

No.7  
Feb. 2011

MANA JOURNAL

## 良い人が集まり、良い雰囲気を作る それが次世代への鍵

— 藤嶋 昭

## 未来の医療を支えるナノバイオの材料研究

— 青柳 隆夫

### MANA の研究成果

- 自家発電ナノシステムのためのナノ発電機 — ゾン・リン・ワン
- X線光電子回折法を用いた結晶学的解析 — ジェシー・ウィリアムズ
- グラフェンを用いた量子ドットデバイス — 森山 悟士
- 部位選択的ナノ粒子治療 — 長崎 幸夫



国際ナノアーキテクトニクス研究拠点

International Center for Materials Nanoarchitectonics (MANA)





## 藤嶋 昭 FUJISHIMA Akira

横浜国立大学工学部卒業(1966年)、東京大学大学院博士課程終了(1971年)、東京大学工学部講師(1975年)、テキサス大学オースチン校博士研究員(1976~77年)、東京大学工学部助教授(1978年)、同学部教授(1986年)、東京大学大学院工学系研究科教授(1995年)、神奈川科学技術アカデミー理事長(2003年)、東京大学名誉教授(2003年)、東京大学特別荣誉教授(2005年)、日本学術会議会員(2005年)、日本化学会会長(2006年)、東京理科大学学長(2010年)。

東京大学大学院時代に、水溶液中の酸化チタンに強い光を当てると表面で光触媒反応が起きる「本多・藤嶋効果」を発見。この光触媒は環境浄化などさまざまな分野で応用が進んでいる。

## 光触媒との出会いと さらに広がる応用分野

—先生は光触媒において世界で著名な研究者であり、文化功労者として顕彰もされていますが、どのようなきっかけで光触媒の研究を始められたのでしょうか。

光触媒では酸化チタンというものを使います。その酸化チタンの単結晶と私が出会ったのは、東京大学のマスター1年の頃です。当時は世界で複写機が出始めたばかりでした。私は写真化学の研究室におり、写真の材料研究もしていました。アメリカやドイツの研究所を始めとして、ちょうど世界的にも光に関係した研究が始まったばかりのことで、私も光に関係したものが電気分解系に導入されたらどうなるかということに関心がありました。既に使われていたシリコン、酸化亜鉛以外に、まだ誰にも使われていない材料を探していたところ、酸化チタンという単結晶が神戸の中住クリスタルで作られていることを知りました。そこで、社長の中住譲秀さんへ手紙を書いて、ぜひ使わせてくださいとお願いした結果、使わせていただくことができたのです。入手した酸化チタンを使い実験を行うと、他の材料の研究報告と明らかに違う反応がありました。それまでの報告では、光の応答について「溶ける」という反応の論文しか出ていません。ところが、酸化チタンは溶けずに、光を当てると反応が起こり、ガスが出てきたのです。そのガスを集めて分析すると、純粋な酸素であることが分かりました。光を当てると酸化チタンが働いて水から酸素が出る——これは葉の表面で起きている光合成反応に近く、私は非常に感動しました。しかし、学会で発表しても、誰も信用してはくれませんでした。水を分解させる電気分解には電圧をかけることが必要なのですが、私は光を当てただけでしたから。

その後『Nature』に、太陽光を使って水が分解でき、酸化チタンの表面から酸素、白金電極で水素が出るという論文を出しました。論文が掲載されたちょうどその翌年に、第一次オイルショックが起きました。そのため、太陽光を使ってクリーンエネルギーである水素を水から取り出す反応を日本人が『Nature』に発表したということで、評価をしていただきました。それを1974年元旦の朝日新聞一面のトップ記事にいただいたというのが、ひとつのエポックでした。

—現在でも、水素をより効率よく取り出す仕組みが世界中で研究されていますね。先生は光触媒をエネルギー変換以外に応用されていると伺いましたが、なぜ発想の転換をされたのでしょうか。

当時光触媒は、水から水素が取り出せるということで特に評価をされました。しかし実際にエネルギーとして使える十分な量の水素を取り出すことは難しいので、私はエネルギー変換よりも水を分解できる力を何かに応用できないかと考えました。そこで、当時助教

# 良い人が集まり、良い雰囲気を作る それが次世代への鍵



授になっていただいていた橋本和仁さんとTOTO株式会社の研究員をしていた渡部俊也さんとディスカッションをし、まずはトイレの中をきれいにするために菌を分解できないかと考え、トイレで使うタイルの上に酸化チタンを透明にコーティングすることを始めました。そして、その上にいろいろな菌を置いて光を当ててみると、簡単に死滅したのです。また、鏡のガラス表面に酸化チタンを透明にコーティングして光を当ててみると、鏡が曇らなくなりました。つまり、酸化チタンには紫外線を当てると、表面にあるものを分解できる強い酸化力と、水になじみやすくなり曇らなくなる作用があることがわかったのです。それで、その2つの作用を環境問題に応用していこうと考えたのです。

