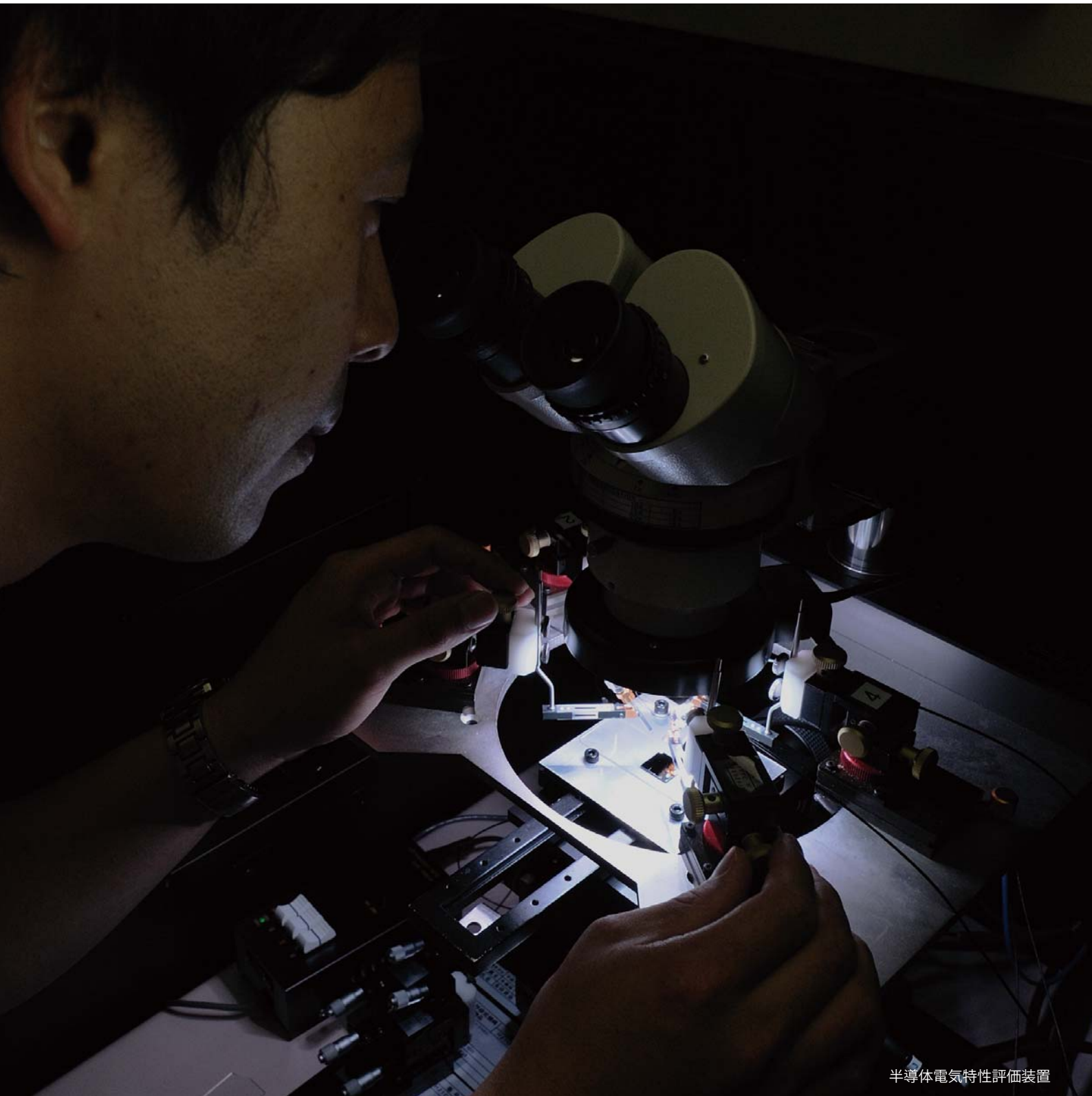


NIMS

2010年 7-8月合併号

NOW

構造から材料へ
半導体材料の最先端



構造から材料へ

半導体技術は日々進化し、より微細に、より高集積に、と社会のニーズにこたえ続けている。

同時に分子レベルでは様々な問題が起こっている。

それに対する回答のひとつが、「新しい材料」だ。

NIMSならではの半導体材料へのアプローチを紹介する。

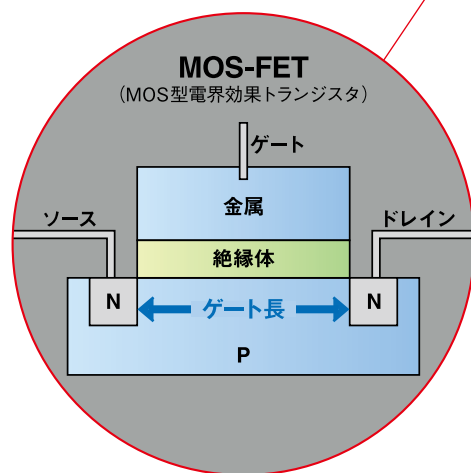
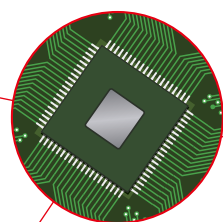


