

「科学技術で世界平和に貢献する」と、吉川は自身の夢を熱く語ります。MANA独立研究者として第一線で活躍する彼の原点は、「とにかく熱くてかっこよかった」という高校時代の恩師との出会いにあります。人格形成期に出会う人々が及ぼす影響力の大きさをそこで学んだ吉川は、大学時代から家庭教師という形で子供たちに接し、研究者となった現在も次世代に科学の奥深さを伝える活動に積極的に取り組んでいます。

そんな吉川の研究テーマは「におい」センサーの開発です。人間の五感の中で唯一、人工的に再現しきれていない感覚が嗅覚なのです。スイス滞在中に、センサーの可能性と難しさを学び、MANAのアドバイザーであった故ハインリッヒ・ローラー博士（走査型トンネル電子顕微鏡の開発で1986年ノーベル物理学賞を受賞）と議論を重ねに重ね、人工嗅覚に应用可能なセンサーの基礎理論を固めました。ICYS-MANA研究員

として帰国後、スイス連邦工科大学との共同開発プロジェクトを立ち上げ、ついに超小型と超高感度を両立する新しいセンサー「MSS（膜型表面応力センサー）」の開発に成功しました。「このセンサーを使えば、呼吸によるガンの早期診断、簡易血液検査、環境汚染の監視、麻薬・爆薬の検知など、人々の暮らしを変え、世界の様々な問題を解決できるかもしれない」と吉川は言います。「科学者はやっぱり本当に好きなことに取り組まなければ」と考える彼は今、夢を実現しようとしています。

インタビュー：筑波大学D2岡田 孝春、M2中川 泰宏、M1遠藤 瑞紀  
執筆：筑波大学D2岡田 孝春

※本記事作成は、筑波大学とMANAのコラボレーション企画である、「つくばアクションプロジェクト (T-ACT) :サイエンス・コミュニケーションプログラム」の一環として行われました。



Profile

MANA独立研究者。2004年 東京大学大学院理学系研究科化学専攻博士課程修了、博士(理学)。東北大学金属材料研究所 助教、スイス・バーゼル大学 客員研究員、MANA リサーチアソシエイト、ICYS-MANA研究員を経て、2011年より現職。2013年 つくば奨励賞(若手研究者部門)受賞。

# CONVERGENCE

No.19 | 2015 | FEBRUARY

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



Asking the Researcher

## トポロジカル ナノアーキテクトニクス 新量子機能実現への挑戦 胡 曉

Leader's Voice

ナノサイエンスと  
ナノテクノロジーの  
過去・現在・未来

ドン・アイグラ  
スタン・ウィリアムズ  
青野正和



# CONVERGENCE



No.19 2015年 2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集結・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。

表紙…胡 曉主任研究者と川上 拓人MANA研究者

CONTENTS

- 2 Asking the Researcher トポロジカル・ナノアーキテクトニクス新量子機能実現への挑戦 / 胡曉
- 6 Leader's Voice ナノサイエンスとナノテクノロジーの過去・現在・未来 / D. アイグラ、S. ウィリアムズ、青野正和
- 5 Research Outcome 1 次世代薄膜トランジスタを造る / 塚越一仁
- 9 Research Outcome 2 赤外線とプラズモニクス / 長尾忠昭
- 10 Progress of MANA Satellites: MANA's Seven Sisters
- 11 NEWS & Topics
- 12 Emerging MANA Researcher 吉川元起

©掲載記事・図版の無断引用・掲載はご遠慮下さい



# トポロジカル ナノアーキテククス

## 新量子機能実現への挑戦

# 胡 曉

Xiao Hu

MANA主任研究者、ナノシステム分野/ナノ物性理論ユニット ユニット長

ミクロンを特徴的なスケールとする「半導体デバイス」に替わる新たな「ナノ量子デバイス」の実現が求められています。「トポロジカル・ナノアーキテククス」を掲げて研究を進めるMANAの胡曉主任研究者は、理論と実験の連携を図りながら、新規量子機能実現への挑戦を続けています。

### Profile

1990年東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修了、博士（理学）。東北大学金属材料研究所助手、助教授を経て、1996年よりNIMS、2007年MANA発足当時からPIとして着任。専門は物性理論。



## 新量子機能を探索

これまでコンピューターは、内部の半導体デバイスを微細化することで高性能化を図ってきました。微細化に伴い、ビット演算で使われる電子の通り道である配線の幅が狭くなり、電気抵抗が増えて発熱量が増加し、より大がかりな冷却装置が必要となります。これが消費電力量の大幅な増大につながるため、全く新たな動作原理の開発が、将来に向けた急務となっています。

こうした中で、次世代の科学技術として注目されているのが量子状態を情報伝達の媒介として情報処理を行おうという量子情報技術です。量子力学に支配されるナノスケールでの固有の特性を効果的に利用した量子コンピューターは、大量の情報を超高速で処理できる未来の計算機として期待されています。例えば、最先端の暗号技術や物質設計用の量子シミュレーションなどへの応用が見込まれていますし、夢の技術「量子テレポーション」の実現も期待されています。