現在、私はJR東海の研究所長を兼任しております。東海道新幹線のみN700系は、3年前から全面禁煙になりました。そのためデッキには4カ所の喫煙スペースを作っていますが、たばこにおい物質を取って空気をきれいにしてるのが光触媒です。そして今、ウイルス駆除をする空気清浄機の開発も進めています。また、一番応用範囲が広いのは外装建材で、上海万博の建物の中ではかなり使っていただきました。それから、APECを開催したみなとみらいのビルでも、ほぼ光触媒を使用しています。光触媒の市場は今、日本では800億円、外国でも200億円にもなっているのです。

#### ——実生活にも役立つ応用研究をされているのですね。

光触媒はナノテクの代表選手と言われ、ナノテクのシンポジウムなどでは実践例としてお話をさせていただくことも多いです。酸化チタンというのは一般的な材料で、例えば白い塗料の主成分はマイクロメートル程度の大きさの酸化チタンです。固くて安定しているのが歯磨き粉にも入っています。それをもっと小さくして10、あるいは20ナノメートルにしますと、白かったものが透明になります。光触媒は、ナノサイズの酸化チタンを使い、コーティングしてはがれないようにしているのが、ナノテクノロジーのひとつの例として評価していただける面もあります。

## 科学の基本は感動から

——先生は教育にも大変熱心で若い人たちの科学離れに歯止めをかけようとしていますが、特にどのようなことに留意されていますか？

一番大事だと考えているのは「感動すること」です。若い人たちに感動することの大切さを伝

えるため、学長を務める東京理科大学以外でも常にいろいろなところへ赴き、出前授業を行っております。高等学校や中学校だけでなく、小学校、そして幼稚園にも行きます。そこでは、自然界のことをよく話します。例えば「タンポポはいつ咲くか知ってる?」「アサガオはいつ咲くか知ってる?」というような話です。「タンポポは明るくなってから咲くんだよ。」「アサガオは朝早くに明るくなったから咲くんじゃないよ。暗くなってから10時間後に咲くんだよ。」というふうな話をすると、みな関心を持ってくれます。

#### ——身近なことに関心を持ち、感動する心が将来大事になってくると説いてまわっていらっしゃるのですね。

そうですね。それが基本ですから。他には例えば、アインシュタインの話をすることもあります。以前は100メートルくらいの誤差があったGPSナビゲーションの精度が、今では数メートルくらいの誤差になっています。では、なぜ精度があがったのでしょうか。この誤差というのは、3つの人工衛星から狙って場所を決めるときに、その中の時計が少し遅れているために生じるものです。高速で移動するものの中にある時計の進みが遅れるというのは、アインシュタインの特殊相対性理論です。その理論が今になって4つ目の人工衛星の補正のために使われることで精度が良くなっているのです。

アインシュタインの理論は難しいかもしれないけれど、私たちはその恩恵を今受けている。だから、本質を理解すれば感動するんだよと言っています。

## 良い研究は良い雰囲気がつくる

——感動する心を持てば、研究者も伸びていくはずですね。研究者が良い結果を出すために必要なことは何だとお考えでしょうか。

私は、良い結果を出すためには「人」が大切だと考えています。人が集まることによって作り出される「雰囲気」というものが非常に重要で、その良い雰囲気の下でしか良い研究、良い結果はあり得ないと思っています。

私が講演するときによく例に出すのは、ルネサンスが起こったときのことで、イタリアに、環境や文化をとて大事にするメディチ家という一家があり、フレ

ンツェを文化の中心にするのです。そこにちょうど生まれた人がダヴィンチです。そのしばらく後、同じ場所に彫刻で有名なミケランジェロが生まれ、また、名画を描くラファエロも生まれます。3人も同じフィレンツェという場所で、同じ時代に活躍をしたのです。パリには、ルノアールとモネ、ゴッホ、そしてゴーギャンという4人がいました。彼らが絵を描いたのも同じ時代でした。日本ではどうでしょうか。明治維新のとき、どうしてあのような偉人たちが同時期に出てきたのか。これらすべてに共通して言えることは、良い人が同じとき、同じところにまとまって出てくるということなのです。

研究も同様です。良いものを作るためには、良い人が集まり、良い雰囲気をつくるということが大事なのではないでしょうか。私自身も、光触媒の研究を始めたときに研究室にいた人たちの作り出す雰囲気にはすごいものを感じました。何か面白いことや、今注目されていること、または新しい現象を見つけ出すことなど、良い雰囲気があれば結果を出すことができると思います。

