子を閉じ込めることができます。

これは孤立した原子の状態——原子核の近傍に電子が束縛されている状態——と似ています。次の実験では、量子ドットが原子のように振る舞うことがわかります。

図1に我々が作製した量子ドットの発光スペクトルを示しました。この量子ドットは自己形成的な手法で作製しています。そのため、試料の上には、1cm²当たり10⁹–10¹²個といった莫大な数の量子ドットが存在します。

通常の蛍光分析では、量子ドットの集団からの発光信号を計測します(黒線)。この場合、波長730nmを中心に幅広いスペクトル帯が観測できます。

一方、試料を顕微鏡対物レンズの下に置き、視野を十分小さくすると、たった数個の量子ドットからの信号のみを選び出すことができます(青・赤線)。この時の発光スペクトルは、量子ドット集団からの発光スペクトルと異なり、分離した輝線スペクトルの集まりとなることがわかりました。個々の輝線は異なる量子ドットに由来します。

一般に、固体のエネルギー準位は幅の広い連続的なスペクトル(バンド構造)となります。一方、量子ドットは、固体であるにも関わらず、孤立原子と同じく、離散的なエネルギー準位を持ちます。このとき、エネルギー準位の値は、量子ドットの大きさに依存します。そのため、蛍光波長が決まっている原子とは異なり、量子ドットでは、大きさや形を制御することで、発光波長を変えることが可能なのです。

一方、量子性を活用する実験やデバイス応用には、単一の量子ドットを選び出さねばならないといった面があります。

量子効果の検証

量子ドットの準位構造は、原子と同じように、s殻、p殻...と言った殻構造をもつことが知られています。

量子ドットに1個の伝導電子が存在する時、その電子は最低準位のs殻を占有します。電子数を2個、3個...と増やすと、多電子原子における電子配置と同じく、低エネルギーの殻から電子が順番に占有していきます。

わたしたちは、高分解能の単一量子ドットの分光観測をおこない、量子ドットにおける多電子エネルギーが、1電子エネルギーの足し合わせではなく、電子相関を反映してその値から僅かにずれていることを発見しました。また、電子間スピン相互作用に由来する微細スペクトル構造や、原子核スピンに由来する超微細構造の観測にも成功しました。

このように、量子ドットを用いることで、原子の世界で知られている量子効果を鮮やかに再現することが出来ます。また、量子ドットの

大きさや形、そこに含まれる電子数を制御することにより、固体物理の中心課題である多体現象を究明できます。

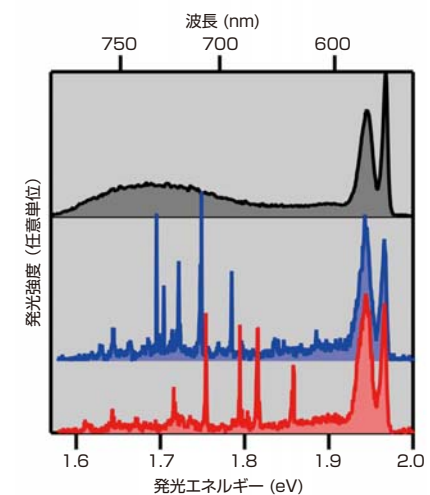
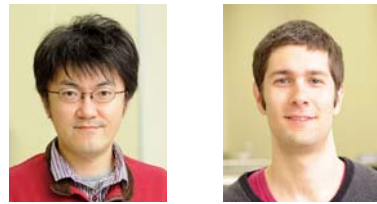


図1 GaAs量子ドットの発光スペクトル。黒線は量子ドット集団からの発光であり、青線・赤線は顕微鏡下に試料を置き、高々数個の量子ドットを選び出した時の発光。1.95eV付近の信号は、障壁層からの発光であり、1.7eVを中心として量子ドットの発光線が分布する。測定温度は10 K。



図2 顕微鏡分光装置の写真。手前の顕微鏡対物レンズの下、真空冷却器のガラス窓を挟んで試料が置かれている。

量子ドットを用いた新規光源の開発 量子通信の実現に向けて



量子ドットセンター
黒田 隆



量子ドットセンター
マルコ アバルキ

1個の光子で情報を送る

光ファイバー伝送に使われる光源には、通常レーザー光を用いています。一方、光源の強度を落とし、1ビット当たり1個の光子で情報を伝送する方法が、「量子通信」です。

従来の光通信では1つの光パルスが1ビットの情報に対応しています。この時、個々の光パルスは莫大な数の光子から構成されています。そのため、伝送路に仕掛けをして、わずかな数の光子をとりだせば、伝送者に露見せずに情報を抜きとることが可能でした。

