

CONVERGENCE

No.24 | 2016 | October

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

Leader's Voice

ぶれない研究コンセプトで
新領域の開拓を

相田 卓三



Asking
the
Researcher

森 孝雄

ナノの力でエネルギー
問題の解決へ
— フォノンの制御を目指して —



MANAナノパワー分野
主任研究者(PI)
熱エネルギー変換材料グループ
グループリーダー

森 孝雄

Takao Mori

PROFILE

1996年、東京大学理学系研究科物理学専攻博士課程修了。1996年、東京大学工学系研究科物理工学科PD特別研究員。1998年、科学技術庁無機材質研究所入所。2001年、独立行政法人物質・材料研究機構入所。外部連携部門 NIMSオープンイノベーションセンター 熱エネルギー変換材料オープンラボ ラボ長、広島大学客員教授、NIMS情報統合型物質・材料研究拠点 情報統合型材料設計分野 伝熱制御・熱電材料グループ 主席研究員も務める。

Asking
the
Researcher

ナノの力でエネルギー 問題の解決へ —フォノンの制御を目指して—

地球が近い将来に深刻なエネルギー危機を迎えることが予想される中、廃熱を有益な電気に変換する熱電材料に大きな期待が寄せられています。ナノアーキテクトニクスを駆使して熱電材料の高性能化に取り組む森孝雄博士に、科学がこのエネルギー問題をどうやって乗り越えられるかを聞きました。

インタビュー：科学ジャーナリスト 餌取章男

エネルギー問題と熱電材料

エネルギー供給の流れの中で、石油・石炭・天然ガス等の一次エネルギーの使用におけるエネルギーロスは非常に大きく、有効活用されるエネルギーは元となるエネルギーの約三分の一に過ぎません。残りのほとんどが廃熱として捨てられているのです。

そこで近年、大きな期待を寄せられているのが「熱電材料」、すなわち熱エネルギーおよび電気エネルギーを相互に変換する特性を持つ固体材料です。物体の温度差が電圧に直接変換される現象は「ゼーベック効果」とよばれ、1821年に物理学者トマス・ゼーベックによって発見されました。しかし、21世紀の今に至っても、ゼーベック効果を利用して廃熱を電気に直接変換する技術は実用化をみておらず、その主な理由は十分な性能をもつ熱電材料が得られていないことにあります。この課題について、「ナノアーキテクtonix」の立場から、熱電材料の高性能化の研究を進めているのが、MANAの森孝雄博士です。「エネルギー問題という地球規模課題の解決に、nanoという極めて小さな視点から材料を検討することで、挑戦しているのです」。

そもそも、熱電材料の高性能化については大きな困難が二つある、と森博士は説明します。まず、熱電材料の性能を表す指標は $Z=S^2\sigma/\kappa$ (Z : 性能指数、 S : ゼーベック係数、 σ : 電気伝導度、 κ : 熱伝導度) で表され、性能指数を向上するためにはゼーベック係数 S と電気伝導度 σ を同時に高めることが要求されます。しかしながら、一般に両者はトレードオフの関係にあるため、それは容易ではありません。「半導体ならキャリア濃度を増やしていくことは増しますが、Sは小さくなってしまいます。また、絶縁体ではSは非常に大きいけれども、 σ が小さく電気が流れません」。

もう一つは、「電気は通すが熱は流さない」という性質が要求されることです。熱電材料には温度差に応じた電圧が発生するため、材料中の熱の伝播をなるべく止め、温度差を保ったままの状態を保つことが高い電圧を発生させる要件となります。しかし、「電気を通す」と「熱を流さない」は一般には相反する性質であり、これを達成することも簡単ではありません。

また、従来有望視されてきた熱電材料には、ビスマス(Bi)、テルル(Te)、鉛(Pb)など、稀少で高価だったり毒性があつたりする元素が使用されてきました。しかし森博士は、将来的に熱電材料が社会で広く実用化されるためには、なるべく天然に豊富にあって安価に手に入る原料で材料開発を行うことが重要だと考えられます。「特に日本のような資源に乏しい国では、海外情勢の影響を考えると、レアメタルに頼らざるを得ないような状況は避けるべきだと思うのです」。

ナノアーキテクtonixの手法で新規熱電材料を創生

森博士はナノアーキテクtonixを駆使して、熱電材料内部のナノ構造を緻密に制御する方法の研究を進めています。「熱エネルギーの運び手であるフォノンと電子とでは、平均自由行程の長さが一般的に違うのです。この異なる平均自由行程を利用して、フォノンをより

選択的に散乱することができるナノ構造を材料内部につくり込むやり方が世界的に流行しています。つまり、熱は効率的に材料内部で散乱し、電子は自由行程距離が短いのであまり影響なく通り抜けていくと。ではどのようなナノ構造がよいか、そこが肝心なわけです」。

従来はナノ構造を材料に入れ込む方法として、ボールミルなどによる機械的な方法が多く採用されてきましたが、森博士らは新しく熱電材料のナノシートを作成することに成功しました(図1)。「三段階の化学反応によって、ウェットなボトムアップ・プロセスで銅テルル化合物(CuTe)のナノシートを剥離させたのです。これを使った試作材料では、電気を比較的損なわずに熱を散乱させることができ、熱電効果が従来のものよりも30パーセント向上しました。これだけでも大幅な性能向上ですが、実はこの材料は、まだナノアーキテクtonixの観点からすると理想的な構造にはなっていません。ですから、さらにうまく配向させ、積層させた高次構造のバルクを作ると性能は飛躍的に上がるのではないかと期待しています」。