このような背景の下、胡博士は新たな量子力学的性質を見つけ出して応用する研究を進めています。「確かに世界中の物理学者にとって、量子コンピューターの実現は究極の目標です。しかし、その前にクリアすべき難問がいくつもあります。現在、我々は、そのための基礎研究を進めているところです。基礎研究を通して見つかる発見も数多くあり、それらを応用することで、これまでになかった量子デバイスを開発できる可能性も見えてきています」。

## トポロジカル・ ナノアーキテククス

「トポロジー」とは、元々は、物体の形が連続的に変化する場合に不変に保つ特性を記述する数学の概念です。物理では、物質の状態を量子力学的に記述する波動関数に「トポロジカル不変量」という数学的な概念を適用すると、多くの現象の本質をよりはっきり理解できるし、よい機能の実現も可能になることが分かってきました。\*

こうした物質のトポロジーは系の大局な状況で決まるので、胡博士はトポロジーを利用してナノメートルスケールの極微細な量子デバイスを設計しようと様々な研究を行っています。このアプローチを

「トポロジカル・ナノアーキテククス」と一般化して、新しいコンセプトを提唱しています。「マヨラナ粒子」を操る量子ナノデバイスの設計は、そのひとつです。

マヨラナ粒子は、粒子がそれ自体の反粒子でもあるという特殊なフェルミ粒子です。素粒子としては未だに存在が確認されていません。ところが、近年、トポロジカル超伝導体の表面で、準粒子と呼ばれる超伝導ギャップ内での励起状態がマヨラナ粒子に似たような振る舞いをするのが明らかになりました。

「量子コンピューターを実現するために乗り越えるべき課題の1つに、電磁場ノイズなどにより、量子状態が壊れやすいことがあります。デコヒーレンスと呼ばれる現象です。安定性の高いマヨラナ粒子を使えば、デコヒーレンスを解決できるのではないかと考えられるようになったのです。これが、我々がトポロジカル超伝導に着目した最大の理由です」と胡博士は説明します。

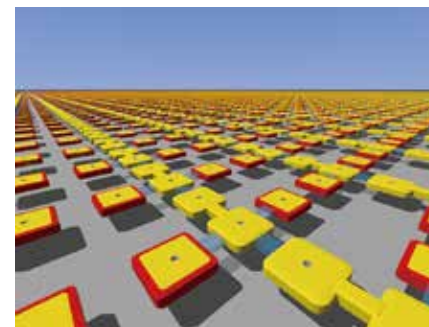
しかし、粒子が反粒子に等価のため、マヨラナ粒子は電気的に中性であり、電磁場による操作が難しいです。それに対し、胡博士らは理論解析に基づいて、局所的なゲート電圧のオン・オフだけで、マヨラナ準粒子を効率的に操る量子デバイスの設計に世界に先駆けて成功したのです（図1）。このデバイスによるマヨラナ準粒子の位置交換が非アーベル量子統計に従い、

(図1) a)マヨラナ準粒子を操る量子ナノデバイスの概念図

サンプルの真ん中には量子渦をピン止めてある。サンプルの間にはくびれ接合部を設け、そこにゲート電極を設置して、ゲート電圧の調整でサンプル間の接続が制御されている。単一あるいは連結されたサンプルの中に奇数個の量子渦がある場合にサンプルの縁にマヨラナ準粒子が現れ、偶数個の場合にはマヨラナ準粒子が消えてしまう。この性質を利用すれば、くびれ接合部のゲート電圧を一定の順序に従ってオン・オフするだけで、緑マヨラナ準粒子を移動・位置交換できる。



b)トポロジカル量子ビットアレーの概念図





量子計算に利用できることも確認しました。「強靱な量子コンピューターの実現は確実に近づいています」と胡博士は語ります。

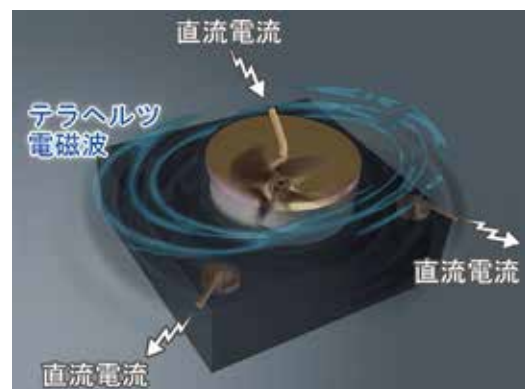
## 新奇物理現象から機能へ

胡博士は、複雑な物理現象を一般の人も理解できるように説明し、そして人類に役に立つような機能を創り出したいという強い願いを持って研究を続けています。その一例が、ナノ超伝導によるテラヘルツ電磁波発振のメカニズムの解明です。

ビスマス系銅酸化物高温超伝導体の単結晶がもつナノメートルスケールのジョセフソン接合系（固有ジョセフソン接合系）においてコヒーレントなテラヘルツ電磁波が放射されることが2007年に実験的に観測され、大きなブレイクスルーと言われました。しかし、放射パワーを大きくするために必要不可欠にもかかわらず、当初この現象に対する理論的説明が見つかっていませんでした。胡博士は大規模計算機シミュレーションと理論解析を駆使して、超伝導位相の新しい量子状態を発見したのです。胡博士の理論は、固有ジョセフソン接合系が、直流電流を「風」に、システムに発生する超伝導位相キルクを「風車の羽根」に、テラヘルツ電磁波の発振を「風車の回転による交流発電」に例えることができる「ナノ風車」として実効的に機能していることを明らかにしました（図2）。こ

