

No.9
Nov. 2011

MANA MEMO

国際的な視野で真のCOEを目指す —北澤 宏—

これからの時代で科学者が果たすべき役割 —マーク・E・ウェランド

MANAで活躍する若手リーダー達

MANA の研究成果

- 原子レベルにおける量子論理ゲートの設計 — クリスチャン・ヨアヒム
- トップダウンの物理的経路による
ラマン活性ナノ粒子の直接製造 — ジュング・サブ・ウィ
- コンビナトリアル材料合成で未知の電子材料を探索 — 知京 豊裕
- 発光色を可変可能な環境ナノ粒子 — 白幡 直人



国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
International Center for Materials Nanoarchitectonics (MANA)



北澤 宏一 KITAZAWA Koichi

独立行政法人科学技術振興機構顧問
日本学術会議連携会員
東京大学名誉教授

1943年長野県生まれ。東京大学理学部化学科卒業。MIT博士課程終了。1987年東京大学工学部教授に就任。2002年科学技術振興事業団専務理事、2007年科学技術振興機構理事長、2011年科学技術振興機構顧問に就任。専門は、物理化学、固体物理、材料科学、磁気科学、超伝導工学、エネルギー。1986年には世界の高温超伝導フィバーの火付け役となる。主な受賞歴は1988年日本セラミックス学会セラミックス大賞、日本応用物理学会賞、日本IBM科学賞、2002年紫綬褒章、2009年度応用物理学会業績賞など。著書に『科学技術者のみたく日本・経済の夢(第4版)』(アドスリー、2005年)、『科学技術は日本を救うのか—「第4の価値」を目指して—』(ディスカヴァー21、2010年)など。日本学術会議連携会員。科学技術による、「第4の価値」すなわち「社会的・精神的な価値」の実現を通じて、地球環境を守り、日本の産業経済を活性化することが可能と提唱する。

世界が興奮した ニューヨークでの発表

——北澤先生でまず思い出されるのは、1986年のニューヨークでの超伝導の発表です。日本だけでなく世界の研究者が興奮したことを覚えています。先生が高温超伝導に興味をもったきっかけは何だったのですか？

エレクトロニクスの見地から半導体が出来たらその次は超伝導体にしたと誰もが思っていたわけですが、私はどちらかというと電力の実用の見地から、電気抵抗がゼロだったら地球の裏側まで電気が届けられると考えたからです。

我々は、探索されていない物質でしかも電氣的に金属の性質を示すようなものを合成して超伝導をつくろうと考え、酸化物の超伝導を始めました。なかなかうまく行かなかったのですが、アレックス・ミューラーたちがこういうものならばと発表をしたのです。彼らは当時まだ無名で、データも超伝導らしくなかったので、学会から無視されていました。我々も違うだろうと思っていたのですが、学生たちの練習実験にやらせたら、それが良かった。非常にいい結果が出て、間違いなく超伝導だということになったのです。

——では半分は東大の業績みたいなものですね？

いえいえ、あれはベドノルツとミューラーの業績がノーベル賞をとるだけの価値があるということ、我々は専門家として最初に証明したということですね。結晶構造を同定したり、電気伝導性のメカニズムなどを提案したりした、ということです。

——あれから25年、超伝導はそのころ先生が考えていらした以上に進んでいるのでしょうか？

思っていたよりも進み方は遅いですね。やっぱり非常に難しい、酸化物に大電流を通すというのが難しい。高温超伝導は、現在、ビスマス系、イットリウム系、 MgB_2 の3種類の物質が実用に向けて開発を進められています。既にビスマス系、イットリウム系は市販品も出てきましたし、これからいろいろなテストが進められ、大規模な応用が始まる準備ができて来たということですね。

いい研究者は いい研究者に集まる

——MANAは文部科学省WPIプログラムに基づいて創られ、ほぼ半分の4年経ったところです。世界の中で目立つ研究所でいたいとして努力しているのですが、なかなか簡単なことではありません。まずはいい研究者を集めることからだと思うのですが、北澤先生は人材の確保についてどうお考えですか？

よい研究者を集めるにはどのような条件が必要か、いつも問題になるんですね。いい研究者というのは、いい研究者がいるところにいきたい。MANAは世界でも材料研究のトップクラスの人達が大勢集まっているのでその点で合格だと思います。つまりいい研究者が集まる素地が整っている。あとは海外から人が来た時に、どれだけ刺激が受けられて、一定期間を魅力ある環境で過ごして、業績を出して帰れるような研究の機会を与えられるかどうか、だと思うのです。

国際的な視野で 真の COE を目指す

❖聞き手：科学ジャーナリスト 舘取 章男

MANA は実際に宣伝もしてらっしゃると思いますが、そういう環境だと自信を持っていると思います。おそらく材料研究の場として、世界で3本の指には確実に入るところにいる、質×量として言ったら、おそらく一番と言っていいところにいるかもしれないと思いますよ。積極的にいい研究者を獲得してくるには、いい研究者どうぞいらっしゃいと言っている以上に、いい人をこの人と限定して誘ってくる。そして誘う時には、ちょっとした工夫と熱意が必要だと思います。