一方、1個の光子を情報の担い手に用いる場合、わずかでも伝送路を分岐すれば、受信者側に光が届かなくなります。そのため、仮に盗聴者がいても、情報が抜き取られていることが確認できます。このように1個の光子をあつかう量子通信は、秘匿性が絶対保証された通信手段といわれています。

単一光子を発する量子ドット

量子通信の実現のためには、1個の光子を発生できる光源が必要です。そのような光源を単一光子源とよびます。

単一光子の状態は、レーザー光など通常の光を十分に減光することで疑似的に実現できます。しかしこの場合、光子の数がランダムな確率分布になるため、伝送ビット・レートを十分に下げねばなりません。

かわりに単一光子源として注目されている

のが、半導体量子ドットです。1個の量子ドットを取り出せば、そこから発する光は、必ず1個の光子となります。また、励起のタイミングを変えるだけで、オンデマンドに単一光子のパルスを発生することができます。

単一光子は、光強度やスペクトルを見る限り、減光したレーザー光とまったく変わりません。その光が単一光子であることを実証するための実験は図1のようになります。

ここでは、量子ドットから発する光ビームを半透明ミラーで2分割し、おのおのの経路の光を光子検出器で計測しています。光子がどちらの経路をたどるかは確率的であり、2つの光子検出器はランダムな時系列で光子を検出することになります。

ここまでは、単一光子ビームもレーザー光も同じ結果となりますが、2つの検出器が同時に計数するイベントに注目すると、単一光子ビームの場合は(1つの光子はそれ以上分割できないため)同時計数率はゼロになります。一方、減光したレーザー光では、光子数は確定せず、同時計数イベントも一定確率で発生することになります。

図2には、わたしたちが作製したガリウムヒ素(GaAs)の量子ドットにおける実験結果を示しました。同時刻に検出される光パルスにおいて、同時光子計数がゼロとなる様子がわかります。

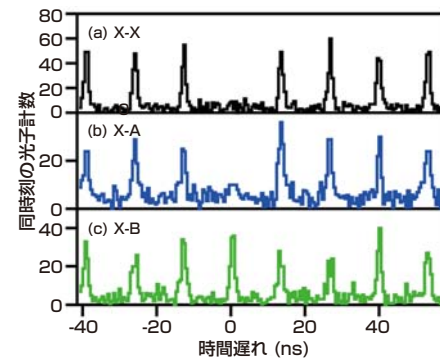


図2 GaAs量子ドットにおける単一光子特性。1個の量子ドットから発するパルス列的な発光信号に対して、光子相関を観測した。黒線が、1対の電子-正孔が量子ドットに存在する時の発光であり、時刻ゼロにおいて同時計数のイベントが無いことがわかる。光パルスの中に光子が高々1個しかいないことを結論づけた。青線、緑線は、複数の電子が量子ドットの存在する時の発光をあらわす。

材料科学的なアプローチで新発見

日米欧で単一光子源の研究開発が進む中、わたしたちは材料科学的なアプローチを経て重要な新発見に至っています。

その1つが、従来扱われていなかったガリウムヒ素/アルミニウムガリウムヒ素(GaAs/AlGaAs)の組み合わせを量子ドット材料として用いたことです。

この材料を用いたことにより、可視域での単一光子発生にはじめて成功しました。この発光波長は、受光感度が高いシリコン系光子検出器の最適波長に合致するため、高効率の量子通信が実現できるのです。

一方、光ファイバー伝送においては、伝送損失が抑えられた通信波長帯の光源も望まれています。そこでわたしたちは、量子ドットの母体材料としてリン化インジウム(InP)を用い、量子ドットの形状を最適化することで、波長1.55 μm での単一光子発生に世界ではじめて成功しました。

量子ドットとフォトニック結晶の融合



ナノテクノロジー融合センター
ナノ集積ライン 杉本 喜正

フォトニック結晶による輻射場制御

輻射場(電磁場)の設計による物質の光学特性の制御は、現代光学のキーテクノロジーのひとつです。1987年のYablonovitchとJohnによる理論提案以降、多種多様なフォトニック結晶が考案されて、この目的のために利用されてきました。

フォトニック結晶は、光の波長程度の周期で屈折率を空間変調した人工構造物であり、電磁波の存在しない周波数領域(フォトニックバンドギャップ)をつくりだすことができます。