(図2) 銅酸化物高温超伝導固有ジョセフソン接合によるナノ風車の模式図

超伝導体の単結晶に直流電流が注入されると、個々のジョセフソン接合に位相キルクが生まれ、それが回転して風車のように動く(図中基盤から約1 $\mu$ mの高さを持つ円柱状のメサ構造に約700個のナノ風車が積み重なっている)。その結果、注入された直流エネルギーがテラヘルツ電磁波に変換され、円柱メサの側面から空間に放射される。



の理論的解明によって、固有ジョセフソン接合系が、実応用に必要とされるパワーをもつテラヘルツ電磁波の新しい量子光源になり得ることが判明したのです。ジョセフソン効果発見以来、50年越しの夢の実現が見えてきました。テラヘルツ電磁波はDNA病理検査や薬品分析等様々な応用が期待されます。X線に取って代わる、人体に悪影響を与えない光として空港等でのセキュリティチェックにも利用できます。

## 考え続ける力とユーモア、そして仲間

理論物理研究者としての醍醐味は、物理学の原理から出発し、精度の高い計算に基づいて設計した物質やシステムが、実験を通して、素晴らしい物性を示したときに感じる感激にある、という胡博士。

「この喜びに勝るものはありませんね。私は研究が大好きです。今後も一生、研究に携わっていきたいと思っています」。

しかしながら、そんな彼でも、研究に行き詰ることはしばしばだと言います。そのようなときは、妻からもらった言葉「Inspiration comes of working (ひらめきは、常に考え、努力し続ける人へのみ訪れる)」を思い出し、励みにするとのこと。

「とはいえ、苦しみながら考えるのではなく、常に楽しみながら考えるように心がけています。研究は挫折の連続です。それに負けないためには、ユーモアの精神を持つことが重要です。加えて、苦しみも喜びもともに分かち合える仲間を大勢持つことも、とても大切なことだと考えています」。

### \* トポロジー

取手の付いているコーヒークップとドーナツが連続的な変形によって互いに変われることはトポロジー的に等価という。1850年ごろにコーシーによって、曲率を物体表面に沿って積分した場合その結果が円周率 $\pi$ の整数倍と飛び飛びな値になり、その整数で物体を分類することができるが発見され、トポロジー=位相幾何学という数学分野の草分けとなった。固体の中で電子がプラスの電荷を持つイオンが作る周期的なポテンシャルを感じながら量子力学的に運動する場合、その運動量空間での波動関数はドーナツの表面曲率に近い性質を示すことが近年明らかになった。最近トポロジーをキーワードとする物性物理と物質科学が急速に発展している。



塚越 一仁

主任研究者 ナノシステム分野



## 次世代薄膜トランジスタを造る 高精細・省エネディスプレイを 実現するための元素エンジニアリング

### 省エネディスプレイの重要性

私たちの生活の情報化が進行しています。私たちの活動の全てがビット情報化され“ビックデータ”と呼ばれる情報となっています。しかし、人が理解して取り扱える様にするには、聴覚もしくは視覚情報にしなければなりません。このうち、聴覚情報は多くの場合で不確かな伝聞となり、瞬時に多くの情報を伝えられる図形・写真や正確な文字伝達が必要です。さらに、情報取得のみならず、情報入力にもタッチパネルのような簡略な情報入力システムが重宝されています。このために、ディスプレイの重要性は益々高まり、性能の向上も求められています。