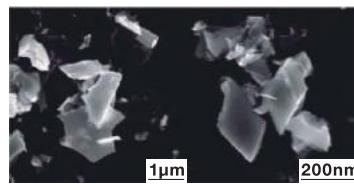
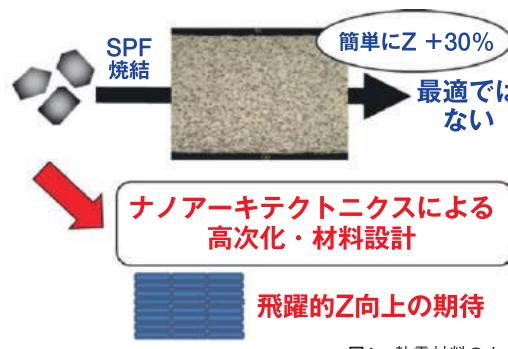


図1b 剥離した銅テルル化合物(CuTe)のナノシートの電子顕微鏡写真。
1μm 200nm

図1a 热電材料のナノシートの可能性：森博士らが創製したウェットなボトムアップ・プロセスによる热電材料のナノシートは、最适化を全く施していない放電プラズマ焼結(SPS)による試料でも、性能を30%向上させることができる。今後シートをナノアーキテクtonixによって設計された高次構造に積み上げることができれば、性能が飛躍的に向上するものと期待される。

中高温域のチャンピオン 熱電材料を希土類フリーで実現

森博士は籠状結晶構造の熱電材料開発にも取り組んでいます。この材料は世界の多くの研究者が研究対象とする中高温域のチャンピオン熱電材料として知られ、籠状の構造の中に入れた原子が籠の中でガタガタと振動する「ラトリング」という現象を利用することで、フォノンだけを効率的に散乱させ、高性能化することができます。しかしながら、中の原子に希土類元素などを使うことが多く、材料的に供給リスクがあり、耐酸化性も低いため、実際の応用が困難でした。

そこで、森博士らは希土類原子のラトリングに頼らずに、高い性能を得る方法を発見しました。材料に新規なナノ構造として適度な空孔を形成させることで、希土類を使ってかつ通常のナノ構造を施した材料に匹敵する、世界最高性能の材料を開発したのです(図2)。「希土

類フリーなのに変換効率が15%以上に相当し、念願の応用へ向かって大きく前進したと思います」。この成果は、nano tech 大賞2016：プロジェクト賞（グリーンナノテクノロジー部門）を受賞しました。

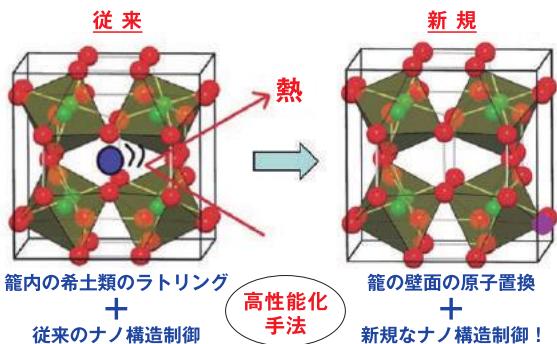


図2a (左) 従来、籠状結晶構造の熱電材料は希土類原子によるラトルをを利用して高性能化が図られてきた。(右) 森博士が発見した新規な籠状結晶構造の熱電材料は希土類フリーである。

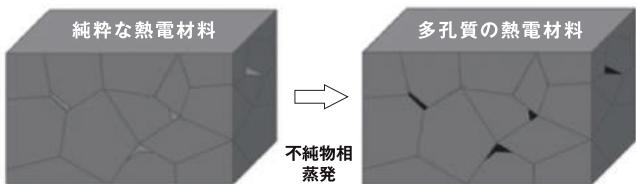


図2b 新規な高性能熱電材料の合成。籠の壁面の原子を置換し、材料の相図(物質の相と熱力学的な状態量との関係を表した図)を活用して意図的に発生させた不純物相を蒸発させることにより、材料に新規なナノ構造として空孔を形成する。適度な空孔が存在することで、電気は通すが熱を遮蔽しやすい材料となる。

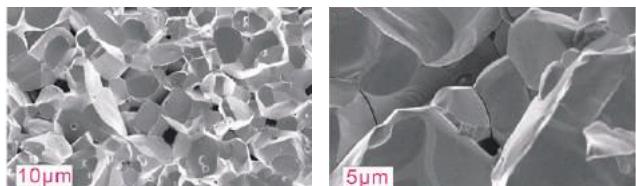
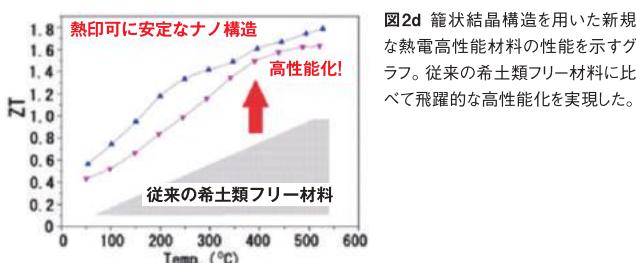


図2c 篠状結晶構造を用いた新規な熱電高性能材料の電子顕微鏡写真。空孔の存在が確認できる。



産業界からも熱い視線

平成27年には、森博士が率いる研究課題「新規な磁性半導体熱電材料を用いた熱電発電デバイスの研究開発」が科学技術振興機構（JST）CREST事業に採択され、つくば地区の研究機関である筑波大学とNIMSとが協力するチーム型研究も発足しました。高度なナノ構造制御の活用も含めて、学理として磁性による熱電の高性能化メカニズムを解明し発展させることで、最終的には実用化に資する発電デバイスを作ることを目標としています。