たとえばアメリカの大学では国際学会があると、教授がホテルにスイートルームを一つ借りて、学会に来ている学生たちに時間を指定してインタビューし、研究室に勧誘する場所を作っているんですね。ですから国際学会に行くのは、単に学術的な交流をするだけでなく、自分のところにいい研究者を引っ張ってくるリクルートの意味もあるのです。これは意図的にある程度やったほうがいいと思います。

いい目利きが いい研究者を見いだす

——具体的にいい研究者をどうやって見つけ出すのですか？

まず、いい研究者は目利きの人が探すのですが、目利きの条件があるのです。

まず第一に、ご自身が研究で成功したことがある人、第二にその分野の若者達に尊敬されていること、第三にそういう方はだいたいシニアなんですが、シニアにも拘わらずその分野でまだシャープに勉強を続けていらっしゃる方。この3条件です。

JSTでは、職員があちこち聞き回って、目利きの候補になりそうな方を前もってリストアップしておきます。そこに課題解決型研究ということで、課題がJSTに与えられると、そのリストから該当分野の目利きの人を選びます。その目利きの人がアシスタントを何人か選び、その数人で研究者を選考してもらうわけです。つまり、JSTは公募の上、書面審査し、これは面白い研究をしそうだ、やりがいのある研究だというものを目利きの人を選んでもらい、最後には面接をして、研究費もきめています。iPSの山中さん、透明トランジスタの細野秀雄さん、分子の家構造を発見された北川進さんは、この方法で見いだされているのです。

まだ業績が出ていないときに、いい研究者を捜し出して、きちんとした研究がやれる環境を与え、一生懸命研究をしてもらえば、数年のうちには彼らが思い描く、インパクトの大きい成果にたどり着くのです。

だから目利きの人が非常に重要ですね。若手の研究者にとにかく主張させてみて、その主張が本当に面白いかどうかを目利きが判断します。そのときインパクトが大きくてアイデアがしっかりしているかのほかに、

どれだけアイデアに基づいて準備しているか、やりはじめているかを重視します。やりはじめて手がかりが得られるところというのが、研究者として一番旬なんです。その時期に探し出してファンドを比較的豊かに出して支援していければ、ぐんと伸びるということがだいたいわかっているんですね。そうでない時に出してもあまりうまくいきません。

——やはり旬をしっかりと峻別する、それが大事だと言うことですね。

白熱した議論と武者修行 が研究者を育てる

——MANAでは、若い研究者をいかに早く一人前にするかも課題になっています。最近では独立研究者の中から研究グループのリーダーを選ぶということもしているのですが、若い研究者が伸びていく為に必要なことは何でしょうか？

私は2つあると思うのです。

一つ目は、若い研究者は若いうちに刺激を受けることが非常に重要で、そのためには議論を吹かけられる環境にすることが必要だと思います。白熱した議論をできる環境、そしてどうしてもこれを試してみたいと思いついたときに、やらせることができる環境ですかね、そしてそれを大目に見ることかなと思います。

もう一つは私自身感じていることですが、なるべく若いうちに武者修行に出るということですね。最近の日本の研究者は外に出たがらないとよく聞きますが、残念ながら安定志向というか、なるべく早くに安定した職位を得たいという気持ちが高いようですね。だから武者修行をして来た人を優先的に採用するというように、研究所単位で制度そのものを変えてしまわないと、なかなか武者修行に出ないのではないのでしょうか？

自分を全然違う世界に触れるさせるために、自分が今までいた安住できる快適な場所から放り出されて、そこで雑草を食べながら生きていけることを示し始めた若者を集めてくるというのが一番いいと思いますけど。それを推奨していれば、自然と若者が武者修行の旅にできるようになります。

真の国際化で世界のCOEへ

——研究所の国際化についてはどうお考えでしょうか？

真に世界に通用するCOEになろうとすれば、人材も世界から選ばれた人材でなければならない。ヨーロッパと同じように世界で探すことになると思いますね。ヨーロッパというのは、自分の国の人をそのポジションに置こうとは最初から考えていませんから。ある研究所が本当に世界のCOEになろうとすると、人材に関してたまたま日本人が優れてい

れば日本人を選ぶことはありますが、他の国の方が優れていればそちらを選ぶというぐらいの覚悟でやるのが、真の国際化されたCOEだと思います。なかなかそこまでゆくのは難しい部分もありますが、それをなるべくやってみる、リーダーとして目立つ人を少なくとも何人か、そういう形でピックアップすることが必要だと思いますね。まだ業績はないけれども優秀そうだと連れて来ても、そう簡単に育つ訳ではない。だからその初期においては、既に成功しているぐらいの人を何人か連れて来て配置します。そしてその人達に人選をある程度まかせてやっていくほうがいいのではないのでしょうか？

シンガポールはそれがうまくいった例です。彼らは桁外れのバイオの研究所や病院を作ったんです。こんなに立派なものを作ったのだと思うのですが、シンガポールなら周辺に何億もの人間がいますから、研究所でも病院でも、評判が非常に高ければ人が集まりますよね。但しトップでなければだめです。大学もトップだったら学生はあちこちから来る。研究所もいい成果を出せば、世界中から買いに来ます。別にシンガポールの中にマーケットは必要ないと言うのです。でもシンガポールが身分相応にやったら来ません。身分不相応にいい大学にするから学生が来るんです。COEってそんなものだと思います。