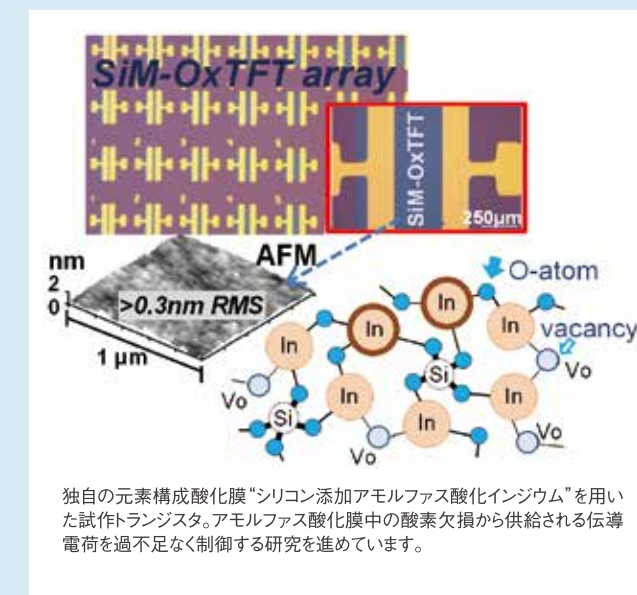
### 独自の元素構成酸化膜によるTFT開発

現主流のディスプレイでは、各画素のスイッチングには薄膜トランジスタ (TFT) が使われています。画素駆動TFTを大別すると、大型ディスプレイはアモルファスシリコン、中小型はポリシリコンで、新規材料として酸化膜InGaZnOが使われ始めました。しかしながら、それぞれに特性や製造での課題があり、次世代ディスプレイ実現のために、我々は高移動度で製造揺らぎ要素を抑制できる新規酸化膜TFTの実現を目指しています。特に、数年後の原料供給が不安な亜鉛 (Zn) を含まない材料の開発が課題です。我々は、これまでに、移動度は高いが特性不安定性が大きいアモルファス酸化インジウム (InOx) 薄膜の導電特性に関して、酸化膜に少量の金属酸化膜を添加して伝導不安定性の要因を調べました(図)。アモルファス酸化膜では伝導電荷が酸素欠損から供給されるために、移動度を求めて伝導電荷を増やすと伝導性が不安定になります。我々は不安定性の要因を調べ、薄膜に添加する元素の酸素結合解離エネルギーと電気特性安定性の相関を見出しました。酸素結合解離エネルギーの大きいシリコンを添加したInOx膜は、電界効果移動度はアモルファスシリコンよりも2桁大きく、アモルファスシリコンと同等の温度帯で成膜できます。再現性等が高いために造りやすい薄膜です。

### さらなる省エネ化へ向けて

ディスプレイの問題は、ディスプレイの高精細化と総数増加に伴う、エネルギー消費の急増です。例えば、高精細4Kテレビでは、従来品よりも100W以上高くなっています。室内のテレビでの消費電力増加は、冷却に余計な空調エネルギーも必要となります。もし、国内テレビ(約1.2億)の多くが4K化すると、大型発電システムが新規に10基以上も必要となります。更に高精細の8Kでは、さらに省電力化が必要です。

我々のTFTは、移動度が材料よりも大きく微細化も可能であることによって、画素の高速動作と同時に画素開口率を大きく改善できます。さらなる特性の制御によって、私たちの生活に無くてはならないディスプレイの消費電力低減に寄与ができるはずで



独自の元素構成酸化膜“シリコン添加アモルファス酸化インジウム”を用いた試作トランジスタ。アモルファス酸化膜中の酸素欠損から供給される伝導電荷を過不足なく制御する研究を進めています。

### 参考文献:

N.Mitoma, S.Aikawa, X.Gao, T.Kizu, M.Shimizu, M.-F. Lin, T.Nabata, K.Tsukagoshi, “Stable amorphous In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-based thin-film transistors by incorporating SiO<sub>2</sub> to suppress oxygen vacancies”, *Applied Physics Letters*, 104 (10) 102103/1-5 (2014).



## 3人のナノサイエンスとナノテクノロジーのパイオニアが MANAに集合

青野正和MANA拠点長、ドン・アイグラー博士、スタン・ウィリアムズ博士



# ナノサイエンスと ナノテクノロジーの 過去・現在・未来

**—青野:**Don (Eigler博士)、Stan (Williams博士)、MANAへようこそ。こうしてMANAでお二人とお話する機会が持てとても嬉しく思います。ここ4半世紀の間、ナノサイエンスやナノテクノロジー分野で、お二人と互いに切磋琢磨した協力する喜びを享受してきました。この機会に、お

二人に心からお礼を申し上げたいと思います。

今日はMANAの拠点長として、お二人にインタビューをさせていただきます。

**—青野:**お二人はとても興味深い組み合わせで、Donは基礎研究に関心があ

り、Stanは応用研究にも関心をお持ちです。

**—Eigler:**企業で働くときには、まずその企業の収益を上げることが求められます。IBMでは、興味があるからというだけの理由で基礎研究を行なう研究者はいませんでした。すべての研究は戦略的な研究でなければならなかったのです。

その意味では、ヒューレットパッカード (HP) でのStanの研究とIBMでの研究には違いはありません。私のIBMでの活動は、将来の会社の成功に向けての戦略としてIBMが認めた課題の基盤づくりに軸足を置いていました。

**—青野:**Donのニッケル表面へのキセノンの操作は、本当にナノサイエンス、

ナノテクノロジーでのブレークスルーでした。

**—Eigler:**元はそのようなつもりで行っていたのではなく、当初の目的は原子が他の原子や表面にどのようにして結合するのか、より深く解明することでした。極低温走査型トンネル顕微鏡を慎重に操作していたとき、原子を再配置することができたのです。それで、原子を制御しようと試みました。

**—青野:**Stanは、イオン散乱分光法を用いた固体表面の表面科学の研究から、メモリスタ等のデバイスの研究に方向転換されましたね。何がその動機だったのでしょうか？

**—Williams:**1994年にノースリッジ地震が発生し、UCLAの私の研究所は完全に壊れてしまいました。その時に、HPで新しい基礎研究グループを立ち上げるオファーをもらいました。そのコンセプトは、基礎からスタートして、10年から15年後に会社にとって新しい革新的なものを作り出し、それにより将来HPに市場競争力をもたらすということでした。今は、HPで将来に目を向けて「Foundational Technologies」と呼ばれるグループを運営していますが、私の活動はここから生まれる技術を市場に出すことに集中しています。

**—青野:**どのようにしてLeon Chuaのアイデアに出会ったのですか？[メモリスタは、1971年にカリフォルニア大学バークレー校の電気技術者であったLeon Chuaが予言した。]

**—Williams:**HPでは、技術の展望を得ることに時間を費やしていました。当時、ムーアの法則に沿って半導体の集積密度は増加していましたが、ムーアの法則が成立しなくなり、さらに小さいトランジスタの製造が不可能になったらどうなるのだろうかと考え始めました。そこで意図的に、新しい形の電子デバイスや光デバイスについて調べました。まず無機材料を調べ、原子スイッチについて研究を始めました。それが、メモリスタに遭遇することになったきっかけです。同時に、フォトニクスについても調べていて、リング共振器に基づいたフォトニクススイッチを開発しました。