さらに、熱電材料には産業界からも注目が集まっています。森博士は自らが関わるNIMSオープンイノベーションセンターが非常にうまく機能していると言います。「企業からも積極的に参画していただき、今考えうる最高の研究開発の環境となっています。熱電に関してはまだ大きなマーケットがあるわけではないのですが、企業も一緒に、基礎に近いところで課題に向き合ってくれています。そうした企業から寄せられる、応用面での課題やニーズから得るもののがたくさんあります」。

また、コストなどの課題をどう乗り越えるかも問題だといいます。「たとえば太陽光発電も、当初は採算に合わず、普及には政府からの補助金を要しました。けれど今や非常に大きな産業に育った。ハードルが高いからやめようというのではなく、どのように乗り越えられるかのチャレンジ精神が必要ですね。研究者側にも、企業にも」。

人類科学の夢であるフォノンの制御

森博士に、これまでの人生で一番影響を受けた人物について尋ねると「それは、やはり父ですね」と返っていました。「私の父は素粒子物理学者でした。なので、子どもの頃から科学に対する興味はずつ持っていました。父は素粒子物理学者、私は固体物性の研究と、分野は違いますが、研究者としての姿勢と言いますか一言葉が無くても伝わる何かに、本当に大きな影響を受けたと思います」。

森博士は熱電材料開発の先に、熱制御を大きなテーマとして見据えています。20世紀には電子、スピinn、フォトンなど、科学の力で物理的世界を構成する重要な要素の多くが制御できるようになりましたが、熱やフォノンに関してはまだ精緻な制御が実現していません。

「21世紀、人類最大の課題が、いかに熱を高いレベルでコントロールできるかである、と考えます。その大きなテーマの中に熱電材料も入っている。決して到達できないわけではなく、今までの熱物性の理解やフォノン制御などの積み重ねがあるので、実現可能だと思います。難しいのは確かですが、ぜひやり遂げたいですね」「フォノンは電子とはずいぶん違う性質を持っている。今の若い人は今までの蓄積の上でこの大きな課題に取り組めるわけですから、とてもいいチャンスだと思いますよ」。

いつも柔軟な笑顔の森博士ですが、家庭では小学生の男の子一人の父親もあります。「知らず知らずのうちに、子どもは親を見て学んでいますよね、僕がそうだったように。なので父として、学者として頑張っているところを見せないと…」。





ナノスケール構造における原子・電子の振る舞いを理論計算で明らかにする —超大規模第一原理シミュレーション手法の開発—

宮崎 剛

ナノセオリー分野

量子物性シミュレーショングループ
主任研究者

第一原理シミュレーションの課題

ナノテクノロジーの進歩により、ナノスケールの構造を制御して新しい機能や超高性能を示す新材料の開発が精力的に行われています。このような超微細構造においては一つ一つの原子の振る舞いを理解することが重要ですが、このような小さなスケールの中にも数多くの原子があり、例えば30ナノメートル立方のシリコン微結晶中には100万個以上の原子が含まれています。原子間に働く力や物質の性質は電子の振る舞い(電子状態)によって決まります。また、電子の振る舞いは量子力学によって記述されます。量子力学にもとづく第一原理シミュレーションは物質・材料の様々な現象を原子・電子レベルで定量的に明らかにできる強力な手法であり、物質・材料科学の発展に大きな寄与を果たしてきました。しかし、従来の第一原理手法では複雑かつ大規模な数値計算が必要となり、計算できる系のサイズが極めて小さい(通常は千原子程度まで)という深刻な問題がありました。

オーダーN法:100万原子系に対する第一原理シミュレーションの実現

従来の第一原理手法は原子数 N の3乗で計算量が急激に増加するために、大規模系を計算することは困難です。我々は計算量が N に比例するオーダー N 法という新しい手法を用いた第一原理計算プログラムCONQUESTをUniversity College LondonのBowler教授(MANAサテライトPI)のグループと共同で開発しています。このプログラムは超並列計算機での効率も高く、超大規模系に対する第一原理計算を実現します。我々は、「京」を用いることによって100万原子系の第一原理計算も可能となっていることを示しています。最近では、第一原理計算による分子動力学シミュレーションも実現し、より高精度、高効率の計算を実現可能としています。

参考文献

- 1) M. Arita, D. R. Bowler and T. Miyazaki, "Stable and Efficient Linear Scaling First-Principles Molecular Dynamics for 10000+ Atoms", J. Chem. Theory Comput. 10, 5419 (2014).

コアシェルナノワイヤに対する

理論・実験の融合研究

CONQUESTを用いることによって、実験グループとの密な共同研究が可能となっています。我々はMANAの深田グループとの共同研究により高集積化が可能な次世代縦型トランジスタに用いる材料として、シリコンとゲルマニウムから成るコアシェル型のナノワイヤの研究・開発を行っています。実験グループが開発するナノワイヤと同じサイズの第一原理計算を実現することにより、様々なサイズのナノワイヤにおける原子スケールの構造、電子状態、不純物状態等を明らかにし、より高性能な次世代デバイス材料の開発を目指しています。