MANAはお金もあるし、既に世界のCOEの一角に食い込んでいるところですから条件は非常にいいと思うんですね。後はそこを強調してやっていく、我々は世界のCOEなのだ発信して活発にリクルートして来る、ぐらいの気持ちでやっていく。そこまでやると最終的なCOEに仕上がるのではないかと思いますね。

——世界的なCOEというのは、研究者が非常に流動的であるほうがいいのでしょうか？

そうですね、優秀な研究者だと、あっちこっちからお声がかかって自然といなくなります。残念ながら、これはCOEの宿命です。

ですから自分のところの出身の人が世界各地に散らばり、その重要な人になっているところがCOEなんだと思いますね。世界の材料研究の第一線には必ずMANA出身の人がいるというのが理想ですね。

——最後にMANAに今後期待されることは何かありますか？

MAMAが行っている研究は非常にユニークで、世界からも相当チャレンジングだと認められていると思います。ただし、その全てが成功するかどうかわからないようなプロジェクトも一つぐらい持ち込むとよいのではないかと、思います。

——本日は、大変有益なお話をありがとうございました。

これからの時代で 科学者が果たすべき役割

マーク・E・ウェランド

Mark. E. Welland

MANA サテライト主任研究者 (PI)

ナノシステム分野

ケンブリッジ大学教授

MANA のサテライト主任研究者でいらっしゃるケンブリッジ大学のマーク・ウェランド教授は、英国政府の首席科学顧問もつとめていらっしゃいました (取材当時在職、2011年8月まで)。ご自身の科学顧問としての職務について、また科学者の果たすべき役割についてうかがいました。

政策決定における科学者の役割

——英国政府首席科学顧問としてどのようなお仕事をされてきましたか？また、科学者として、政治に参加されることをどう考えていらっしゃいますか？

私は科学顧問として主に国家機密にあたる仕事、すなわち安全保障・防衛等の分野を担当し、科学的に精査し、監視して報告書を提出することを職務としています。政府の正しい政策を導くという点で、非常に興味深い職務だと思っています。我々科学者は気候変動や原子炉のような一つの狭い分野ではなく、すべての分野において政策決定を支援するモデリングを行い、その助言が政府の政策決定を助けられると私は考えています。実際私が見てきたこの3年間、科学者は非常に強い役割を果たしてきましたし、影響を与えた政策もありました。私が政治的なアドバイスを求められたとき常に心がけているのは、単に科学を解説するのではなく、その政治的な選択が科学にどう影響するか、また逆に政策の選択のために必要な科学的技術は何かを解説するということです。重要なことは、独立した科学的な分析を科学面・政策面・規模や重要性においてどう解釈していくか、わかるように通訳することなのです。たいへんですが非常にやりがいのある仕事だと思っています。

——3月の日本の大震災後、英国政府からもいろいろ支援をいただきました。福島事故についても報告書を作成されましたね？

我々も科学者の立場から日本を支援するために、まず専門家からなるチームを日本へすぐに送りました。制御機能の分析や天気などの分析などを行うためです。英国の人々は、このような事態の場合支援を惜しみません。だから支援の依頼に対し、英国は自分たちができることを非常に迅速に対応してきたと思います。福島事故に関しては、首相から英国の原子炉の安全性について福島と比較して報告書を作成するよう要求があったので、調査検討の末、福島からいろいろ教訓を学ぶ必要がありますが、原子炉は安全であり稼働停止をする理由はない、と報告しました。実際、我々の一般的な見解として、日本はこの前例のない災害・人災に非常にうまく対処していると思います。確かに、技術的な詳細は最適でない対処方法だったかもしれませんが、正直私たちは日本の対処方法に非常に肯定的な見方をしていますよ。

次世代の科学者に期待する役割

——新しいエネルギーについてはどうお考えですか？

別の新たなエネルギー源を考えると、システムアプローチを行う必要があります。エネルギーの生成だけを考えるのではなく、何がエネルギーを必要とし、どのようにエネルギーが使用されるかについて考えなければなりません。スマートグリッドのような考えです。

また、エネルギーを蓄積することも一つの課題です。太陽が出ている時や風の強い時に再生可能エネルギーの多くは生成されますが、どのように蓄積しますか？たとえば、水力発電ダムで水を汲み上げ、貯めておく方法があります。より効率的な方法として、あらかじめ水を水素と酸素に分離しておき、エネルギーが必要となった時にこの2つを合わせてエネルギーを生成する方法もあります。

単純に新たなエネルギーを作るだけのためにちょっと試してみようというのでは、正しい答えを得られないだろうと思います。エネルギーをとりまくもの全体を見て、解決策を考える必要があると思うのです。私の太陽電池に関する研究についても、このように大きなシステムにおける活用方法を考えつつ、有用になるよう進めていきたいと考えています。

——今後のアプローチとして、大局的な見方が大切だということですね。最後に次世代を担う若手研究者へ伝えることはありますか？

今の気候変動、食料不足、水不足、エネルギー問題など、現時点で人類が直面している主要な問題を見れば、急増する弊害に対する科学的な解決策が急務だということはおわかりでしょう。