——今後、MANAが世界の研究拠点として一流になるためには、どういうことに気を付けたいでしょうか。

MANAには装置や人が十分に揃っています。初代理事長の岸輝雄先生や、現理事長の潮田資勝先生のトップとしての雰囲気づくりも素晴らしい。そのリードで研究成果も大いにあがるでしょう。ですから、各研究室の研究者が互いに良い雰囲気をつくりだしていきことができれば、さらに素晴らしい結果を導けることと思います。ぜひ、世界を先導する良い手本になって下さい。

——本日はありがとうございました。





# 未来の医療を支える ナノバイオの材料研究

青柳 隆夫  
Takao AOYAGI

MANA 主任研究者 (PI)  
ナノバイオ分野

## 産官学における研究の違い

——青柳PIは今まで民間企業や大学、独立行政法人などで、産官学に携わっていらっしゃいましたが、それぞれを比べられていかがですか？

研究に特化した大学もありますが、私がいたのは地方大学ですので、比較的大学イコール教育という部分が強く、授業もきっちりやりなさいという姿勢でした。

民間企業は、大学とも独立行政法人とも物差しが違います。私が民間企業に入社したとき、新入社員教育担当の重役から「仕事とは何か」と質問されたことがあります。私たち新入社員は、利潤の追求や社会貢献などと答えたのですが、その答えは「効率」でした。この質問と答えは一生忘れられません。例えば、実験で使ったバイアル管\*を100本洗うのに私が1時間かかり、100本新しく買うほうが私の時給より安いとしたら、買うほうがよほど企業のためになる、というコスト意識が印象的でした。いかに効率よく物事を行うかが仕事であり、いかに儲けるための研究をするか、これが民間企業の物差しだったわけです。

それに比べて、独立行政法人は、国の政策を成し遂げていくのが使命だと思います。博士研究員が主体となり、研究で成果を上げることが最大の目的になってきます。ですから、民間企業や、教育という観点から授業や研究をしていく大学とは、根本的にステージが違うような感じがします。国の政策を実施する機関が独立行政法人なので、もっとコストを意識し、どのようなアウトリーチ活動を行って、それがどれだけ社会のために役立っているかを納税者に見せていけるよう、常に考えなければいけません。

## 材料で病気を治す“マテリアルセラピー”

——国の第4期基本計画において、重視すべき科学技術の一つにナノバイオ分野が挙げられており、NIMS及びMANAにおいて、青柳PIの果たされる役割は大きいと思いますが、これからどのようなナノバイオをやっていくと考えていらっしゃいますか？

私は高分子化学を専門にしております。新しく材料を設計し、実際に作っていき、その評価をする、ということをやってきました。ですから材料ベースのナノバイオをやるべきですし、その方が自由度もすくなく大きいと思っています。そして特に自由度が高い有機材料の特徴を生かし、材料中心のナノバイオを考えていきたいと思っています。組織工学や再生医学の研究は現在活発に行われていますが、まだまだお金がかかる治療方法ですし、それで全てが解決するようには思えません。そこで、材料でどこまで治療ができるのかを生体材料センターの方たちと議論した際、いずれ再生医学の限界が来たときの次には、人工物でいかに身体や病気を治していくかというところにくるであろうとの意見に集約しました。「マテリアルセラピー」とは、組織に材料が積極的に働きかけることで治療するという造語で、その議論の際に改めて作ったものです。国の機関としてももう少し先を見据え、「マテリアルセラピー」をキャッチフレーズのように掲げて、材料で病気を治していくような仕組みを作りたいと考えています。

\*バイアル管：ゴム製キャップで栓をして薬品を封入する透明容器。

——研究を進めていくにあたって、具体的なターゲットはありますか？

いくつかあります。例えば炎症をコントロールするもので、心筋梗塞が起きた時にその材料を適用すれば、薬なしで治せるというようなものです。また、病気の原因になるような物質をなるべく早く、低濃度のときから身体の中でキャッチして取り除いてしまうもの。例えば、アルツハイマーの原因の一つだと言われているβアミロイドという重層化して固まるタンパクを身体の中から除去したり、メタボリックの原因になるような物質を取り除くようなものです。現在、抗体医薬という研究分野が非常に盛んですが、それを薬ではなくて材料で行いたいと考えています。そして、病気になる前に原因を解消する「予病」を考えていきたい。薬や新しいタンパク質には、どうしても副作用があります。ですから、自由度が高いという有機材料のメリットを生かし、欲しい機能をいろいろ組み合わせて、身体に対して非常に安全で、なおかつよく働くようなシステムを作っていきたいと思っています。