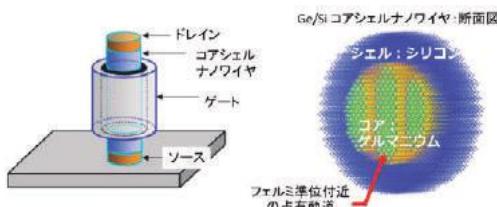
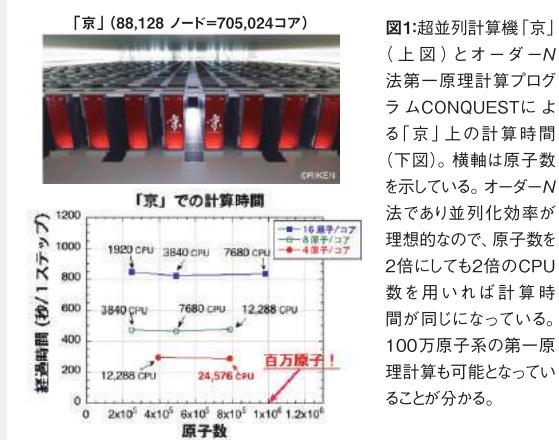
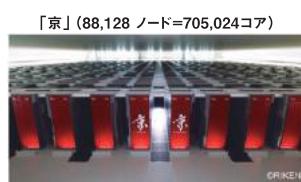


図2:コアシェル型ナノワイヤによる縦型トランジスタの模式図(左図)と第一原理計算によって計算された最適化構造とフェルミ準位付近の一電子占有軌道(p型の場合の伝導に寄与する軌道)の一つ(右図)。この軌道がゲルマニウムからできているコア領域に局在していることが分かる。

- 2) A. Nakata, D. R. Bowler and T. Miyazaki, "Optimized multi-site local orbitals in the large-scale DFT program CONQUEST", Phys. Chem. Chem. Phys. 17, 31427 (2015).

PROFILE

理化学研究所創発物性化学研究センター副センター長。東京大学大学院工学系研究科化学生命工学専攻教授。1979年横浜国立大学工学部応用化学科卒業、1984 東京大学大学院工学系研究科合成化学専攻博士課程修了。同年より東京大学工学部合成化学科助手。東京大学工学部合成化学科助教授等を経て、1996年東京大学大学院工学系研究科化学生命工学専攻教授。2013年より理化学研究所にて現職。サイエンス誌レビューボード・アメリカ化学会誌アドバイザリーボードを務め、2009年アメリカ化学会賞(高分子化学)および日本化学会賞、2011年藤原賞、2015年江崎玲於奈賞など受賞歴多数。

相田卓三博士に聞く

インタビュワー：科学ジャーナリスト 館取章男

ぶれない研究コンセプトで 新領域の開拓を

分子に込めた思い

— 先生はアクアマテリアルからエネルギー変換化学、超分子ポリマー、ソフトマテリアルなど、多岐にわたる研究をされています。

私が挑戦している研究テーマは実は一貫していて、構造と物性の相関に興味があるのです。ナノサイエンスは今まで順調に進行してきました。その結果、分子からナノメートル程度の大きさの構造物を作るのはそれほど難しくない時代になっています。しかし、その上のメゾン領域や私たちの目で確認できる巨視領域の構造までの制御を行うとなると、分子の組織化過程が一つに集約せず、多くの困難に遭遇します。私は今現在、ナノの世界と日常の世界との隔たり(Missing Link)をどういう戦略で埋めていけるのかということに挑戦しています。

— メゾン領域や巨視領域になると、期待した構造を分子から組み立てていくのが難しいということですか。

そうです。それは、メゾン領域や巨視領域では、分子の集積化に様々な速度論的トラップが存在するからです。複数の速度論的トラップが異なる複数の構造を作りだし、それらが混ざってしまいます。それでは、分子に込めた思いをフルに発揮させることはできませんね。一方、私たち人間の体は、分子が巨視領域まで階層的かつ異方的に組み上がっています。それは、生体が特定の物理的摂動を使って構造を一つに集約させているためです。摂動の無いフラスコの中ではナノまでは構築できますが、メゾン領域や巨視領域への拡張を阻んでいる速度論的トラップを解消することは困難です。

2010年に報告したアクアマテリアル(ハイドロゲル)ですが、98パーセントは水なのに自立し成形加工できるこの材料を作るのに、以前は粘土のナノシートを成分として使っていました。しかし、最新版ではMANAの佐々木高義先生が開発された酸化チタンナノシートを使っています。このナノシートは他のナノシートとは異なり、磁束に対して垂直に配向します。つまり磁場下でナノシート同士が平行配向するのです。ナノシートは負に帯電していますので、平行配向すると、シート間に大きな静電反発力が生じます。この状態をそのままゲル化させると、この異方的な静電反発力を内包したゲルが生成します。このハイドロゲルは、それまでになかった大変希有な力学特性を示しました。ナノシートの配向方向を水平にして上下からハイドロゲルを圧縮すると、ナノシートが近接し反発力が高まるので、ゲルは圧縮変形を拒みます。即ち固いゲルとして認識されます。一方、水平方向に押すと、ゲルはその方向に大きく変形します。それは、ナノシート間の大きな反発のためシートと平行方向でのゲル内部の摩擦が極端に小さ

くなっているからです。巨視領域に達する異方的な構造ができていなければ、この特別な力学特性は発現しません。

軸となる研究コンセプトを大切に

— 元々ご自身は物質に興味がおありになったのですか。

学部では物理化学を学んだのですが、大学院では高分子合成化学の分野に移りました。触媒を使って高分子を作る仕事をして、様々な経験を積ませていただきました。37歳で独立した時、その延長でラジカル重合の制御をやろうと考えていたのですが、半年くらい経った頃、「生体内のビタミンB12の機能」に触発された私と全く同じアイデアの論文がアメリカのグループから発表されました。これは「それまでと同じ分野での継続的な研究をやめろ」という神のお告げだと思い、学生さんと話をしてその日にやめました。それ以来自分で何かがはじけ、もっと自由にやりたいことをやってみよう重心に決めました。恩師の井上祥平先生に、一つの研究のライフサイクルは5年くらい、と言われたことも頭に残っていました。長い時間をかけ過ぎて微に入り細に入りということになるとあまり意味がない、と。なので、自分がワクワクしている間は一生懸命やりますが、それにしがみつかないようにしました。