これらは単なる政策の問題ではなく、すべてその本質に科学と技術が関わっていると思うのです。だから若手研究者は、将来に非常に大きな課題を持っていると私は思います。これらの問題を解決した場合、非常にポジティブな方向に世界は動きますが、解決できないならば、より多くの悪影響がでてくるでしょう。私のメッセージは若手研究者のためには、あまりうれしいものではありませんが、私は彼らがおそらくまだ実現されていない方法で、世界を本当に変えてくれる、いい方向に導いてくれると信じています。そしてその実現には、科学と技術が重要な役割を果たすと思っています。

マーク・E・ウェランド

ブリストル大学で博士号を取得後、1985年にケンブリッジに移り、1991年よりナノサイエンスの研究を始め、2003年にケンブリッジ大学ナノテクノロジー研究センターを設立し、現在まで所長を務める。2002年から2008年までナノテクノロジーの学際的共同研究 (IRC) のディレクター。日本の世界トップレベル研究拠点 (WPI) プログラム構想にも関わり、2007年10月から現在まで、MANA サテライト主任研究者を務める。英国物理学会発行、ナノテクノロジー・ジャーナルの前編集長。英国国防省首席科学顧問を2008年4月から2011年8月まで務める。2011年ナイト爵位を叙勲。



MANA で活躍する若手リーダー達

世界トップレベルの研究所になるために、MANA は国内外の一流の研究者を招へいして実績を積み重ねていますが、それと同時に、若い、優れた研究者を育成し、彼らができるだけ早く世界の檜舞台で活躍できるよう渾身の努力を傾けています。その一環として、このたび5人の若手研究者をグループ・リーダーに登用し、それぞれの一層の飛躍を期することになりました。

ここでは5人のグループ・リーダーに自己紹介をしてもらい、彼らの研究への思いや意気込みをお伝えしましょう。

(アイウエオ順)



たてやま よしたか
館山 佳尚

ナノシステム分野
ナノシステム計算科学
グループ・リーダー

先端的な量子力学的計算手法を開発・確立すること、それを用いて実験観察が難しい化学反応の解析にトライすること、それらを通してエネルギー・環境問題に貢献すること、この3つが目標です。最近では、二酸化チタンを用いた次世代太陽電池や光触媒において、どのように光エネルギー

が電気・化学エネルギーに変換されているのか?といった問題を次世代スパコン「京」をはじめとするスパコンを用いて解明しています。

研究が趣味みたいなものなので休日もよく仕事をしています。たまに子どもと遊んで息抜きしています。

グループ・リーダーになって研究の自由度は増えました。チャレンジングなことができるという意味のプレッシャーは感じています。

電子ではなくイオンに注目して、従来のエレクトロニクスデバイスでは得られない性能や機能を持ったナノイオニクスデバイスを創ろうというのがグループの目的です。一個一個のイオンで演算や記憶ができる究極的に微小なデバイスを生み出したいと考えています。

日本は固体イオニクス研究で世界のトップを走っているのを、それをさらに発展させていきます。また、イオニクスデバイスは生物に近いアナログ的な性質も持っていますので、生物を模倣したユニークなデバイスも創りたいですね。そのせいでないのかもしれませんが、私は動物や植物と接したり、自然にふれ合ったりするのが好きです。

てらべ かずや
寺部 一弥

ナノシステム分野
ナノイオニクスデバイス
グループ・リーダー



ながお ただあき
長尾 忠昭

ナノシステム分野
ナノシステムフォトリソ
グループ・リーダー

グループ・リーダーになったからといって、特に意識が変わったとは思いませんが、むしろ3月11日の震災によって、課題解決型の研究の大切さを考えるようになったかも知れませんね。

私は元々計測が専門で、原子・電子の振動を調べる、電磁場(光)を調べることから入り、「光をナノ材料中で制御し利用」するところに行きつきました。大きな入口か

ら入れた光を、小さな出口から縮めて出すように、ナノ材料中の狙った場所に効果的に光を当てて反応やエネルギーを作り出そうというものです。いってみればドラえものの「ガリバートンネル」にも似て、やや夢物語に近い話ですが、このような研究で世界のトップを狙いたいと思っています。

時間があれば、大学時代に熱中したボートやサイクリングをしたいですね。

ナノ構造をつかった次世代トランジスタの①集積度を上げる、②制御性を高める、③高速化を実現する、のが私たちのグループの目標です。

現在、半導体ナノワイヤを用いた縦型構造トランジスタが次世代半導体デバイスの基幹材料として提案されていますが、その実現に役立つ新しい特性制御法とそ

の評価法を確立することができました。最近では、この成果を次世代高効率太陽電池のプロジェクト研究にも展開しています。

時間があれば、世界各地を巡って異なる文化や風土に触れるのが楽しみです。ギリシャのレスボス島では価値観の大きな違いに目を見張られました。

ふかた なおき
深田 直樹

ナノマテリアル分野
半導体ナノ構造物質グルー
プ・リーダー



もり たかお
森 孝雄

ナノマテリアル分野
原子ネットワーク構造物質
グループ・リーダー

グループ・リーダーになって、いい意味での責任感が増えた気がします。

私の研究テーマは、ありふれていて、安全な元素を主成分とする化合物の高機能材料化です。その切り口はネットワーク状構造ということで、共有結合性の化合物、ひらたくいえば、クラスターや籠状、網状の化合物です。炭素ではグラファイト