また、材料のバリエーションを増やすことはもちろん大切ですが、材料屋の立場としても、医学、身体へのしきみ、疾病の原因メカニズムなど、バイオ寄りの知識をたくさん持って研究に取り組みまないといけないと思います。そういう知見をもった方たちとコラボレーションをしていく中で、自分たちの足りない部分を補いながら、いずれ世の中で役に立つような材料研究をしていきたい。身体に使う物ですので、どうしても工業材料やNIMS・MANAの他の材料に比べると、動物実験も含め評価のための時間やお金がかかります。それでも、医療材料は少しずつ製品化もされていますし、いずれ商品化されるようなとても性能のいい医療のデバイスも出来つつありますので、我々がずっとやってきた材料研究が、いずれ世に出てくると思っています。

——MANAにおけるナノバイオ領域の強化についてはいかがですか？

実は、是非MANAにきていただきたい方がいらっしゃいます。現在、交渉中のため、残念ながらまだお名前は公表できませんが、おそらく日本の高分子研究者の方々は全員、お名前を知っていると思います。世界的に有名な方で、論文の引用件数も多く、手法を参考にされることも多いのです。以前お会いしたときに、ぜひ先生もPIとしてMANAに協力して欲しいという話をしたら、大変前向きなご返答をいただきました。MANAはPIを海外からも積極的に招聘して、ナノバイオ領域を拡充し強化していくことが大切だと思います。



# キャリア・アップの場としてのMANA

若手研究者にとってもっとも大切なこと、それは自らの研究者としてのキャリアが、一步一步着実に向上していくことです。そうした状況のなかから、素晴らしい研究成果が生まれ、研究者としての成長がはかられるからです。

MANAは、若手研究者のよきキャリア・アップの場であることを、常に強く意識しています。特に、海外から研究者の要望にできる限り応え、ここでキャリアを積んだ研究者が、次の職場で一段とすぐれた人材として活躍できるための場を提供したいと考えています。研究に専念して成果を上げられるよう、MANAは設備の充実、言葉の障害除去、人間関係の改善、事務処理の簡易化など、あらゆる研究環境を整備することに最大限の努力を払っています。その成果は、実際にMANAを巣立った若手研究者の、その後の世界各地での活躍ぶりが物語っています。ここでは、そうした4人の実際の声をお伝えしましょう。

私は現在、シンガポールのナンヤン工科大学で教授職とグループリーダーを務めています。MANAは、私のキャリアを伸ばせる素晴らしい機会を与えてくれ、最初から自分の思い通りに事を進めることができました。また、MANA・NIMSには、素晴らしい装置がふんだんに備わっていたので、私はこの二つを生かして、40を超える論文を影響力の強い雑誌に発表することができました。そのおかげで、電気化学界において私の名前はよく知られるようになりました。

この素晴らしい機会がなければ、私のキャリア・アップは、もっと遅々としたものになっていたでしょう。この機会を与えてくれたMANAへの感謝は、ずっと忘れません。

## Dr. Martin Pumera

バルセロナ自治大学主任研究員を経て、2008年10月から2009年12月までMANA研究者。現在は、シンガポールのナンヤン工科大学にて教授を務める。



人からよく、なぜ研究拠点を日本を選んだのかと尋ねられます。私がICYS-MANAを研究の場所を選んだ理由は、素晴らしい研究施設や、経験豊富なスタッフ、自由なテーマで研究を進めることのできる独立性があるなどの、恵まれた研究環境があったためです。ICYS-MANAは、若い研究者にとって研究に邁進するには最高の場所であると自信を持って言えます。また私の経験から言って、MANAでは英語でのコミュニケーションが日本の他の研究機関に比べて容易に行うことができます。つまり、私は日本を選んだというより、ICYS-MANAを選んだということなのです。

## Dr. Samuel Sánchez Ordóñez

バルセロナ自治大学の大学院博士課程を経て、2009年3月から2010年4月までICYS-MANA研究員。現在は、ドイツのライプニッツ固体物理・材料研究所にてグループリーダーを務める。



私は、2008年の12月から2010年の3月までICYS-MANAの研究員でした。来日する前は、日本では男女間で賃金水準が違うことや、外国人の受け入れを非常にためらうということを知っていました。しかし、MANAには外国人研究者や女性研究者にとって、とても良い環境が用意されていました。具体的には、私はMANAやMANAの事務部門から、言語サポート、研究資金、科学的な助言、技術支援など、たくさんのサポートを受けることができました。私は外国人女性研究者として、自分の研究分野で活躍したいと思っています。MANAでの貴重な体験は、私の研究者としての将来のキャリアに、素晴らしい影響を与えてくれるでしょう。