— それまでの高分子研究や合成化学と違うところはありましたか。

一番違うのは、ものを合成するプロセスが大事なのではなく、できたものの機能や物性が大事だということです。作ること自体の美しさ、プロセスの効率が重要視されるのが高分子合成化学の世界。でも、物質・材料研究では、今までになかった物性や機能を創成することが重要になります。

JSTのERATOプロジェクトを始めた時、最初の2年は面白い研究が全くできませんでした。そこでプロジェクトメンバーを集めてミーティングをしたところ、「ディレクターの私が向かうべき方向性を示していないからだ」と言われてしまい、そうか、と。それ以来、研究コンセプトを大事にしています。研究コンセプトを追求した結果として、合成すべき分子が決まり、やっていくことが決まっていく、トップダウン的発想ですね。

コンセプト自体が具体的な指針について語ってくれるわけではありません。物理学者はコンセプト志向で、たとえば「リンゴはなぜ落ちるか」といったコンセプトから始まるのですが、化学者はものにこだわります。ものが作れる、というのは良い点ですが、逆にものがあるから「これで何をしようか」という考えに陥りやすいところがあります。もち

相田卓三博士に聞く



われるようになりましたね。次のフェーズへ移行する時にこうした基盤をどう使っていくか、それはこれからに期待するところです。

— MANAは、これからの時代を支える新材料開発に向けた基礎研究に取り組んでいます。

基礎研究の研究者にとって一番大事なことは、新しい領域を開拓することです。既に存在している分野で基礎研究をやっているということでは、言葉はきついですが、遊びでしかありません。私は、今までにない研究分野を作るヒントを得るきっかけとして、しばしば応用的な発想が役に立つことがあると思うんです。応用を考えた時、「そんなことはできないよ」ということになったら、チャンスです。なぜできないかというと、そのための基盤がないからです。つまり、それまでなかった基礎研究の分野を見つけたことになります。それに価値があると判断したなら、勇気を振るってそこに踏み込むべきです。私は企業のコンサルタントもやっていますが、それは向こうから重要な基礎研究の種を持ってきててくれるからです。本当に迫力ある、素晴らしい応用研究は、基礎研究としても極めて高い価値を有していると思います。但しビジネスとして成り立つ応用研究をやれというのは間違っています。それは、景気や原料の調達、原油の値段などに左右される「コストの概念」が入ってくるからです。

— 新しい研究コンセプトは応用研究からも生まれるということですね。

新しいコンセプトを思いつくきっかけは限られています。それは学生さんの一言だったり、企業でのコンサルティングの一幕だったり…。自分の外から聞こえてくるものに対して、常にオープンな気持ちで向き合うことが大事だと思います。自分を枠にはめず、一つの価値観に縛られないこと。しかし一方で、こだわりがなければ、一線を越えることはできません。どの価値観にどのようにこだわるべきか、あるいはこだわらないべきか—このある種の矛盾を、自分の中でどう消化していくかは私たち研究者の永遠の課題ですね。

ナノアーキテクtonixは 世界に定着した

— MANAの評議委員として、10年が経とうとするMANAをどう見ていらっしゃいますか。

浅く手広く何にでも取り組むのではなく、世界と戦えるような、特徴的な強みが研究機関に必要だということは、現在の日本の状況を見ると自ずと出てくる答えです。MANAはそういった意味で他と一線を画すブランドを確立していると思います。

また、MANAでは材料を基軸として、いろいろな人が繋がっています。その構造が大事です。世界に冠たる組織としてMANAがあり、その中で専門が違う一流の研究者が隣同士で協調し、切磋琢磨している、そういった環境が研究には必要です。

10年前は新しい研究を推し進める上でナノアーキテクtonixという言葉はすごく斬新だったのですが、年月とともに認知され、広く使



30代半ば頃の相田先生（中央）。向かって左は現東京工業大学丸山厚教授、向かって右は現筑波大学長崎幸夫教授(MANAサテライトPI)。



若山 裕

ナノシステム分野
量子デバイス工学グループ
グループリーダー

分子で操る電子の流れ

—超低消費電力素子を目指した分子デバイスの開発—

低消費電力ナノデバイスの重要性

私たちの身の回りにはIT機器が溢れかえっています。その中核をなすトランジスタの微細化と高集積化がいよいよ限界に近づいてきました。しかしうつ一つ忘れてはならない課題も残されています。それは消費電力の問題です。このままだと2025年頃には総電力量の20%がIT機器により消費されるとの試算もあります。そのため低消費電力に向けたデバイスの開発が喫緊の課題となりつつあります。私たちはこの問題を解決するため、わずかな電流で駆動する新しい電子デバイスの開発に取り組んでいます。

分子が持つ可能性

低消費電力デバイスといえば電子のトンネル現象を利用したトンネルトランジスタが早くから注目されていましたが、未だに実用化されていません。それはトンネルトランジスタの重要な構成要素である量子ドットを10nm以下のサイズで精密に作製しなければならないからです。これは微細加工技術が進歩した今日でさえ困難な課題です。そこで、分子を量子ドットとして使ってこの課題を解決しようというのが私たちの研究です。分子はサイズや構造が自在に制御できるため、電子状態も精密に設計することができます。しかも異なる分子を同時にトランジスタの中に組み込んだり、光に反応する光異性化分子を用いることができるなど分子特有の優位性があり、従来の量子ドットにはない全く新しい機能も期待できます。