関連物質やフラーレンなどで知られていますが、ほかにもたくさんあります。いずれにせよ、原子ネットワークの制御と活用による社会に有用な物質の設計と合成が目標です。

オフは読書でしょうか。古典的なミステリーが好きです。

原子レベルにおける量子論理ゲートの設計



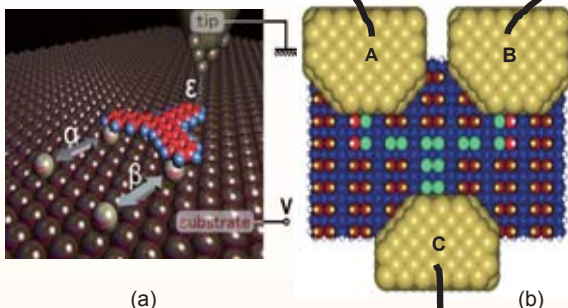
クリスチャン・ヨアヒム
Christian JOACHIM

MANA サテライト主任研究者
ナノシステム分野

ナノサイズの計算装置を作るとして、それが単体で複雑な計算を実行できるようになるには、どれくらいの数の原子や量子状態が必要なのでしょう。この疑問の答えを得るために、私たちは以下の研究をしています。(1) ブール型論理計算を実行できる分子や、原子表面回路の量子設計、(2) 分子合成、及び表面上での超高真空走査型トンネル顕微鏡を用いた原子回路構築、(3) 支持面の原子配列を変えることの無い、10pmの精度を持った新しい表面多電極相互接続技術、そして(4) 完全論理ゲートやその相互結合、及びそれらの支持表面を適応できる専用の量子化学ソフトウェアの開発 (N-ESQC) [1]。

表面支持された原子スケールの論理ゲートは、分子 (図 1a) あるいは表面ダングリリングボンドで構成された回路 (図 1b) となります。私たちは半古典的回路や量子ハミルトニアン回路、キュービット回路などの既知の原子スケール論理ゲートの設計が、同じ量子システム制御問題に行き着くことを示しました。量子力学的

に十分に最適化や準備された 3 ステート量子システムは、物理学的観点から NOR 論理機能を実行することができますが、実際に実用的な表面回路を形成する時には、その構造に必要な原子の数 (および活性な量子状態) は数個から数百個へと著しく増加します。私たち独自の量子ハミルトニアン論理ゲート [2] は通常の分子エレクトロニクス論理ゲートと比べ、古典的入力データが量子システム上でエンコードされる点や、量子から古典への変換により出力結果を読むことができる点において異なっています。最近私たちは、自分たちの量子設計が相互結合から来るデコヒーレンスの恩恵をどれほど十分に受けているかについて示しました。私たち



は現在、フルデジタル加算機のような、より複雑なブール型論理機能を単一分子に組み込む研究を進めています。また、不動態化された半導電性表面上において数個のダングリリングボンドを用い、電流 (または機械的なナノギア) による入力や電流強度で出力する方法によるブール型論理ゲートの構築を試みています。

参考文献

- [1] F. Ample et al., *J. Phys. Cond. Mat.*, **23**, 125303 (2011).
[2] W.H. Soe et al., *Phys. Rev. B*, **83**, 155443 (2011).

図 1: (a) 量子設計をベースにした単分子 NOR 論理ゲート [2]。2つの論理入力は走査型トンネル顕微鏡 (STM) で操作された Au の単原子であり、2つの starphene 分子の入力ブランチとの相互作用でオンとオフが決まる。出力は starphene 分子の出力ブランチ上に設置されている STM 探針でトンネル電流の大きさを検知することで得る。(b) 単一表面の原子を用いた OR 論理ゲート。半古典的設計に基づいている [1]。この論理ゲートは電流を流すことで稼働する仕組みで、A と B が入力用のナノ電極、C が出力用のナノ電極となっている。この回路は STM で Si(100)H 表面から H 原子を抜き取ることで作られている。原子引き抜き結果生じたダングリリングボンドは緑色、表面の残りの H 原子は白色で表わされている。単純化するために、図では Si(100)H 面の活性部分のみ載せている。

トップダウンの物理的経路による ラマン活性ナノ粒子の直接製造



ジュン・サブ・ウィ
Jung-sub WI

ICYS-MANA 研究者

トップダウンの物理的経路による合成ナノ粒子の直接製造では、材料をナノパターンのポリマーテンプレートに真空蒸着して粒子を製造します。これにより、粒子を低コストのバッチ式工法で大量合成できるようになり、また、化学合成では成し得なかった、材料組成、多層構造、粒子サイズや形状を正確に制御することも可能になりました。様々なリソグラフィー技術や蒸着技術を用いてナノ構造のデザインを自由に変更できるため、ナノ粒子に色々な物理的特性を持たせることが可能です。例えばリソグラフィーで描くよりも細かいパターンをつけることにより、その場所のプラズモンナノ粒子をより活性化することができます。これらのナノ粒子はラマン活性のホットスポットを持つように設計されており、表面プラズモン共鳴によって高められる局所的な電場が最大値に達します。