て調べました。まず無機材料を調べ、原子スイッチについて研究を始めました。それが、メモリスタに遭遇することになったきっかけです。同時に、フォトニクスについても調べていて、リング共振器に基づいたフォトニクススイッチを開発しました。

**—青野:**お二人に、ナノサイエンスやナノテクノロジーに対する将来像をお聞きしたいのですが。

**—Eigler:**ナノスケール科学は長いこと研究されてきました。材料の特性やナノ構造物で生じる不思議な挙動について学ぶ機会が数多くあります。大きなインパクトを与えたナノテクノロジーはまだ目にしていませんが、これから15~20年後には、ナノスケールで物を制御できるようになり、人々の生活様式が変わるかもしれません。しかし、これが大変革であるかどうかは分かりません。

**—Williams:**ナノテクノロジーはとてつもなく重要な技術ですが、それは多くの人たちが考えているような理由からではありません。ナノテクノロジーは、多くの聡明な若い人々を引きつけ、この聡明でやる気のある若い人たちが、研究の重要な母体を形成してきました。今あるのは基礎ですが、これからはその基礎を発展の土台にする時です。

**—青野:**Donは学際的な協力の重要性をどのように考えておられますか？

**—Eigler:**私は、必ずしも「学際的」という言葉は好きではありません。というのは、この言葉は科学を縦割りにする考えだからです。これまでの15~20年の間にナノサイエンスでなされてきた努力の一つの成果は、新しい科学に取り組む機会を見つけるために、ナノサイエンスの研究者とこれまでの手法に長けた人達とが話し合うことができるようになったことです。異なる分野の知識と経験を結びつけることができる能力はとても強力な力となります。

**—青野:**Stanは政府の科学技術政策についてどう思われますか？



**Don Eigler博士 (The Wetnose Institute for Advanced Pelagic Studies所長)**

物理学者のDonald M. Eigler博士の専門は、極低温走査型トンネル顕微鏡の開発とその利用分野で、ナノスケール構造物の物理的特性を解明してコンピュータ演算に応用することを目的として研究を続けてきました。博士が1989年に、極低温走査型トンネル顕微鏡で個々の原子を操作して35個のキセノン原子を用いて「IBM」の文字を描いたことは良く知られています。博士は、カリフォルニア大学サンディエゴ校で学士と博士の学位を取得し、1986年に研究スタッフの一員としてIBMに入社、1993年にIBMフェローに任命された後、2011年に退社しThe Wetnose Institute for Advanced Pelagic Studiesの所長に就任しました。



**Stan Williams博士 (HPシニアフェロー)**

ナノテクノロジー分野で世界をリードするR. Stanley Williams博士は、現在ヒューレットパッカード (HP) 社のシニアフェローで、カリフォルニア州パロアルトにあるヒューレットパッカードラボラトリーのFoundational Technologiesの副所長です。1974年にライス大学で化学物理学の学士を取得、1978年にカリフォルニア大学バークレー校で物理学の博士号を取得しました。HPでは、実際に作動するソリッドステートのLeon Chuaのメモリスタを開発したグループのリーダーを務めています。現在の研究は、ナノエレクトロニクスおよびナノフォトニクス、コンピュータ演算および認知科学です。博士は、査読付科学誌に400編以上の論文を発表し、世界中で300件を超える特許を取得しています。



**青野正和 MANA拠点長**

現在MANA拠点長およびNIMSフェローである青野博士は、1972年に東京大学から博士号を取得し、研究員として当時の無機材料研究所 (NIRIM) に入所、1978年から80年まで、米国ウィスコンシン大学マディソン校のシンクロトン放射光センターにて、Visiting ProfessorとしてDean Eastman博士が率いるIBMのグループとともに研究に従事しました。1986年に主任研究員として理化学研究所に移り、表面・界面研究室を立ち上げました。1996年から2005年まで大阪大学教授を兼任し、2002年にナノマテリアル研究所長としてNIMSに転任、2007年に現在の職に任命されました。博士は、表面化学、ナノサイエンス、ナノエレクトロニクス、ナノスケール計測分野の先駆者として、「直衝イオン散乱分光法」、「アトムクラブ」、「原子スイッチ」、「マルチプローブSPM」、「化学ハンダ」等のキーワードで代表される、多くの研究を行っています。



—Williams:政府にいる多くの人達は、研究が何であるかについて誤ったイメージを持っています。大学での研究から生まれる新しい知識は重要な副産物ですが、大学の本当の産物は国の経済を強化する新しい進歩をもたらす高度な技術と高いモチベーションを持つ人を育成することです。今は、大学での研究内容に重点が置かれすぎてい



ます。私は、この考えを政府の人たちにふき込むべく試みていますが、悲しいことに意思決定者たちは彼らが決定をするシステムについてよく理解していないというのが現状です。