新規分子トンネルデバイスの開発

この分子を用いたトンネルトランジスタの開発上の課題はナノスケールの各構成物質をいかにして現実的なトランジスタ構造に組み上げていくかにあり、まさに物質・材料のナノ建築学(=ナノアーキテクニクス)の技術が必要とされます。

私たちは図1に示すように、さまざまな分子と絶縁層や金属電極を独自の精密製膜法によりシリコン(Si)基板上に積層してトンネル二重接合体を構築しました。この接合体に流れる電気伝導の原理をまずはフラー・レン分子を用いて解析したと

ころ、分子軌道を介した共鳴トンネリングであることがわかりました。このときの電流特性と原理を示すエネルギー・バンド構造を図2に示します。電子が一つずつ分子にトンネリングしており、極めて微少な電流でトランジスタが動作できる可能性を示しています。私たちはこの原理をさらに拡張して、異種分子を同時に取り入れた多段階トンネル制御や光異性化分子を用いた電子トンネリングの光スイッチなど分子特有の動作も実証しました。しかもこの素子はSi基板上に構築されているため、既存の微細加工技術を用いた集積化も可能です。

その結果、私たちは分子を使った縦型トンネルトランジスタ素子の動作に世界で初めて成功し、これを基に将来は微細化・高密度集積化と低消費電力化のすべてを同時達成した素子を実現することを目指しています。

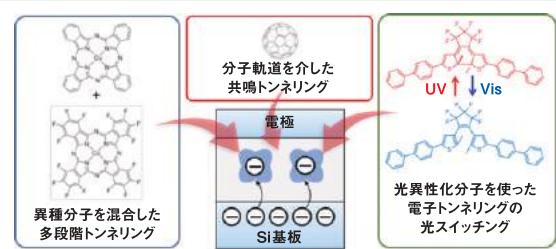


図1：さまざまな分子を量子ドットとして用いたトンネル二重接合体の模式図。異種分子を混合した多段階トンネリングや光異性化分子を用いた光スイッチングも可能。

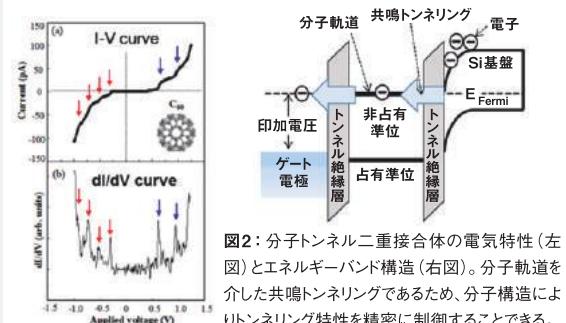
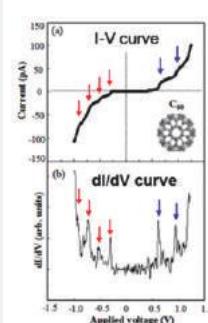


図2：分子トンネル二重接合体の電気特性(左図)とエネルギー・バンド構造(右図)。分子軌道を介した共鳴トンネリングであるため、分子構造によりトンネリング特性を精密に制御することできる。

参考文献

- 1) R. Hayakawa, N. Hiroshima, T. Chikyow, Y. Wakayama, Single-electron tunneling through molecular quantum dots in metal-insulator-semiconductor structure, *Adv. Func. Mater.* 21, 2933-2937 (2011).
- 2) H.-S. Seo, R. Hayakawa, T. Chikyow, Y. Wakayama, Multilevel operation of single-electron tunneling with binary molecules in a metal-insulator-semiconductor configuration, *J. Phys. Chem. C* 118, 6467-6472 (2014).

PROGRESS OF MANA

メンター制度

先達の声が開く新たな扉

的確なアドバイスをくれる人が身近に存在する。若手研究者にとってこれほど心強いことはありません。

MANAでは世界的に著名な研究者から直接アドバイスを受けられるメンター制度を整えています。

メンターの一人である東京工業大学の榎 敏明名誉教授に、メンター制度の利点、重要性についてお聞きしました。

重要なのは自ら考え、研究を立ちあげていくこと

MANAのメンター制度に関わり、若手研究者にアドバイスを送るなかで感じることは、全般的に若手研究者の思考は閉じてしまいがちであるということです。例えば、大きなラボに所属し、長期にわたり組織的な研究に従事しているような研究者の場合、自身のオリジナルな課題を設定することに対して受け身になってしまふことが少なくありません。学会などで新たな情報、知識を得ることもあるでしょうが、自身の研究についてまったく外部の人間が積極的に別の視点を持ち込むような機会には、通常の研究生活ではあまり遭遇しません。そういう意味で、経験を積んだ研究者と1対1のディスカッションを通じて定期的に意見交換を行うことのできるメンター制度の存在は重要だと思います。

若手研究者の中には、独立して研究を行っている人もいます。彼らは自身の研究目的や新しいアイデアをたくさん持っていて、積極的に研究を行っている様子をディスカッションを通じて感じることができます。一方、様々な要因からそうすることが難しい若手研究者も少なからず存在します。後者にとってこそ、独自の研究課題への扉を開くという意味でメンター制度がよりよく機能するのではないかでしょうか。研究室の一部として任せられた仕事をきっちりこなすことはもちろん大事なのですが、一研究者として自分で新たな研究を作っていく、突き詰めていくんだという気持ちのスタンスが一流の研究者を志す者には必要不可欠でしょう。若手研究者との議論を通して、彼らが自ら考え、物事を立ち上げていけるように背中を押してあげることがメンターとしての役目であると考えています。