私たちのラマン活性ナノ粒子は、図 1 に示されるようにナノインプリントリソグラフィーと薄膜蒸着を用いて製造され、リソグラフィー以下の寸法の新しい内部構造から成っています。Ag でできた円盤状の核と、SiO₂ でできたペトリ皿状の台座をもち、基盤の内側は Ag でコーティン

グされています。核と基盤の間には 10nm 弱の円形ギャップがあります。共焦点ラマン測定及び電磁シミュレーション (図 2) から、ラマン活性のホットスポットは個別のナノ粒子の内周に見られます。これにより、分子の検出レベルが 1000 倍も改善され、ホットスポット周辺の分子が発する信号を見分けることができます。つまり、ソプレロ形状をしたこれらのナノ粒子が持つ正確に調整された大きさと独特の内部構造によって、1, 2 個の分子ですら検出が可能になります。磁気要素に由来する機能を持つ、マルチモーダルなナノ粒子は、プラズモニックな膜と磁性膜の

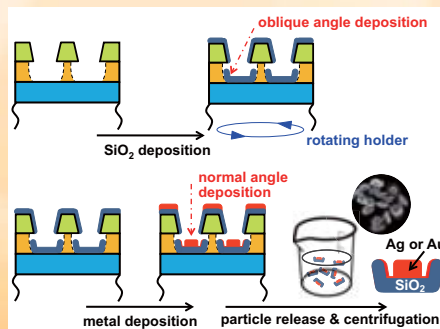


図 1. 全体のプロセスの図説: ポリマーポケットアレイの生成詳細は出典に記載した論文参照)。SiO₂ 斜め蒸着、金属蒸着、ナノ粒子のリリース、そして遠心分離。図中の走査型電子顕微鏡写真は、遠心分離後の製造されたナノ粒子。

逐次堆積によっても作ることができます。以上の結果は、設計された内部ナノ構造と多層複合材料を組み合わせたエキゾチックな単分散ナノ粒子の直接製造の可能性を表しています。さらに、この製法は大量生産に適したナノインプリントと真空蒸着を使用しているため、ナノ粒子構造の簡単かつ精緻な制御をルーチンで行えるようになることが期待できます。現在の結果を考慮すると、ラマン活性ソプレロ型ナノ粒子は、超高感度分子検出プラットフォームとしての活用が期待できます。また、磁性を持つナノ粒子は異なるラマン色素を用いることで検出できるため、多機能の生体外もしくは生体内のイメージング剤として使うこともできると期待されます。

参考文献

- J. -S. Wi et al., "Sombrero-Shaped Plasmonic Nanoparticles with Molecular-Level Sensitivity and Multifunctionality", *ACS Nano*, **5**, 6449-6457 (2011).

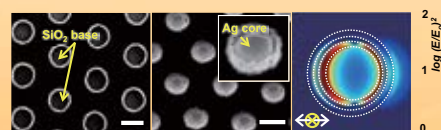


図 2. (左) 走査型電子顕微鏡で撮影された SiO₂ の台座と (中) ソプレロ型プラズモニックナノ粒子アレイ。図中のスケールバーは 200nm を表す。(右) Ag ラマン活性のソプレロ型ナノ粒子の局所電場の二乗振幅。入射光の方向とその偏光は、図においてそれぞれ黄色と白の矢印で表記されている。



知京 豊裕
Toyohiro CHIKYOW

MANA 主任研究者
ナノマテリアル分野

コンビナトリアル材料合成で未知の電子材料を探索

次世代半導体デバイスに求められているのは、高速化、高集積化、そして低消費電力を同時にみたすデバイスです。問題解決の鍵は新材料開発と界面制御にあります。特に開発が求められているのはゲートスタック材料です。今後の高集積化と高性能化のためには、より誘電率の高い材料 (Higher-k 材料) を Si 基板上に直接接合する必要があります。また、この Higher-k 材料に適した仕事関数制御可能なメタルゲート材料も必要です。

酸化物である higher-k 材料を Si 基板上に堆積した場合、通常は界面に Si が酸化され SiO_2 層が形成されます。 SiO_2 は誘電率が 3.9 と低いために higher-k と積層されると全体で誘電率が下がります。そのために、次世代の集積回路ではこの界面の SiO_2 をなくすことが求められています。この界面の SiO_2 を除去する方法の一つは SiO_2 と Higher-k 材料を反応させて酸化物と Si と酸素の化合物であるシリケートを形成することです。しかし、シリケートは低誘電率の SiO_2

との化合物であるために遷移金属酸化物に比べて誘電率が低下する傾向があります。そのため材料を選択して高い誘電率を維持し、かつ Si との直接接合が可能な材料を見つける必要があります。ここでは系統的にしかも高速に新材料探索のために、NIMS で開発してきたコンビナトリアル材料合成手法を使って新材料探索を行いました。その結果、 $\text{CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ の酸化物を Si 上に作製し、 900°C 以上の後熱処理をしたとき、 SiO_2 と反応した CeAlSiOx 酸化物が Si 上にエピタキシャル成長をしていることを見いだしました。図 1 はその断面構造を高分解能電子顕微鏡で観察した写真と原子配置の模式図です。Higher-k 材料と Si の格子が、直接接合している様子がわかります。また、10nm のこの酸化物上に仕事関数を変えるために Pt から W