## Dr. Jun Chen

NIMSポスドクフェローを経て、2008年12月から2010年3月までICYS-MANA研究員。現在は、NIMS半導体材料センターの研究員。



はじめて日本に行くことを決めた時、日本での生活がそれまでとは違ったものになることはわかっているつもりでした。しかし、それがどれほどかけ離れているか、また私のキャリアや人生に、その経験がどれほど影響を与えるかまではわかりませんでした。日本での経験と、私の研究計画が認められ、私は幸運にも500名を超える応募者の内11%のみが選ばれる、政府の特別支援を受けた助教授として、希望したスウェーデンの大学で職を得ることが出来ました。NIMSや日本の多くの大学とは今でも協力関係にあり、現在もウプサラ大学の私が所属する学部を訪れている、東京理科大学の田村隆治准教授のホストをしています。若い研究者へのメッセージとして述べたいのは、チャンスはあなたの手の内にあるということです。MANAで過ごす時間を最大限活用してください。それがあなたの人生を変えることになるでしょう。

## Dr. Cesar Pay Gómez

東北大学多元物質研究所のポスドクフェローを経て、2007年3月から2010年2月までICYS-MANA研究員。現在は、スウェーデンのウプサラ大学で助教授を務める。







Zhong Lin WANG

MANA 主任研究者 (サテライトPI)  
ナノマテリアル分野

## 自家発電ナノシステムのためのナノ発電機

ワイヤレスナノデバイス及びナノシステムのために新技術を開発することは、センシング、医療、防衛、そして家電製品に至るまで、極めて重要です。バッテリー不要の自家発電は、ワイヤレスデバイスに要求されている技術であり、ナノデバイスにとっても必要となるものです。自家発電ナノシステム構築のために、機械的エネルギー、振動エネルギー、水力エネルギーといった各種のエネルギーを電気エネルギーに変換するための革新的なナノテクノロジーを探求することが必要不可欠です。私たちは圧電性酸化亜鉛ナノワイヤーアレイを使って、そのようなランダムなエネルギーを電気エネルギーに変換するナノ発電機を発明しました。そのナノ発電機の本質は、外部歪みによってナノワイヤー中に生み出された圧電ポテンシャルに依拠しています。つまり、外部応力によるナノワイヤーへのダイナミックな歪みは、圧電ポテンシャルという

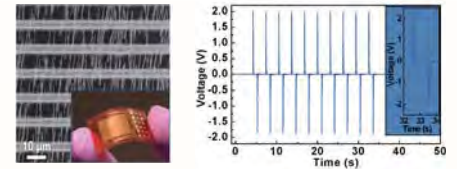
駆動力を発生させるため、過渡的な電子の流れを起こします。ナノワイヤーを使う利点は、極めて小さな物理的運動でもそれが引き起こされることと、励起周波数は1から数千ヘルツと幅広く、環境中のランダムなエネルギーを取り込むのに理想的であることです。

私たちは、走査型印刷方式と名付けられたシンプルかつ効果的な方法を開発しました。それは、小型の商用電子機器を駆動するための機械的エネルギーを効率的に取り込むことができる、フレキシブルで高出力のナノ発電機 (HONG) を組み立てるための方法です。HONGは2つの主要なステップで構成されます。最初のステップで、垂直配向のZnOナノワイヤー (NWs) は水平配向アレイを形成するための基板に転写されます。その後、平行な縞状の電極が配置されて全てのNWsを一つに結合させます。HONGの1層構造を使って、最大2.03Vの開放電圧と $\sim 11 \text{ mW/cm}^2$ の最大出力が達成されました。その電気エネルギーはコンデンサに効率的に蓄えられ、商用発光ダイオード (LED) の点灯に成功しました。それは、環境からエネルギーを取り込む

ことによる自家発電デバイス構築へ向けての大きな進歩です。さらに、基板上のナノワイヤーの密度を最適化することで、 $\sim 0.44 \text{ mW/cm}^2$ の最大出力と、多層集積することで $1.1 \text{ mW/cm}^2$ の最大出力が期待されます。本研究は、自家発電ナノシステムのための圧電ナノ発電機に基づくナノワイヤーの実用的応用への道を切り拓くものです。

参考文献

Z.L. Wang et al., "Lateral nanowire/nanobelt based nanogenerators, piezotronics and piezo-phototronics", Mater. Sci. and Eng. Reports., 2010, **R70** (No. 3-6), 320-329.