この性質を利用すると、優れた特性をもつ波長フィルター、偏光フィルター、光導波路、微小共振器など、従来技術では作製困難な各種の光デバイスが実現できます。とりわけ、半導体のリソグラフィ技術により作製されるスラブ型フォトニック結晶は、通信波長帯などの近赤外光の制御にも適用可能になる、精緻な微細構造が形成できるという、すぐれた特徴をもちます。

量子ドットとフォトニック結晶

このようにフォトニック結晶は、特有のバンド構造と強い分散特性を有し、一方、半導体量子ドットは電子の高い状態密度と低次元構造に由来する電気的、光学的特長があり、これらを融合したデバイスは、将来の量子情報システム分野などへの応用が期待されています。

NIMSは独自の液滴エピタキシー法による量子ドット作製技術、半導体極微細加工技術によるスラブ型フォトニック結晶作製技術を有する唯一の材料研究所として、融合研究の促進を積極的にすすめてきました。

フォトニック結晶微小共振器の作製

量子ドットセンターとナノテクノロジー融合センターは共同で、液滴エピタキシー成長によるガリウムヒ素(GaAs)量子ドットをスラブ型フォトニック結晶中に組み込んだフォトニック結晶微小共振器の検討をすすめています。

実際の素子は単層GaAs量子ドット(量子ドット密度約 $5 \times 10^9 \text{cm}^{-2}$ 、5K発光波長 $\sim 760 \text{nm}$)をMBE成長^{*1}し、その成長基板に世界最高レベル加速電圧100kV高精度電子線描画装置と高密度プラズマドライエッチング装置を用いて極微細加工し、フォトニック結晶微小共振器構造を作製しました。格子定数 $\sim 200 \text{nm}$ 、孔半径 $\sim 60 \text{nm}$ の空孔を空け、中心部分に空孔がないL3型の微小共振器構造となっています(図1)。

パーセル効果の確認

作製したフォトニック結晶微小共振器を低温5Kにおいて顕微分光法により発光特性を観察しました。測定された発光スペクトルから量子ドットの発光がフォトニック結晶の共振器モードと結合することで、共振器モードでの鋭いピークが観測され、強度として約20倍以上、スペクトル半値幅0.3 $\sim 1.5 \text{nm}$ が得られ、Q値に換算すると500 ~ 2000 が得られました。

さらにピコ秒パルスレーザとストロークカメラを用いた時間相関単一光子計数測定によって発光寿命を評価しました。共振器中にある量子ドットの発光寿命が共鳴時にはパーセル効果によって短くなっていることがわかりました(図2)。