＼若手研究者の声／



Cuiling Li

メンター制度の良いところは、研究経験が豊富な研究者が新しい切り口を研究に与えてくれるところ。アドバイスが与えてくれる多角的な視点で、研究がもっと面白くなるんです



Ovidu Cretu

メンターはスーパーバイザーとは違い、よりディスカッションベースで意見を聞くことができます。現在の研究プランと展望について興味深い意見をもらい研究に多様性が生まれそうです



榎 敏明
東京工業大学
名誉教授



NEWS & TOPICS

■ イベント報告

第2回メカノバイオロジーのためのナノアーキテクニクス国際シンポジウム開催

7月27-28日、物質・材料研究機構並木地区にて「第2回メカノバイオロジーのためのナノアーキテクニクス国際シンポジウム」を開催しました。国内外の著名研究者によるプレナリ講演・招待講演、MANAの研究者による講演、多くのポスター発表が行われました。

分子生物学の分野に偏らない、材料科学、計算科学、機械工学など様々な分野の研究者による活発な意見交換・討論を通じて、国際的なネットワークの拡充を図ることができました。企業からの参加者も増え、昨年度の来場者を超える138人が参加し大盛況のうちに閉幕しました。



第10回ナノテクノロジー学生サマースクール開催

平成28年6月13日から19日にかけて、オーストラリア・フリンダース大学にて第10回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。今年のテーマは"Go to Mars"。フリンダース大学、UCLA、オーケランド大学、オタゴ大学、ヴィクトリア大学ウェリントン、NIMSより集まった様々な専門分野の24名の学生は、4つの多国籍グループに分かれ、火星で人類が生存し続けるための技術提案について、討論、レポート作成、最終プレゼンテーションを行いました。

1週間にわたるグループ討論、思考実験、論文調査研究を通じて、参加者は国際協働研究を体験し、国際性豊かな研究人材育成に資するサマースクールとなりました。



■ イベント開催予告

MANA国際シンポジウム2017

2017年2月28日(火)から3月3日(金)の4日間にわたり、つくば国際会議場にて「MANA国際シンポジウム2017」を開催します。今回で10回目を迎える本シンポジウムでは、国内外の著名な研究者による招待講演をはじめ、MANAの研究者による最新研究成果の口頭発表およびポスター発表が行われます。

<http://www.nims.go.jp/mana/2017/index.html>



医工連携フォーラム2017

2017年1月20日(金)、NIMS千現地区にて「医工連携フォーラム2017」を開催します。「ナノテクノロジーが拓くライフイノベーション」をテーマとし、最先端のナノテク研究と医療・健康分野のライフイノベーションを結ぶ医工連携を促進します。研究発表に加え、企業各社のプレゼンテーションも企画しています。
<http://www.nims.go.jp/mana/ikourenkei2017/index.html>

■ 受賞情報

三成剛生 独立研究者

リュウ・シューイン ポスドク研究員

「韓国情報ディスプレイ学会 (KIDS) 金賞」(2016.8)

有賀克彦 MANA主任研究者

MRSI(インド材料学会)名誉会員に選出(2016.8)

フランソワーズ・ウィニック MANA主任研究者

カナダ王立協会フェローに選出(2016.9)