(左図) 金電極に接合されたZnOナノワイヤーアレイの走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真。挿入写真は製造直後のナノ発電機の実物である。

(右図) ナノ発電機の開放電圧測定。出力された電荷はコンデンサに蓄えられ、LEDを駆動するために使用される。



Jesse WILLIAMS

ICYS-MANA 研究員

## X線光電子回折法を用いた結晶学的解析

酸化亜鉛 (ZnO) は、将来有望なワイドバンドギャップ半導体です。ウルツ鉱型構造を持っており、c軸(0001)方向に自発分極があります。化学的強度、不純物濃度、バンド曲がりのような性質は、特定の極性に強く依存することが知られています。ZnO薄膜はc軸方向に沿って成長する傾向がありますが、その極性が(0001)であるか(000 $\bar{1}$ )であるかを制御することは困難です。しかも、その極性を非破壊測定するのに適当な技術がありません。

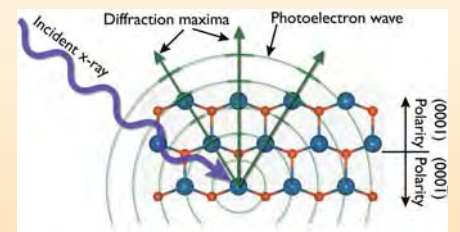
現在、私たちは、X線光電子分光法 (XPS) の延長線上にあるX線光電子回折法 (XPD) を用いて、ウルツ鉱型構造のc軸極性測定のための非破壊技術を開発中です。XPSが固定した検出器角度から収束されたスペクトル応答を測定するのに対して、XPDは固定したスペクトル窓について角度応答を測定します。それはつまり、特定の放射体からの回折が測定できるという意味です。例えば、 $\text{Zn } 2p_{3/2}$  XPD

とO1s XPDを個別に測定することによって、私たちはZn放射体とO放射体からの回折を別々に測定することができます。

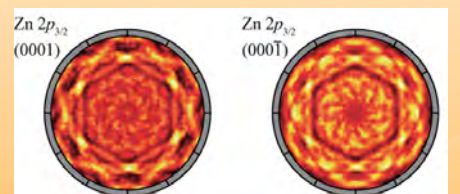
観測されたXPDパターンは(0001)及び(000 $\bar{1}$ )の極性に特有のもので、それが極性測定法として有効であることを示しています。さらに、多重散乱と運動学的なシミュレーションが個々のパターンを裏付けています。そして、回折最大値は、最近接放射体からの強い前方散乱の結果であることがわかっています。単結晶試料はスポット状の回折パターンを結ぶ一方で、方位配向した薄膜はリング状の回折パターンを示しますが、いずれの場合でも、この方法により極性の方位決定は可能です。

極性を持った結晶について周知の回折パターンを得るために、当初は放射光が利用されましたが、ここでの考えは、このような測定を実験室規模で出来るようにするというものでした。その結果、CrのK $\alpha$ 線を利用し、特殊なデザインをした実験室規模のシステムを用いて、極性の違いにより異なるパターンを得ることが出来ました。現在、私たちは商業的に利用可能

なAl K $\alpha$ 角度分解XPSシステム (MANAファウンドリに置かれています) を用いてXPDの実現可能性を検討中です。



入射X線が光電子波を励起する。その光電子波は特性回折ベクトルを形成する格子と相互作用する。Zn原子は青色、O原子は橙色で示す。



シンクロトロン放射体によるZnO単結晶のXPDパターン

参考文献

J. Williams et al., Surface Science, submitted.



森山 悟士

Satoshi MORIYAMA

MANA 独立研究者

# グラフェンを用いた量子ドットデバイス

量子ドットは電子が極めて微小な空間に閉じ込められるという意味で人工原子とも呼ばれています。そして、これは単電子デバイスや量子コンピューティングデバイスのような新しい種類の量子デバイスに応用される可能性を持っています。原子などを調べる際には、通常、光との相互作用を通して研究されていますが、人工原子では、固体系において電子の特性を計測および制御することができます。したがって、量子ドットは単一電子の電荷やスピンを制御することができる、未来の電子デバイスとして期待されています。このような背景を踏まえて、私たちは従来型のトランジスタ素子と異なる機能を持つ新規量子デバイスの開発を目指して研究を進めています。

最近、私たちはカーボンナノチューブを拮げたような構造であり、単一原子層のグラファイトであるグラフェンを用いて量子ナノデバイスを開発しました。近年のグラフェンとそ

の特異な電子輸送特性の発見は、それらが低次元量子物理における新しい研究テーマとして注目されているだけではなく、量子ナノデバイスを構成するための魅力的な2次元電子材料であることを示しています。

グラフェンシートへのナノ構造形成は、グラフェンシートを削ることによって作製することができます。高解像度の電子線ビームリソグラフィによって、グラフェン上に塗布した電子線レジストにナノ構造のパターンを作製します。そして電子線レジストを保護膜として、反応性イオンエッチング技術を用いてシートを直接削り取ることで、デザインしたグラフェンナノ構造を作製することができます。私たちはグラフェンをベースとした2次元半金属材料を用いて、直列につながった2つの量子ドットに電子が輸送される2重結合