今後さらに単一光子光源として適用可能となるように性能向上をすすめています。

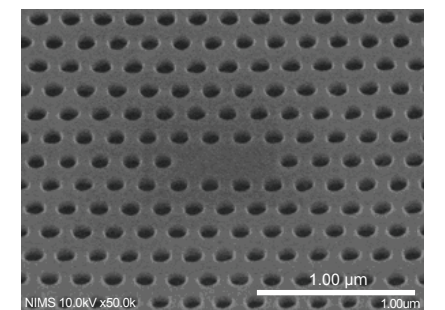


図1 フォトニック結晶微小共振器のSEM写真

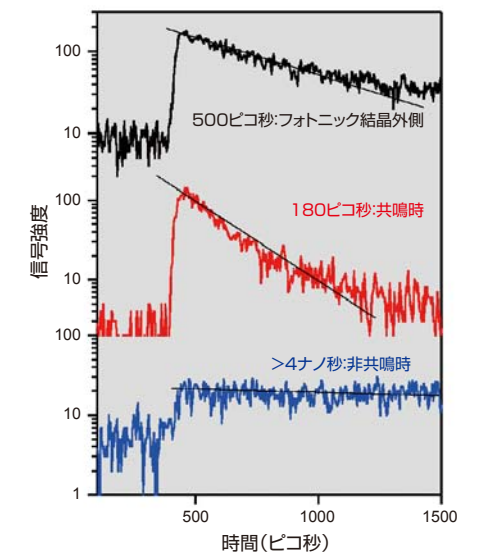


図2 時間分解フォトルミネッセンス測定による発光寿命

*1 MBE:分子線エピタキシー

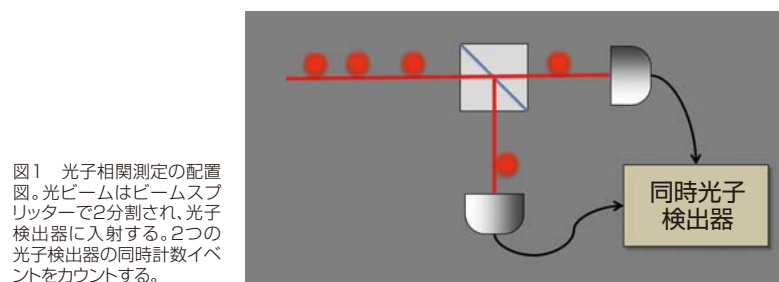


図1 光子相関測定の配置図。光ビームはビームスプリッターで2分割され、光子検出器に入射する。2つの光子検出器の同時計数イベントをカウントする。

世界が注目している NIMSの量子ドット研究

量子ドットセンター センター長

迫田 和 彰

液滴エピタキシー法という独自の量子ドット製造技術を生み出したNIMS。ユニークなナノ構造の創製に加えて、解析技術の高度化と他分野との融合研究に邁進するのが量子ドットセンターです。量子ドット研究は今後どのように展開していくのか、その中でNIMSはどんな役割を果たしていくのかなどについて、迫田センター長にうかがいました。

—量子ドットにかかわられたのはいつごろからですか。

私は大学院を卒業後、企業の研究所に10年ほど勤めました。そこでは主に、光反応性の色素分子による超高密度光記録の研究を行なったのですが、これは光化学ホールバーニングという原理にもとづくもので、記録波長の多重化によって超高密度記録を実現します。そのためには色素分子がたいへん鋭い吸収線をもっている必要があります。液体ヘリウム温度(−269℃)くらいの極低温まで記録媒体を冷却しなければなりません。それで、高温化が重要な課題だったのですが、温度特性に影響する要因は分かっていたので、有望そうな材料をいろいろ試したところ、研究を始めて3年目頃に液体窒素温度(−196℃)ではたらく材料を見つけました。あいにく室温で機能する材料の発見にまでは至らなかったのですが、この研究の過程で有機分子の光学特性や測定法について多くの事柄を学びました。

その後、北大に呼んでいただいたのですが、そこで出会ったのが量子ドットです。当時は、ガラスの中に析出させたII-VI族半導体の量子ドットが主な研究対象でしたが、量子ドットの物性がそれまで扱っていた有機分子とたいへん似ていると感じました。それで、有機分子の分野ですでにポピュラーになっていた測定法を、レーザー分光の得意な大学院生の一人に伝授して測定したところ、それまで信じられていた吸収線幅の値が全く誤りであったことがわかりました。正しい値は一桁も小さかったのです。

—そのころ、すでに量子ドットの応用については考えられていたのですか。

全く考えていませんでした。というよりも、北大時代は量子ドットとは別の分野を主に研究しました。それは当時、黎明期にあったフォトニック結晶です。実験、理論ともに有望な研究テーマがゴロゴロしている状況だったのですが、私自身は理論研究に強く



ひかれて、北大時代の大半を理論研究で過ごしました。

北大に10年近くお世話になった後、今度はNIMSに呼んでいただき、再び量子ドットの研究にかかわることになりました。私の主眼はフォトニック結晶と量子ドットの融合による新奇物性の創出です。試料作製でナノテク融合センターに協力していただきながら研究を進めています。

—実用化への道は簡単ではないのですね。

すでに商品化された量子ドットレーザーに加えて、最近、違う方向からも実用化への道が開けてきました。それは細胞マーカーです。実は量子ドットは化学合成でも作れるのですが、化学合成の場合には量子ドットの表面

にいろいろな官能基をくっつけることができます。この性質を利用して、癌細胞にくっつきやすい量子ドットなどをつくって蛍光マーカーとして利用します。例えば、マウスの癌細胞が血流にのって転移する様子をリアルタイムで追跡することなども可能になっています。

—さて、量子ドットのつくりかたですが。

NIMSで確立した方法は液滴エピタキシーという自己成長法で、小口信行さんらが1990年に口頭で発表し、1991年に論文をだしました。もうひとつはSK成長法で、これは半導体の薄膜をつくる過程で構造が不均一になり、島状構造ができる現象を利用します。液滴エピタキシーはこれまで少数派だったのですが、内部応力が存在せず、異方性の小さい量子ドットが作製できるなど、SK法にはないすぐれた特長があり、量子暗号通信の光源に適しています。また、液滴エピタキシーで二重量子リングをつくることもできたのですが、こちらは構造のユニークさに加えて、アハラノフ・ボーム効果のような量子力学の基礎に関わる実験に応用できます。そういった事情から、この2、3年の間に液滴エピタキシーに関する論文の数が急速にふえていて、本家である我々NIMSもうかうかできない状況です。