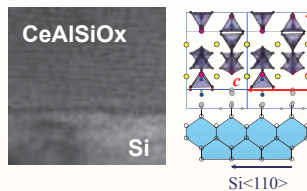


図 1. NIMS が発見した新しい Higher-k 材料 CeAlSiOx の高分解能電子顕微鏡写真と結晶構造の概念図。Higher-k 材料、 CeAlSiOx が Si 上に直接接合してエピタキシャル成長している。

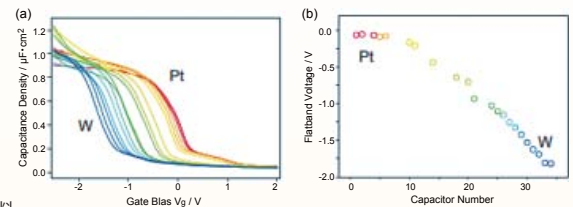


図 2. Pt から W へ電極の組成を連続的に変化させたときの容量-電圧特性とフラットバンド電圧変化。組成の違いによる仕事関数の変化に対応してフラットバンド電圧が変化している。

まで組成を連続的に変化させたメタルゲート材料をドット状に付け、容量-電圧特性を評価しました。図 2 に示すように、仕事関数に応じて、フラットバンド電圧が連続的に変化して理想的な MOS 構造ができていることがわかりました。また、この容量-電圧特性から CeAlSiOx の誘電率は 28 であることがわかり、Higher-k 材料としても優れていることがわかりました。

集積回路はこれから新材料開発が必要になります。今後もこのコンビナトリアル手法を使って、新しいゲートスタック材料や、さらに発展させた揮発性メモリ材料なども開発していきたいと考えています。さらなる集積回路の高度化へ向け、材料研究の挑戦が続きます。

参考文献

D. kukurzak, H. Reichert, K. Ohmori, P. Ahmet and T. Chikyow, *Advanced Materials*, **20**, 3827 (2008).

発光色を可変可能な環境ナノ粒子



白幡 直人
Naoto SHIRAHATA

MANA 独立研究者

光の世紀といわれる今世紀、発光技術の活躍の場は着実に広がり、我々の身の回りはさまざまな種類の発光材料で溢れています。その一方で、材料を構成する素材に対する要求は益々厳しいものとなっています。たとえば、LED などの光源デバイスに使用されるレアアースの供給状況は依然として不安定であり、生体や環境に無配慮な毒性の高いラベリング材など、元素戦略・環境・毒性といった因子が根底にある問題に対しては、未だ根本的な解決の見通しがたっていません。

本研究では、シリコンをはじめとする環境半導体を対象に発光素材としての実用可能性を探索しています。環境半導体を構成する元素は、クラーク数も高く、環境や人体に対しても低負荷であるため、元素に固有の性質としては懸念の問題を抜本的に解決するに相応しい素材といえます。焦点となるのは、果たして従来の素材に匹敵、或いは凌駕する機能

が発現するのかどうかという点です。シリコンが発光素材として注目されたのは 1990 年に溯ります。バルク状態では間接遷移型バンド構造をもち、かつ、バンドギャップが 1.1 eV のシリコンから赤色発光 (≈ 2 eV) が室温で観察されたことで脚光を浴びました。その後、青や黄といった可視域で室温発光するシリコンナノ粒子も報告されてきましたが、非常に少数の研究例を除き、フォトルミネッセンス発光の効率は数%に満たず、また、その発光スペクトルも非常にブロードであるため、実用化への期待は薄いと考えられてきました。

本研究では、特性の低減をもたらす要因が光励起キャリアの遷移プロセスを煩雑にしている粒子表面にあると考え、単分子接合を駆使して表面を均質にし、さらに粒子のサイズを精密に制御することでシリコンに秘められた新しい発光現象を明らかにしてきました。たとえば、粒径を ~ 2.5 nm の範囲で制御することで、発光波長を紫外域で可変できることを発見しました。さらに、粒子表面の制御は化合物半導体に匹敵する高効率・半価幅の

狭い発光スペクトルをもたらします。環境半導体の表面およびコアを巧妙に分子設計することで、半導体結晶単独では発現しえない新しい機能の創発に挑戦しています。

参考文献

N. Shirahata et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **13**, 7284-7294 (2011) (Perspective Article)
N. Shirahata, T. Tsuruoka, T. Hasegawa, Y. Sakka, *Small*, **6**, 915-921 (2010).