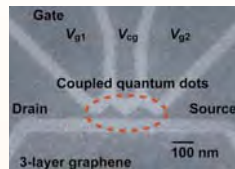


図1. 作製したデバイスの電子顕微鏡写真。明るい部分は3層グラフェンシートがエッチングされ削り取られた部分を示す。

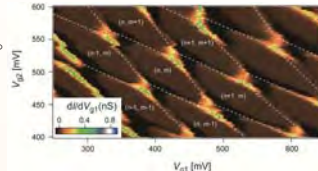


図2. グラフェン2重結合量子ドット系において実験から得られた電荷安定図。結合量子ドットの形成を示す六角形の規則的な周期構造が明瞭に観測されている。

量子ドットデバイスの作製と動作実証を行いました。低温での電子輸送測定の結果から、このデバイスは電子が1個単位で量子ドットを通過して流れる単電子トランジスタとして動作していることを明らかにしました。さらに、2つの量子ドットの結合の強さがゲート電圧によって制御できることを確認し、結合量子ドットとしての動作実証に成功しました。

本研究は、グラフェンを用いた集積化ナノデバイスが開発できる可能性を示しています。そしてこれは、単電子エレクトロニクスや量子情報処理などの、いわゆるBeyond CMOSと呼ばれる新機能ナノエレクトロニクスのデバイス開発の進展につながると期待されています。

## 参考文献

1. S. Moriyama, et al., *Nano Letters*, 2009, 9, 2891-2896.
2. S. Moriyama, et al., *Science and Technology of Advanced Materials*, 2010, 11, 054601.



長崎 幸夫

Yukio NAGASAKI

MANA 主任研究者 (サテライトPI)  
ナノバイオ分野

# 部位選択的ナノ粒子治療

活性酸素種 (ROS) は、生体内での多くの重要な事象において多様な役割を果たすことで知られています。しかし、ROSの生産過多は人体に非常に悪影響をもたらします。そのような酸化的ストレスは適切にコントロールされなければなりません。例えば、虚血再灌流障害はROSによる最も有名な障害の一つです。長い虚血時間の後に生じて、障害の範囲を増大させます。したがって、虚血再灌流による障害範囲を最小限に留めるために、ROSに冒される器官の保護を考慮しなければなりません。最近私たちは、コア内にニトロキシルを保持するコアシェル型ナノ粒子 (ニトロキシルラジカル含有ナノ粒子、RNP) をデザインしました。それはつまり、疎水性セグメントの側鎖として2,2,6,6-tetramethylpiperidinyloxys (TEMPO) 部分を保持している両親媒性ブロック共重合体です。水媒体中で自己組織化してコアシェル型高分子ミセルを形成します。

ナノ粒子の直径は平均で約40 nmで、強い電子常磁性共鳴 (EPR) シグナルを出します。ナノ粒子のコアの中のTEMPOラジカルは、3.5 mM アスコルビン酸があるにもかかわらず還元抵抗を示します。ニトロキシルラジカルのRNP コアへの封入によって、血液循環が拡大されます。また、in vitro と in vivo で毒性は著しく減少しました。ナノ粒子がpHに依存して崩壊するため、RNPは腫瘍部位だけでなく、酸性状態の炎症部位にも蓄積する傾向があります。ニトロキシルラジカルはROSを触媒的に消去することで知られているので、RNPは脳、心臓、肝臓のようないくつかの種類の虚血再灌流障害に対して防御効果を示すことが確認されています。したがって、RNPは虚血性脳梗塞と同様に、虚血心と血管系の病気の虚血再灌流障害における臨床応用のための新しいナノメディシンとして有望です。最近私たちは、進行性神経変性疾患を引き起こすβアミロイドの凝集におけるROSによる損傷が、RNPを処理することによって効果的に回復するというのを見いだしました (図2)。これらの結果により、私たちの開発したナノ

粒子は新しいナノ治療物質として有望です。

## 参考文献

1. Yoshitomi, et al., *Biomacromolecules*, 2009, 10, 596.
2. Yoshitomi, et al., *Bioconju. Chem.*, 2009, 20, 1792.
3. Marushima, et al., *Neurosurgery*, in press
4. Chonpathompikunlert, et al., *European J. Pharm.*, in press