—若い研究者について、どう思われますか。

研究室には外国人の大学院生が4名いるのですが、若い皆さんと話すのは楽しいですね。いっぽうで、日本人学生がほとんど来てくれないのが悩みです。リサーチアシスタントの手当でもあるので、研究に専念したい日本人学生にたくさん来てほしいですね。

量子ドットレーザーの 実用段階はすぐそこです

ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構 機構長
東京大学 教授

荒川 泰 彦

量子ドットの提唱者(紳裕之教授とともに)である東京大学の荒川泰彦教授。教授はnano tech 2010^{注1}の実行委員であり、日本および世界のナノテクノロジーを牽引するリーダーの一人です。量子ドットレーザーの実用化に心血を注ぐ荒川教授に、量子ドットの現在とその将来像を語っていただきました。

—nano tech 2010について、どんなことを感じられましたか。

NIMSはたいへん立派な出展をなさっていて感心したのですが、今年は電機メーカーが軒並み出展をとりやめたのが、関係者としては残念でした。ナノテク展は、やはり出口を意識することが大切で、素材の方へ振れ過ぎるのはどうかという気がします。来年からは復活してくれることを願っています。

一方、外国からの出展は積極的で、いずれも世界一のナノテク展にふさわしい展示であったと思います。大学関係も小規模ながらがんばっていましたね。

—ナノテクそのものにたいして曲がり角論もありますか。

2001年を中心に、(アメリカ大統領のナノテク イニシアチブなど)ブームがあったわけですが、ナノテクは本来基盤的な分野です。たとえば、(日本)政府の重点四分野の中に並列にとりあげられているのは、あまり適当ではないかもしれません。ナノテクは他の三つの分野を下支えするような役割を果たすのであって、四つのうちのひとつというように

分けられるものではないはずです。そういう意味では、ナノテクの重要性は今後も増しこそすれ、減っていくことなど考えられません。

最近出口論が盛んですが、ナノテクが直接どんな出口をもつかというより、ITやバイオなどの分野がナノテクを活用することによって、より革新的な出口がひらけていくことが一層大

事なのではないでしょうか。

—そこで先生の量子ドットですが。

量子ドットは、わたしにしてみればデバイスの究極的なあり方を探っていくうちに到達した概念ですから、当然出口のことを考えていたわけです。

わたしたちが量子ドットのことを発表して量子ドットレーザーの可能性を示したのは1982年ですが、それは一種の思考実験のようなもので、20世紀中にできるとは考えていなかったのです。ところが1980年代後半に量子ドットの自己形成現象が見つかった。俄然実現への現実味が出てきました。

おそらくこの5~10年のあいだに、光ローカルエリアネットワークで使われる半導体レーザーは、量子ドットレーザーが席卷すると思います。

—量子ドットにおきかわるということは、真

空管がトランジスタに

おきかわったのと同じ

ようなことなのですか。

ちょっと違います

ね。真空管がトラン

ジスタにかわるという

ようなドラスティックな

変化ではなく、外見は

同じですが、中の活性層(光を出す部分)が量子ドットになるため、まったく性能が変わってしまうのです。低エネルギー、低価格、温度変化に対する安定などが達成されるので、既存のシステムをおきかえてしまうというわけです。

量子ドット技術はハイテクなのにローコス

ト。ハイテクがローコストをもたらす、社会に普及していくというのがポイントです。

—レーザー以外にも応用はひろがっていくのでしょうか。

いまは主に光ファイバー増幅器が使われていますが、これが量子ドット増幅器にかわるでしょう。それから量子暗号(量子をつかった暗号技術)が遠い将来実現します。また、量子ドットは特定の波長、エネルギーに対して反応しますので、がんの早期発見もできるようになるかもしれません。また、極めて変換効率のよい太陽電池がつけられる可能性もありますね。

—若い研究者に対してのメッセージを聞かせてください。

有能な若い研究者はよくやっていると思いますよ。最近の研究のための予算も確保されていますし、自分を伸ばす場は十分にありますから。ただ、微妙なのは予算が楽につくのが研究者にとって本当によいことなのかどうかです。こういう状況では情報過多ということもあって、いわゆる重要なトピックスに研究者が集中してしまう。真にイノベティブな成果は、本当にむづかしいことを、我慢して、苦しんで、ようやく見つけるところに生まれるものです。そうした取り組みにも、ぜひチャレンジしてほしいですね。