ほぼすべての電子機器に搭載

メモリIC(記憶素子): RAM, ROMなど
ロジックIC(論理素子) CPU, MPUなど

半導体チップ(ダイ)を切り出して集積回路(IC)を作成

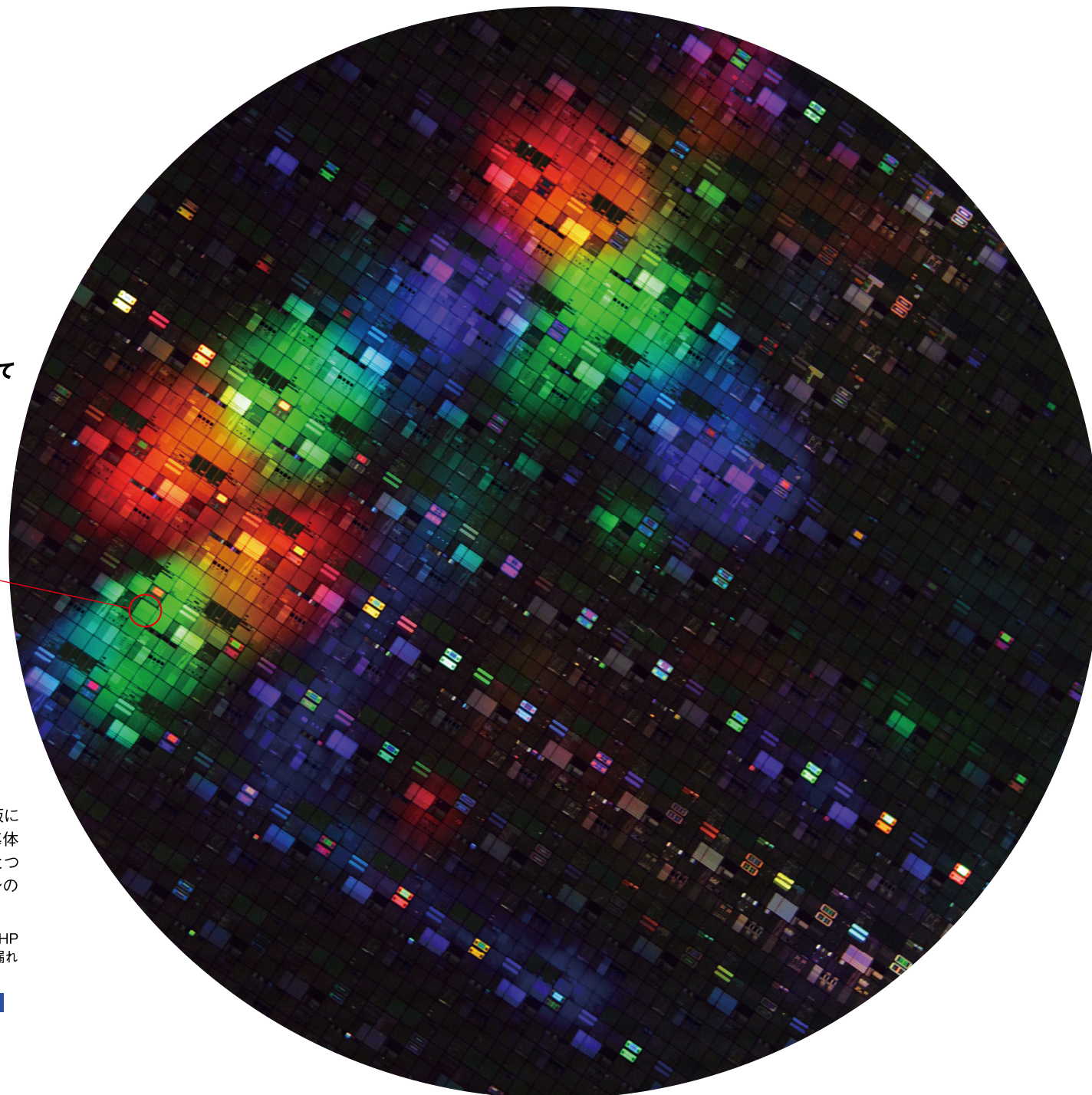
一つのチップに1000万以上の回路が存在する



ゲートに電圧がかかると金属板にプラスの電荷が生じ、P型半導体に反転層ができ、N型半導体とつながる。結果、ソースとドレインの間に電気が流れる。

【問題点】絶縁体が薄く、もしくはHPがナノサイズで小さくなると電流の漏れ(リーク)が増大する。

NIMSの材料開発技術 [P8へ](#)



ナノデバイス材料の挑戦

半導体材料センター センター長 知京 豊裕

シリコン半導体の進化とその限界

半導体デバイスに求められる要件は①高速化、②高集積化、③高機能化、そして④低消費電力です。高速化、高集積化は微細化することでその要求を実現し、高機能化はシリコン(Si)デバイスにセンサーなどの新機能を融合することで可能になります。低消費電力化は、相補型MOS(CMOS)でその機能を実現してきました。

これまでのSiデバイスは材料をSiや二酸化ケイ素(SiO₂)など単純な材料に限定し、多様な構造を微細加工で作製することでロジックやメモリーなどの機能をうみだしてきました。そのため、Siデバイスは時間とともに構造が複雑化してきました。電極部分に不純物濃度の傾斜をつける構造(Lightly Doped Drain: LDD)や、それらを作製するためのサイドウォール構造、メモリーの電荷蓄積層をトレンチ(溝)として深く彫り込む構造などが代表的なものです。