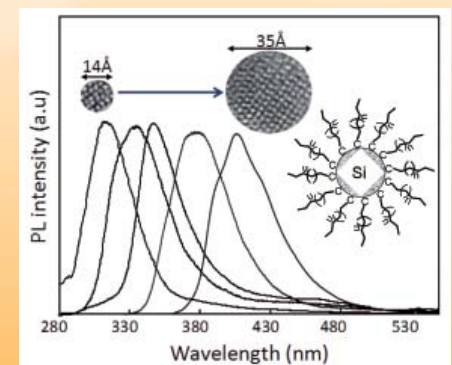


図 3. 紫外-青の波長域における発光波長と粒子サイズの相関

クロトー博士の楽しい科学教室 2011 を開催 ～ノーベル科学賞受賞者による特別授業～

MANAはアウトリーチ活動の一環として、1996年ノーベル化学賞受賞者でMANAアドバイザーでもあるハリー・クロトー博士を講師にお迎えして、つくば市近隣の小学生とその保護者50組を対象に「クロトー博士の楽しい科学教室2011」と題した科学教室を開催しました。

参加した子供たちは、第一部では同時通訳器を通してクロトー博士の英語に熱心に聞き入り、ワークショップ形式の第二部では、フラレンの分子模型を作成したり、たくさんの質問でクロトー博士を驚かせたり、とても活発に授業に取り組んでいました(9月17日)。



生徒と一緒にフラレン分子模型を作るクロトー博士

MANA-フリンダース大学合同シンポジウム ～ナノサイエンス&ナノテクノロジー～

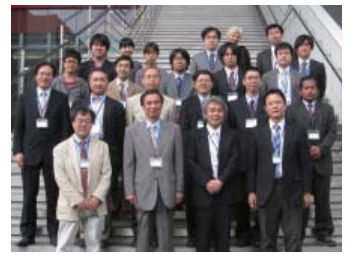
MANAは豪州フリンダース大学との共催で、ナノテクノロジーに関する合同シンポジウムをNIMS並木地区にて開催致しました。本シンポジウムは、2011年7月22日に両機関の間で締結された合意覚書の一環で行われたものです(10月31日)。



講演中の会場内の様子

大阪大学-MANA 合同シンポジウム ～先端構造機能性材料のデザイン～

MANAと大阪大学のグローバルCOEプログラム構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点による共催で、構造・機能先進材料デザインに関する合同シンポジウムが、大阪大学吹田キャンパスで開催されました(10月7日)。



シンポジウム参加者の集合写真

第7回日米英ナノテクノロジー学生サマースクールを開催

2011年9月5日から8日にかけて、英国ケンブリッジ大学ナノサイエンスセンターにおいて第7回日米英ナノテクノロジー学生サマースクールが開催されました。ケンブリッジのナノサイエンスセンターから9名、UCLAのカリフォルニアナノシステム研究所から6名、NIMSからはMANAで博士課程研究を行う11名が参加し、最新の研究成果を発表しました。

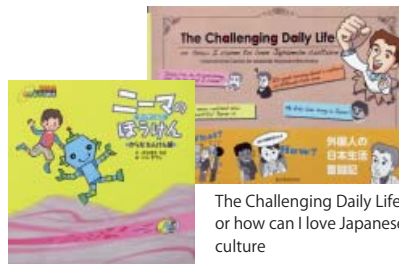
第8回は来夏にNIMSにて開催される予定です。



ケンブリッジ大学トリニティホールカレッジにて

2冊の書籍を出版

MANAはアウトリーチの一環として、日本で生活する外国人のための生活サポートブック「The Challenging Daily Life or how can I love Japanese culture (文化工房)」、および子どもたちにわかりやすくナノテクノロジーの技術を説明する絵本「ニーマのぼうけん ～からだたんけん編～ (少年写真新聞社)」の2冊の書籍を出版しました(10月14日)。



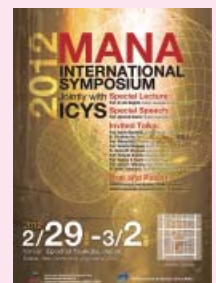
ニーマのぼうけん
～からだたんけん編～

MANA 国際シンポジウム 2012 を開催します

2012年2月29日から3月2日の3日間にわたり、MANAはナノテクノロジー・材料科学に関する国際会議を開催します。皆様の参加をお待ちしています(参加費無料)。

日時:2012年
2月29日(水)
～3月2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



詳細はウェブページをご覧ください。

http://www.nims.go.jp/mana_2012/

新任研究者の紹介



Qingmin Ji

MANA 研究者
ナノマテリアル分野
超分子ユニット
専門: LBL 法を用いた有機・
無機ハイブリッド材料
の作製

その他、ICYS 研究員2名が新たに着任しました。



吉川 元起

MANA 独立研究者
専門: 医療・環境・セキュ
リティへの応用に
向けた、先進的セン
サーの開発

CONVERGENCE No.9 2011年11月発行

発行: 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)
アウトリーチチーム
〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1
独立行政法人物質・材料研究機構内



電話: 029-860-4710 (代)
Fax: 029-860-4706
Eメール: mana-pr@ml.nims.go.jp
ウェブ: <http://www.nims.go.jp/mana/jp>

CONVERGENCE: 世界中の優秀な研究者をMANAのメルティングポット研究環境に結集・収斂させ、新材料の創製・イノベーションに向けて、ナノアーキテクトニクスのキーテクノロジーを統合 (CONVERGENCE) していくというMANA全体を表すキーワードです。

©掲載記事・図版の無断引用・掲載はご遠慮下さい