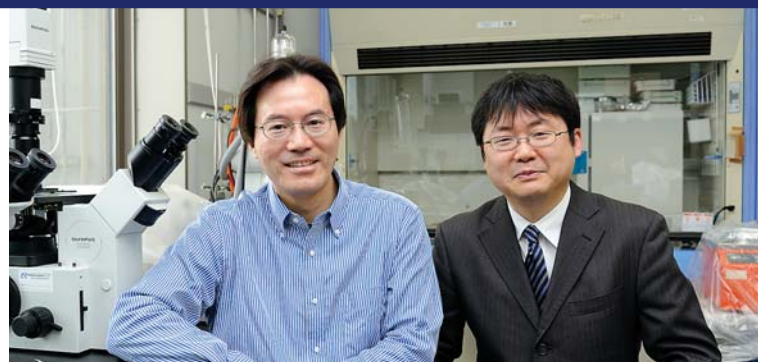
「真にイノベティブな成果は、本当に難しいことを我慢して、苦しんで、ようやく見つけるところに生まれる。」

注1 nano tech 2010国際ナノテクノロジー総合展・技術会議
詳細はNIMS NOW2010年4月号参照

氷を鋳型とした 多孔質材料の作製

—効率よく生体組織の再生を促す材料—

生体材料センター
高分子生体材料グループ
チンコク・ヘイ
陳国平 グループリーダー
川添直輝



左:陳氏、右:川添氏

けがや病気で失われた組織や臓器の再生を目指す生体組織工学が近年注目されています。生体組織工学では、目的組織の形状を与えると同時に、細胞を三次元的に分布させ、組織再生のためのスペースを提供する多孔質材料が重要な役割を果たします。多孔質材料に細胞を均一に分布させるかどうかは、組織の再生効率を左右する重要なポイントです。

しかし、従来の多孔質材料では細胞を均一に分布させることが難しく、望んだ組織が得られないことがありました。原因として、材料内部の空孔が表面とつながっていないことや空孔サイズ・形状の制御が十分ではないことが挙げられます。

今回、私たちは氷微粒子を鋳型に用いて、多孔質材料の表面には開いた空孔、内部には互いにつながった空孔を形成させる方法を開発しました(図1)。まず、撥水性表面に水滴を撒布し、凍結することにより氷微粒子の鋳型を形成させます。ここにコラーゲンなどの高分子の溶液を流し込み、冷却します。すると、溶液中の水分は凍り、氷微粒子の鋳型とつながります。次に、凍結乾燥により氷が除かれ、多孔質が形成されます。つづいて高分子の架橋反応を行い、水に不溶化させます。得られる多孔質材料の表面には氷微粒子の形を反

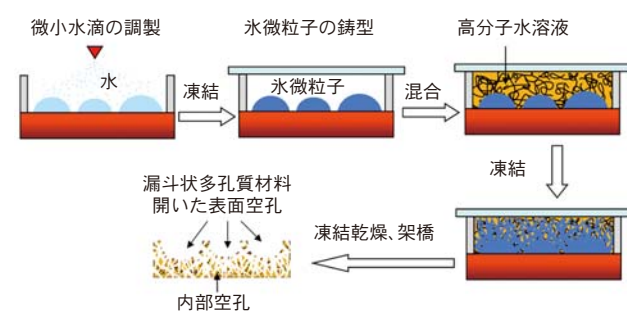


図1 氷微粒子を鋳型とした漏斗状多孔質材料の作製方法。高分子水溶液中の水分が氷微粒子の鋳型とつながる。この現象を利用することによって、漏斗状の多孔質構造が得られる。

映した開いた空孔、内部には高分子溶液から水分が昇華する際に互いにつながった数百 μm の空孔が形成されます。この多孔質構造が漏斗の形に似ているので、本材料を漏斗状多孔質材料と名づけました。

この多孔質材料を電子顕微鏡で観察したところ、外表面には氷微粒子の形状を反映した空孔、内部には互いにつながった空孔が確認できました(図2上)。表面の空孔は内部の空孔とつながっていました。大きな表面空孔のサイズと分布密度は、氷微粒子のサイズと分布密度を反映し、内部の空孔サイズは凍結温度が低いほど小さくなりました。

このように、氷微粒子を用いることで多孔質材料の空孔サイズや形状を制御することができました。本多孔質材料に播いた細胞は内部にまで到達し、均一に分布しました(図2左下)。本材料を用いてウシの軟骨細胞を培養したところ、軟骨組織が再生されました(図2右)。今後はヒトの軟骨組織再生への応用が期待されます。