そして、微細化にともなって既存材料による限界もでてきています。その例はゲート酸化膜厚の減少にともなうゲートとドレイン間のリーク(漏れ)電流の増加、ビア配線のW(タングステン)の高抵抗化、多層化した配線の信号遅延などです。今後、さらなる微細化と高性能化、それに低消費電力化に対して、これまでの材料・手法では限界が近づいているのです。

転換点を迎えたSi半導体

現在、Si半導体は大きな転換点にあります。それは「構造から材料へ」の転換です。さらなる微細化と高集積化を両立するために、現在、新材料の開発と導入がすすめられています。具体的には、high-k(高誘電)ゲート酸化膜とメタルゲートを導入する方法であり、既に一部のデバイスには第一世代のhigh-k、メタルゲートが投入され、低消費電力化に貢献しています。

今後のSiデバイスの方向性としては、「確かな材料とプロセス開発にもとづいた設計技術」が付加価値の源泉になりつつあります。構造を単純化し、材料で機能を実現するのです。ロジックデバイスとしての原子スイッチ、メモリー素子としてのReRAMなど材料を主体としたナノデバイスが代表的な例です。

今まさに、ナノデバイスの「構造から材料へ」の挑戦がはじまっています。

MOS: 金属-酸化物-半導体構造 (Metal-Oxide-Semiconductor)