—青野:最近の若い研究者たちをどう思いますか？

—Eigler:私の研究者としての人生の中で最も有益だったと思う点は、若い研究者たちに機会を提供することができ、その後彼らがその機会をつかみ取るのを見届けたことです。若い研究者たちに機会を与えることは、科学者たちがある程度引き受けなくてはならない義務だと思います。そうでなければ科学は衰退してしまいます。人間としてのさまざまな努力は人生を豊かにしますが、人類を前進させるのは新しい基礎的な知識です。これは研究を通じて得られます。

—青野:Don、あなたは実際には多数の若い研究者を雇うことができるとしていますが、(実際は)小さなグループでしたね。Stan、あなたのグループは大きくて、多くの若手研究員を非常に上手に管理していますね。

—Eigler:私は、小さなグループの一員でいることにより、科学になるべく近いところにおいて、願わくばできる限り研究室にいたいと思っていました。その場合でもこれはなかなかかわらず、研究室にいる時間がどんどん少なくなってきてしまいました。

—Williams:私がHPに迎えられたのは、新しいカルチャーを創造し、いっそう基礎的な研究を導入するためでした。社内にそうした可能性を作り出すことを期待され、その結果大きなグループを担当することになりました。しかし、ここまで大きなグループとすることを考えていたわけではありません。2000年代のナノテクノロジー研究の急増以後、関心の高い若い研究者を探し続け、彼らを雇用するまったく新しい方法を見出しました。次にこれらの研究者たちが外部から新しい研究者を見つけてきたのです。

—青野:お二人はこれからどのような研究と人生をお考えですか？

—Eigler:私は何か新しいことをしたいと思い、3年前にIBMを退職しました。個人的には、ずっと基礎物理実験について考えてきました。例えば、実験室での重力速度の計測方法について考えてきました。基礎物理実験を選んだ理由の一つは、不可能ではないにしても非常に難しいからです。

—Williams:私は認知科学をエンジニアリング上の課題として考えています。この研究から、脳の機能に関しては、

人々が思っているほどは解明できていないということが分かってきましたので、数理的にその詳細を解明しようと試みています。人口頭脳を構築することを試みるにより、脳の機能の解明に大きな貢献ができることを期待しています。実際の脳と同じくらい精巧なものを作るまでにはまだ数世紀かかるかもしれませんが、非常に効率よく脳が遂行し得る計算の対象があり、それが今日のコンピュータをさらに効率の良いものができるかもしれません。

—青野:インタビューの前に、お二人はMANAの研究室をご覧になりましたか。またMANAの将来についてのアドバイスをお聞かせください。

—Eigler:実に羨ましい！ MANAで利用できる研究資源の多さに圧倒されました。MANAは、日本の将来、そしてまた国民一人一人の将来に向けての投資だと思えます。世界中のどこにもMANAのようなものはありません。

—Williams:Donの考えに同感です。ここで行われている研究は、他で行われているものの中でトップクラスのもので。MANAは夢を持ち、他の人が不可能と考えることを追究していくことができる場所ですね。ここでは、最先端の知識を完全に改める機会に満ちています。

—青野:そうですね！ ナノサイエンスとナノテクノロジーの最先端におられるお二人のお言葉は、MANAにいる科学者たち全員の大きな励みとなり勇気を与えてくれると思います。どうもありがとうございました。



長尾 忠昭

グループリーダー ナノシステム分野



### 赤外線とナノ材料科学

赤外線は、結晶の格子振動であるフォノンや有機分子の分子振動と同程度の周波数で振動する電磁波であるため、物質の熱物性やエネルギー移動現象に深く関わり、医療や環境計測、また化学・食品産業などでも利用される大変重要な周波数帯域です。ところが、赤外光は、その波長が $\mu\text{m}$ スケールであるために空間分解能が上がらない、あるいは、赤外光自体を視覚的に見ることは難しいといった性質があるため、可視光を用いた研究に比べて、ナノサイエンスでの研究は、まだそれほど盛んではありません。私たちの研究室ではフォノンや、金属中の多数の電子がダイナミックに揺れる波であるプラズモン現象の基礎研究を中心に、赤外線の波長に比べて各段に小さく薄いナノ材料の機能を調べて来ました。このような研究を基に、様々な材料がもつ赤外線吸収特性や熱放射特性を利用した材料開発ができないかと考え、液中の生体分子や環境汚染物質の微量検出、非接触温度センサー、太陽熱吸収変換材料などの研究を行っています。

### 赤外線分子センサー

水溶液に対する赤外線分光法は、水自身の大きな信号に阻まれて、感度の高い微量計測が困難です。これを解決する方法として、金ナノ構造の持つ近接場光に入った検出対象の信号を選択的に増強し、バルクの水の信号を抑える方法があります。標的とするタンパク質分子が2、3個入る程度の幅を持つ金のナノギャップ構造を作成し、そこにその分子と強く結合し捕獲するDNAアプタマーと呼ばれる分子をコートすることで、水中に混ざった微量の病原酵素などを選択的に検出することが可能となりました(図1)。

### 波長選択赤外吸収体

赤外線を完全に吸収できる赤外完全吸収体は、液中有機分子やガスセンシングへの応用、あるいは、熱放射をエネルギー源とした発電などに利用できる可能性があります。私たちは安価なベースメタルやセラミックスに対してマイクロ球をマスクとして用いた簡便なリソグラフィ法を開発し、簡単に精度の高い赤外完全吸収体を製作する手法を開発しました(図2)。この製造法を用いることにより、鋭い波長選択赤外吸収と感度の高い分子センシングが実現しており、さらに熱放射利用についても検討を進めています。