図1. Lバンド電子常磁性共鳴 (EPR) による胃のファントム画像

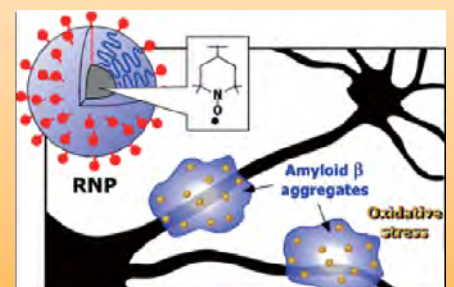


図2. 神経細胞中のβアミロイド凝集体中の活性酸素種 (ROS) のRNPによる洗浄作用



## MANA 国際シンポジウム 2011

2011年3月2日(水)から4日(金)の3日間にわたり、WPI拠点のMANAは、ナノテクノロジー・材料学に関する国際会議を開催します。国内外の著名な研究者による招待講演の他、MANAの研究者が最新の研究成果について口頭およびポスター発表を行います。3日間で、9つの招待講演を含めて約40件の口頭発表と約100件のポスター発表が予定されています。皆様のご参加をお待ちしております(参加費無料)。



日時：2011年3月2日(水)～4日(金)

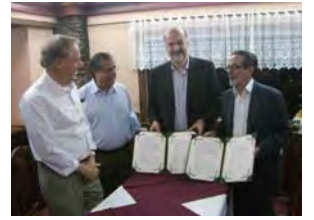
会場：つくば国際会議場(エポカルつくば)、茨城県つくば市

詳細はホームページをご覧ください。

[http://www.nims.go.jp/mana\\_2011/](http://www.nims.go.jp/mana_2011/)

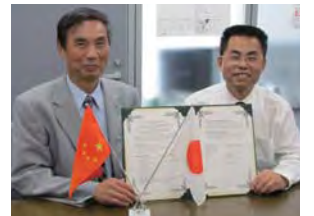
## 2 研究機関と合意覚書(MOU)を締結

MANAはブラジルのセラミック材料開発多元センター(MCDCM)とMOUを締結し、代替エネルギーとセンサー機器のためのナノ構造材料開発の研究において連携することを合意しました(2010年10月26日)。



(左から)パレラ博士(サンパウロ州立パウリスタ大学教授)、ロンゴ博士(MCDCM拠点長)、トラベルサ博士(MANA主任研究者)、ムシーロ博士(MCDCM主任研究者)

MANAは中国科学院固体物理研究所の安徽ナノマテリアル・ナノ材料重点研究室と、低次元ナノ構造の共同研究を行うことを目的にMOUを締結しました(2010年10月6日)。



(左から)板東博士(MANA最高運営責任者)、李博士(安徽ナノマテリアル・ナノ材料重点研究室長)

## 受賞ニュース

### MANA拠点長の青野正和博士が2010年ファインマン賞を受賞

MANA拠点長の青野正和博士が、アメリカのForesight Instituteより、2010年ファインマン賞(実験部門)を授与されることが明らかになりました。同賞は、ノーベル賞物理学者のリチャード・ファインマンの提唱した「原子や分子のスケールでのナノテクノロジーの発展」に最も寄与した研究者に与えられるもので、ナノテクノロジー分野における代表的な国際賞です。青野博士は、「個々の原子操作、多探針走査トンネル顕微鏡および原子間顕微鏡の開発、原子スイッチの開発、単分子レベルの科学反応制御による超高密度情報記憶と導電性分子鎖による配線」に関するパイオニアとしての継続的な研究、及びおよび現在のナノテクノロジーにブレークスルーをもたらしたあらゆる世代の研究者に対してインスピレーションを与えてきたことが評価されました(2010年12月21日)。



### 有賀 克彦 博士が「ナイスステップな研究者 2010」として表彰される

主任研究者の有賀 克彦 博士が、2010年の「ナイスステップな研究者【研究部門】」に選定され、科学技術政策研究所より表彰されました。同研究所では、2005年より科学技術への顕著な貢献をされた人物を「科学技術への顕著な貢献 ナイスステップな研究者」として選定しています。有賀博士は、「超分子の機能性材料への応用研究で世界の注目を広く集めた」として高く評価されました。2011年1月17日の表彰式では、有賀博士を含む受賞者は、高木義明文部科学大臣の表敬を受けました。



表彰を受ける有賀博士(右)

### アジャヤン・ヴィヌ博士がフリードリヒ・ヴィルヘルム・ベッセル賞を受賞

MANA独立研究者のアジャヤン・ヴィヌ博士が、アレクサンダー・フォン・フンボルト財団より、フリードリヒ・ヴィルヘルム・ベッセル賞を授与されました。同賞は、フンボルト財団が世界中の有能な若手外国人研究者に対して授与している賞の一つで、受賞者には賞金とドイツにおける長期研究滞在機会が提供されます。ヴィヌ博士は、ナノポーラス材料分野での優れた業績が高く評価されました(2010年12月11日)。