■ 新任研究者紹介



ICYS-MANA
研究員
宇都 甲一郎



MANA
独立研究者
ヤン・ラブタ



ICYS-MANA
研究員
カーティス・
ジェームス・オケリー

Emerging MANA Researcher

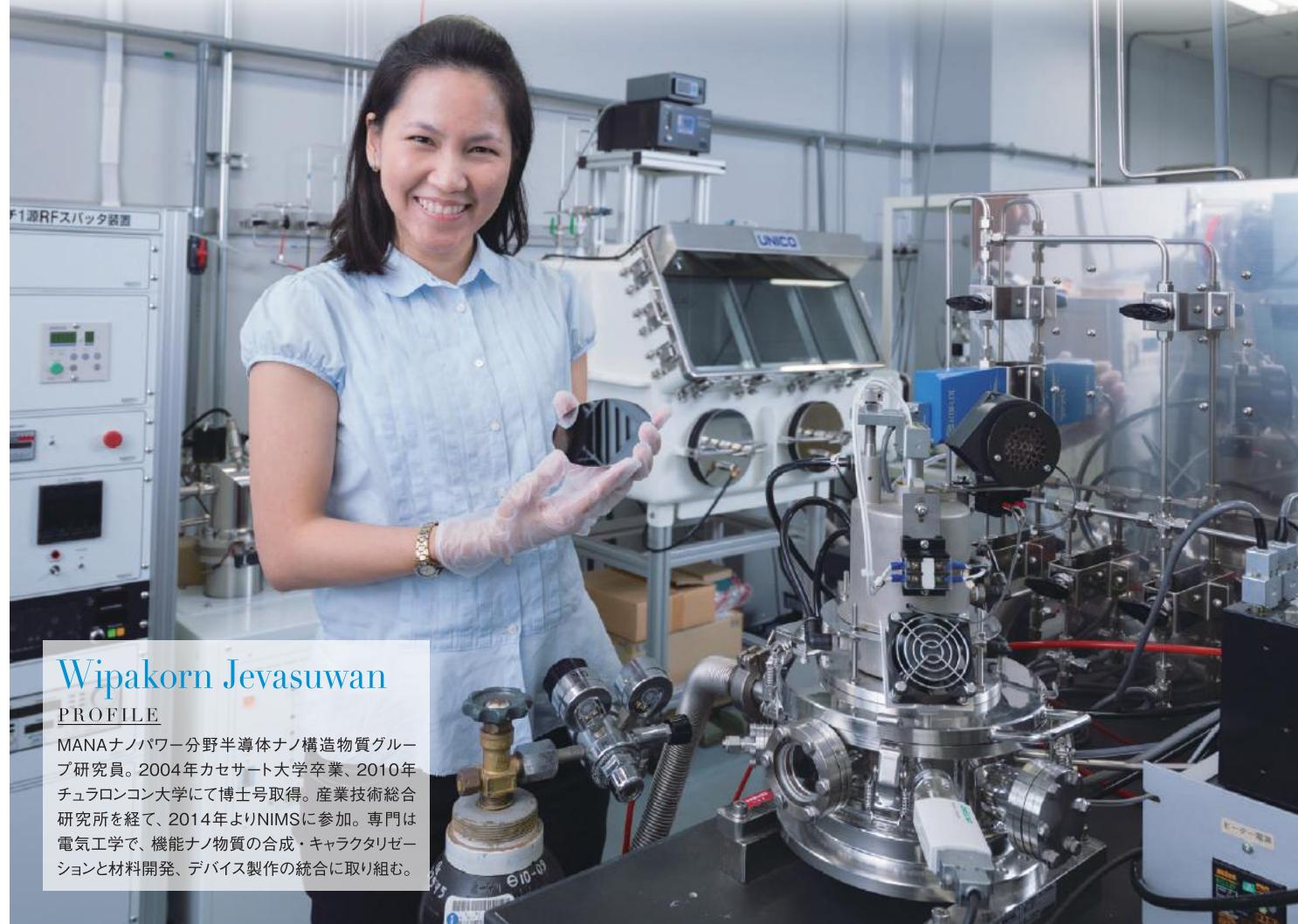
インタビュー・執筆担当：筑波大学D1新山瑛理

タイ出身のJevasuwanは、水の浄化について研究していた化学者の父親に影響を受け、幼い頃から科学の面白さと難しさに惹かれるようになりました。タイの気候が暑く、強い太陽光を何かに役立てられるのではと考えたことが、シリコン(Si)太陽電池の研究へ進むきっかけになったとのこと。「エネルギー問題の解決に貢献したい」と言う彼女は現在、Siナノワイヤーを利用した縦型構造トランジスタ、及び内部にpn接合を形成したナノ構造体の太陽電池材料の開発を進めています。ナノワイヤーの構造は化学的(金属触媒無電解)エッチングやナノインプリント、CVD(化学気相堆積)法などにより作製され、これらの合成手法を巧みに用いることでその形状を変化させるこ

とができます。ユニークな物理的特性を備えた安価な材料でもあるため、従来の平面型のデバイスにおける集積限界を打破し、パソコンや携帯電話の小型化に応用されることも期待されています。

Jevasuwanは、研究成果について子ども達や一般市民の方に情報発信するサイエンス・アウトリーチ活動にも大きな興味をもっています。昨秋には「つくば科学フェスティバル2015」にMANAのキャラクター「スマポレンジャー」の一員として参加し、来場者対応を行いました。とても楽しい経験だった、と笑顔で振り返ります。

JevasuwanはMANAに参加するまでに、日本の企業でのインターンや産業技術総合研究所での勤務を経験し、日本での滞在は5年を超えるました。将来は世界に広く知られるアクティブでイノベイティブな研究者になれるよう、最大限に努力したいと意気込みます。また、NIMSとタイとの強いコネクションを築いていけば、とも語ります。彼女に研究していく中で一番大事にしていることを尋ねると、「まず研究の対象と恋に落ちなければなりません。そして全力をつくし、決して諦めないことです」とまっすぐな視線で答えてくれました。



Wipakorn Jevasuwan

PROFILE

MANAナノパワー分野半導体ナノ構造物質グループ研究員。2004年カセサート大学卒業、2010年チュラロンコン大学にて博士号取得。産業技術総合研究所を経て、2014年よりNIMSに参加。専門は電気工学で、機能ナノ物質の合成・キャラクタリゼーションと材料開発、デバイス製作の統合に取り組む。

MANA NEWS LETTER

CONVERGENCE

No.24 2016年 10月発行



CONVERGENCE :

世界の優秀な研究者をMANAのメルティングボ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…森孝雄主任研究者と若手研究者
◎掲載記事・図版の無断引用・掲載はご遠慮ください。

CONTENTS

2 Asking the Researcher

ナノの力でエネルギー問題の解決へ—フォノンの制御を目指して—／森孝雄

5 Research Outcome 1

ナノスケール構造における原子・電子の振る舞いを理論計算で明らかにする／宮崎剛

6 Leader's Voice

ぶれない研究コンセプトで新領域の開拓を／相田卓三

9 Research Outcome 2

分子で操る電子の流れ／若山裕

10 Progress of MANA メンター制度 先達の声が聞く新たな扉

11 NEWS & TOPICS

12 Emerging MANA Researcher Wipakorn Jevasuwan

発行 国際ナノアーキテクニクス研究拠点(MANA)
アウトアーチーム
〒305-0044 茨城県つくば市並木1-1
国立研究開発法人物質・材料研究機構内
029-860-4710(代)
029-860-4706
Eメール mana-pr@ml.nims.go.jp
ウェブ <http://www.nims.go.jp/mana/jp>