## 赤外線とプラズモニクス

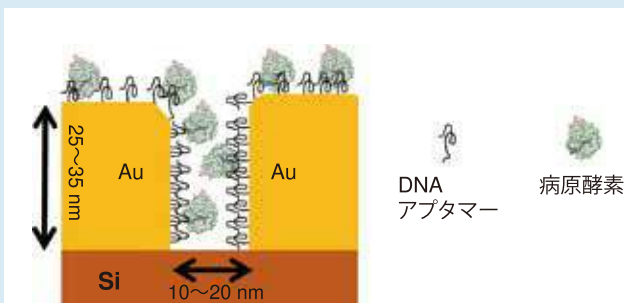


図1: ナノギャップ内のDNAアプタマーと病原酵素の吸着の模式図。

### 検出する分子に対して最適化した赤外吸収特性

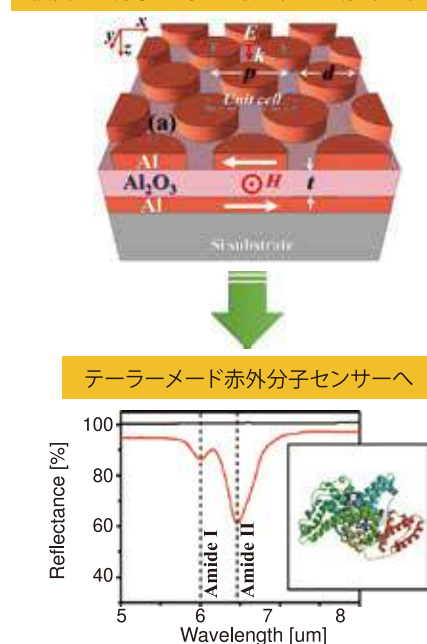


図2:(a) アルミニウムを使用した完全吸収体の模式図。(b) 生体分子のプラズモン増強赤外吸収分光の例。単分子層程度の牛血清アルブミンからのシグナルが、平坦なアルミニウム表面の赤外吸収(黒線)に比べて、各段に増幅された(吸収率約30%)シグナルが観測された(赤線)。

### 参考文献:

- 1 T. Nagao, G. Han, C. V. Hoang, J.-S. Wi, A. Pucci, D. Weber, F. Neubrech, V. M. Silkin, D. Enders, O. Saito and M. Rana, "Plasmons in nanoscale and atomic-scale systems," *Science and Technology of Advanced Materials*, 11, 054506 (2010). doi:10.1088/1468-6996/11/5/054506
- 2 C. V. Hoang, M. Rana, and T. Nagao, "Electron- and photon-induced plasmonic excitations in two-dimensional silver nanostructures", *Applied Physics Letters*, 104, 251117 (2014).
- 3 C. V. Hoang, M. Oyama, O. Saito, M. Aono, T. Nagao, "Monitoring the Presence of Ionic Mercury in Environmental Water by Plasmon-Enhanced Infrared Spectroscopy", *Scientific Reports*, 3, Art. No.: 1175 (2013), doi:10.1038/srep01175.



## Satellites: MANA's Seven Sisters

MANAの7つの衛星では、主任研究者（PI）または准主任研究者（API）がナノアーキテクニクスの研究に携わっています。衛星の研究者とMANAの研究者は、頻りに相互訪問やEメールのやり取りを重ねて共同研究を行っています。MANAにとって衛星はかけがえのない存在です。

### ■ スター揃いの衛星

7名のPI、APIは、いずれも各研究分野において著名な研究者です。

#### MANAの7つの衛星ラボ

設置機関	国	主任研究者
CNRS	フランス	C. Joachim
ジョージア工科大学	アメリカ	Z. L. Wang
東京理科大学	日本	高柳 英明
UCL	イギリス	D. Bowler
UCLA	アメリカ	J. K. Gimzewski
モントリオール大学	カナダ	F. M. Winnik
筑波大学	日本	長崎 幸夫

UCLAのGimzewski教授は、1997年にファインマン賞を受賞し、NHKでもたびたび特集されている著名なナノテクノロジー研究者です。MANAの研究者と原子スイッチに関する共同研究を精力的に行っています。MANAで研究する大学院生のためにナノテクノロジーサマースクールを開催し、またMANA事務部門スタッフのインターン研修を引き受けるなど、人材の育成にも尽力しています。

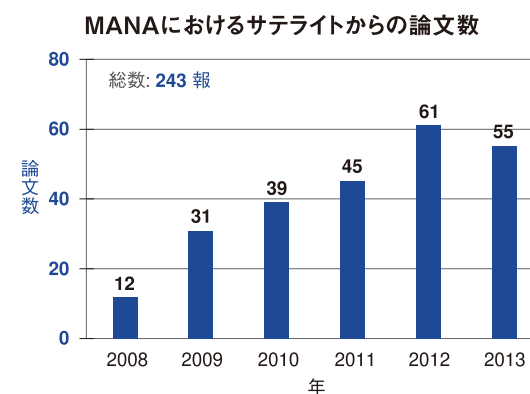
モントリオール大学のWinnik教授は、高分子化学、界面化学、ナノサイエンスの分野において世界的に著名な研究者であり、アメリカ化学会の雑誌Langmuirの編集長を務めています。MANAとモントリオール大学の両方