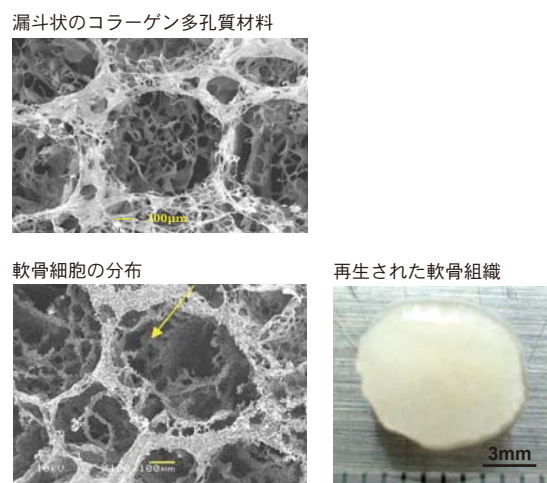
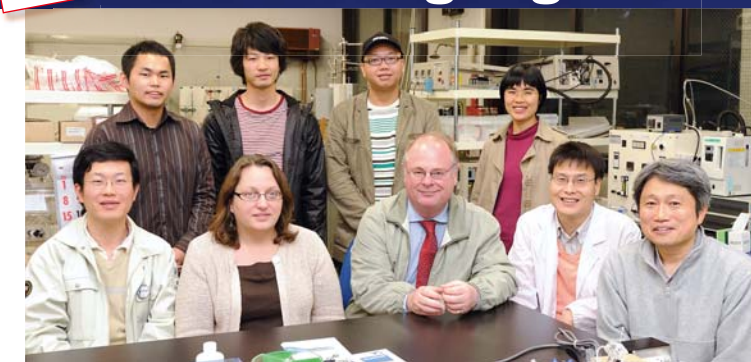


図2 漏斗状コラーゲン多孔質材料を利用した軟骨組織の再生。中央図は軟骨細胞を播いてから2時間後、矢印は1個の細胞を表す。右図は軟骨細胞を3週間培養したものの。

燃料電池用 高性能電極の開発

燃料電池材料センター
ナノイオニクス材料グループ
森利之 副センター長
ほか共同研究者



写真一番右が森氏 共同研究者と

二酸化炭素排出量大幅削減の実現に向けて、家庭用燃料電池の普及促進が急がれるなか、さらなる燃料電池用電極材料の高性能化や、電極中の貴金属低減の取り組みに注目が集まっています。

燃料電池は、水の電気分解の逆反応を利用して、電気を生み出すデバイスです。よって、電解質と呼ばれるイオンが拡散する部分の両側に置かれたカソード(表面で酸素分子を還元的に分解し、プロトン(H^+)イオン)と共に水をつくる働きをする電極)とアノード(表面で水素分子をプロトンに変える電極)の高性能化は、燃料電池デバイスの開発にとって重要な課題となります。

私たちは、これまで主として用いられてきた白金カソードや白金ルテニウムアノードより高性能で、かつ、貴金属使用量が少ないカソードおよびアノードの研究開発に取り組んでいます。

従来の金属電極にはない高い電極活性をもつ材料をつくるために、白金とセリア(CeO_2)のヘテロ界面*1近傍の組織や構造を注意深く設計することで、金属電極にはない、高活性界面の作製と、その燃料電池への応用を試みています。

図は、カソード材料の活性を、硫酸水溶液中において、酸素ガスをカソード表面におくりながら、電流密度を測定することで、比較した結果を示しています。

燃料電池用カソード材料では、図に示したような電位における酸素分解反応において、高い電流密度が得られることが必要とされます。

NIMS独自の白金・セリアカソードは、白金量が同じ2種類のカソード、市販電極A社製、B社製に比して、

十分に高いカソード活性を示しています。

このカソードを用いた燃料電池の出力特性は、市販の白金カソードを用いた燃料電池特性よりも高いものであることをすでに確認しています。

また、通常の一酸化炭素が共存する環境においては、貴金属電極の性能が大きく低下します。しかし、この白金・セリアをアノードとして用いることにより、白金量を市販の白金ルテニウム合金アノードの1/10程度まで削減しても市販のアノードと同等の性能をもつ、NIMS独自のアノード材料の開発にも成功しています。

現在は、白金とセリアのヘテロ界面を透過電子顕微鏡や光電子分光法を用いて慎重に解析するとともに、バンド構造の計算などを行いながら、より高性能な電極材料の開発に取り組んでいます。

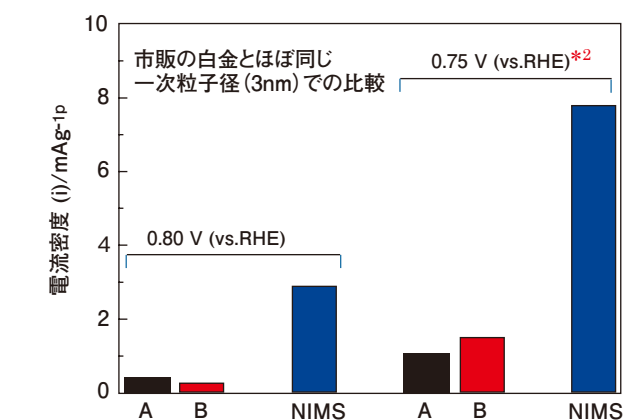


図 市販カソードとNIMSカソードの性能比較 (回転電極使用、回転数:3600rpm)

*1 ヘテロ界面:金属・酸化物からなる異種界面

*2 RHE:可逆水素電極 (Reversible Hydrogen Electrode)

NIMS新理事に2名が、新フェローに1名が就任

NIMSでは4月1日付けで新理事・フェローを下記の通り決定しました。任期は2010年4月1日からとなります。なお、NIMS NOW次号では、新理事お二人のインタビューを掲載する予定です。

理事 曾根 純一 (そね じゅんいち)

理学博士。京都大学理学部物理学科卒業、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修士課程修了。日本電気株式会社基礎研究所新機能素子研究部長、基礎・環境研究所長などを経て、2007年4月に中央研究所支配人に就任。2010年4月にNIMS理事に就任。



理事 室町 英治 (むろまち えいじ)

理学博士。東北大学大学院工学研究科応用化学専攻修士課程修了。無機材質研究所第11研究グループ主任研究官、同総合研究官、NIMS物質研究所長、MANA副拠点長などを経て、2009年4月にNIMSフェローに就任。2010年4月にNIMS理事に就任。



フェロー 香川 豊 (かがわ ゆたか)

工学博士。早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。東京大学生産技術研究所教授、大学院工学系研究科教授、東京大学国際産学連携センター教授などを経て先端科学技術研究センター教授。NIMS材料信頼性領域コーディネーター併任。2010年4月にNIMSフェローに就任。



つくば市と相互協力の促進に関する基本協定を締結

4月1日、NIMSはつくば市と、相互協力の促進に関する基本協定を締結しました。

この協定は、NIMSの研究開発成果とつくば市の施策との融合を図るとともに、市民の安全・安心を確保することにより、市民の良好な生活環境が確保された地域社会の持続的な発展を目指したものです。

本協定の下、NIMSとつくば市は、①互いの情報、資源及び研究成果等の活用、②市民の安全・安心に係る情報の共有、③災害防止及び環境保全、④科学技術及び産業の振興、⑤学校教育及び社会教育の増進、⑥つくば市内の大学や研究機関との連携を促進していきます。



4月1日調印式にて、つくば市 市原市長(左)と潮田理事長(右)

平成22年度科学技術分野の文部科学大臣表彰を受賞

4月13日、平成22年度科学技術分野の文部科学大臣表彰の表彰式が行なわれ、NIMSの職員が表彰を受けました。

この表彰は科学技術に関する研究開発、理解増進などにおいて顕著な成果をおさめたものの功績をたたえることにより、科学技術に携わるものの意欲向上を図り、我が国の科学技術水準の向上に寄与することを目的とするものです。

受賞部門は顕著な功績をあげた研究者を対象とした科学技術賞、高度な研究開発能力を有する若手研究者を対象とした若手科学者賞、および優れた創意工夫により職域における技術の改善向上に貢献したものを対象とした創意工夫功労者賞です。



左から岡田浩一氏、塚本進氏、阿部富士雄氏、田淵正明氏、種池正樹氏

科学技術賞(研究部門)

業績名:フェライト系耐熱網の高温長時間強化および高性能化の研究
阿部 富士雄 NIMS 特命研究員
田淵 正明 NIMS 材料信頼性センター 高温材料グループリーダー
種池 正樹 三菱重工業株式会社 高砂研究所主任
岡田 浩一 住友金属工業株式会社総合技術研究所 主任研究員
塚本 進 NIMS 特別研究員

若手科学者賞

業績名:偏極イオンビームの開発とそれによる表面磁性の研究
鈴木 拓 NIMS 量子ビームセンター 原子ビームグループ 主幹研究員

業績名:グラフェンの電子物性におけるナノスケール効果の研究
若林 克法 NIMS 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 独立研究者

創意工夫功労者賞

業績名:制合金溶製に関する鑄造装置の考案
檜原 高明 NIMS 材料創製支援ステーション 主任エンジニア