にラボを持ち、過去4年間で583日間 MANAに滞在し、MANAの研究者が開発したナノチューブやナノ粒子材料を使った融合研究等を精力的に行っています。

### ■ 衛星、軌道に乗る

衛星の研究者たちは、過去6年間でMANAの論文の1割を超える論文を発表しています。Nature Materials, Nature NanotechnologyやAdvanced Materialsなど、インパクトの高いジャーナルの論文が多く、衛星はMANAの研究業績に多大な貢献をしています。

MANAの衛星は、順調に軌道に乗っています。



### 国際協力を成功させる秘訣 Dr. Adam Stieg (UCLA 衛星 副ディレクター)



効果的な国際協力を果たす成功のカギがあるとすれば、それは「献身的な取り組み」と「濃厚な文化交流」の二つでしょう。二機関の連携を達成する最良の方法は、両機関が共有利益を認識し、実際に研究資源を出して、それを活用することにあります。

WPIプログラムやカリフォルニアISIプログラム\*のような意欲的な試みは、このような枠組みを提供しています。優れた制度であれ、成果を出すためには細部まで気を配る必要があります。UCLAにおけるMANA衛星は、2007年からMANAとともに研究と教育に携わりながら、ナノアーキテクニクスの構想を実現する役割を積極的に果たしてきました。予見できない不可避の課題に直面しても、忍耐強く精力的に取り組んでいます。

文化については、科学的な議論の視点からだけでなく、個人的また社会的な観点からも、常に心に留めておく必要があります。事実、会合やシンポジウムを機会として広がる文化交流の意義は、どれだけ強調してもし過ぎることはありません。研究者であれ事務部門のスタッフであれ、単に相手を訪問するだけでは不十分です。お互いにホストし、ホストされ合うことが大切です。そして一緒に行動して学び、単にアイデアを共有するだけでなく、パートナーとしてともにアイデアを創造しなくてはなりません。型にとらわれないアイデアを生むオープンな雰囲気が伴えば、国際協力は胸が躍るようなイノベーションの可能性をもたらすのです。

\*カリフォルニア州の産学連携プログラム「California Institutes for Science and Innovation (CISI)」で、カリフォルニア大学各校の連携に重点投資して第2、第3のシリコンバレーを作ろうというプロジェクト。

## お知らせ

### ■ MANA、プログラム延長ならず！

WPI プログラム委員会は、2007年に発足したWPIの5拠点について、2017年度以降のプログラム延長に関して審議し、MANAには次のような結果が通知されました：「MANAはWPIプログラムの目標を十分に達成し“世界トップレベル”のステータスに到達したと評価する。その上で、諸般の事情を勘案し、Kavli IPMUのみをさらに5年間延長することとした」。

MANAとしては残念な結果ですが、7年間でこのような素晴らしい国際研究拠点を作り上げたことを、私たちは誇りに、そして光栄に思っています。またMANA はすでに、その名称を含めて、NIMSの中で維持継続される組織になっています。皆さんのこれまでのご支援に心から感謝するとともに、引き続き変わらぬご協力をお願いいたします。

## イベント開催報告

### ■ FON'14を開催

2014年11月27日と28日に、日本科学未来館（東京・お台場）にて、FON'14 (The 2nd International Symposium on the Functionality of Organized Nanostructures) が行われました。今回の開催は、ERATOプロジェクト「青野原子制御表面プロジェクト」の発足25周年の節目を記念し、また2013年に逝去されたハインリッヒ・ローラー博士（1986年ノーベル物理学賞受賞）を追悼するものでした。24件の招待講演と78件のポスター発表、そしてローラー博士の科学への情熱を偲ぶ特別セッションが実施され、3日間で217名の来場がありました。



### ■ スマポレンジャー、つくばに出撃！

2014年11月9日（日）に開催されたつくば科学フェスティバル2014に「ナノ戦隊スマポレンジャー」を出展し、病気の診断・治療に応用可能な材料“スマートポリマー”について展示・実演を行いました。今回の出展は、筑波大学とMANAの連携企画の一環であり、筑波大学の学生達がMANAの研究者らと一緒に出展の準備・運営を実施しました。



## イベント開催予告

### ■ MANA国際シンポジウム2015

2015年3月11日（水）から13日（金）まで、MANA国際シンポジウム2015をつくば国際会議場にて開催します。国内外の著名な研究者の招待講演やMANAの研究者による最新研究成果の口頭・ポスター発表が行われます（参加費無料）。

ウェブサイト：<http://www.nims.go.jp/mana/2015/>

## 新任研究者紹介



MANA研究者  
谷口貴章



ICYS-MANA研究員  
リジャック ゴティエ



ICYS-MANA研究員  
アレクサンドレ フィオリ

## 受賞ニュース

吉川元起独立研究者「nano tech 2015プロジェクト賞（ライフナノテクノロジー部門）：携帯電話で呼気診断・血液検査を可能にする新センサ」（2015.1）

※吉川元起独立研究者の研究成果については、裏表紙の紹介記事も併せてご覧ください。