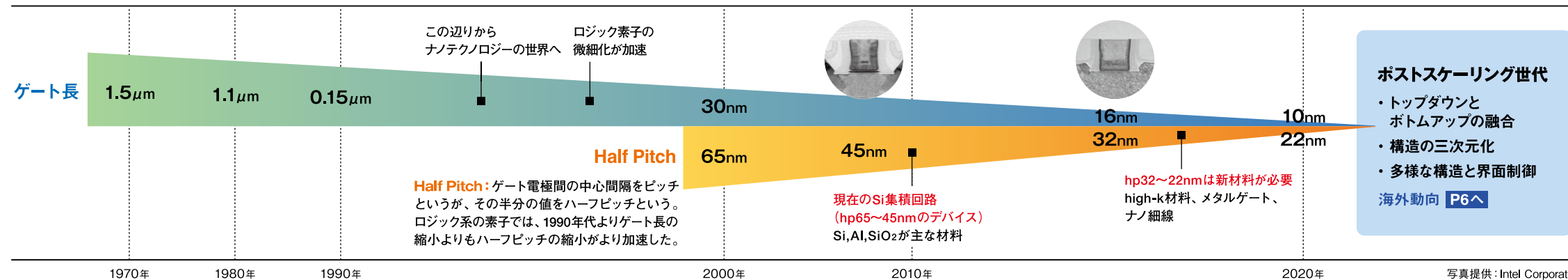
FET: Field Effect Transistor 電界効果トランジスタ

high-k材料: SiO₂より誘電率の高いhigh-k材料を、新絶縁膜として用いて膜に厚みを持たせ、漏れ電流を抑制し、SiO₂が薄くなったときと同じ電荷を蓄積するためのもの。HfO₂, La₂O₃などのイオン結晶をつかった材料にSiO₂やSiNを混ぜたものが使われている。

原子スイッチ: 通常の半導体が電子移動に対し、原子の移動を制御して動作させる新しい原理のデバイス

ReRAM: Resistance Random Access Memory 抵抗変化型メモリー。電流が微量でも動作し、消費電力が少ない、構造上微細化が容易などの特色がある。

求められるのは高速化、高集積化、多機能化



次世代ゲート酸化膜の評価法「EBIC」 [P4へ](#)

量子ドットを利用した次世代メモリー「単一電子メモリー」 [P5へ](#)

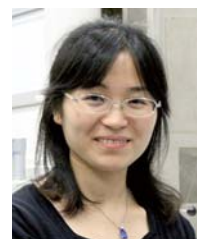
ポストスケール世代

- ・トップダウンとボトムアップの融合
- ・構造の三次元化
- ・多様な構造と界面制御

海外動向 [P6へ](#)

写真提供: Intel Corporation

NIMSが開発した次世代ゲート酸化膜の評価法「EBIC」



半導体材料センター
半導体特性評価グループ
陳 君



半導体材料センター
半導体特性評価グループ
グループリーダー
関口 隆史

high-k材料の機能発現に問題

次世代集積回路は金属-酸化物-半導体(MOS)構造が基本構造となり、機能を発現しています。

この構造のゲート材料には多結晶シリコン、ゲート酸化膜としてはSiO₂が使われてきました。しかし、高集積化・微細化がすすむにつれ、ゲート酸化膜SiO₂が薄くなりすぎ、ゲートからの漏れ(リーク)電流が大きな問題になってきました。この漏れ電流を抑制するために注目されたのが新絶縁膜としての高誘電体ゲート酸化膜、いわゆるhigh-k材料です。

ところが、high-k材料を使用したものの、期待されたような漏れ電流の低減は実現できませんでした。その原因は不明で、特にhigh-k膜単体ではなく、実際のMOS構造を作製したあと、漏れ電流がどこで発生しているのかわからないことが大きな問題でした。

新絶縁膜はゲート電極や保護膜の下にあるため、従来の評価法では観察することができません。これまでは電気特性の変化から現象を説明するモデルを立てるしかありませんでした。これを画期的な方法で解決したのが、電子線誘起電流(EBIC)法です。NIMSでは、このEBIC法を用いてhigh-k MOS-FET素子のリーク箇所を見つけ出し、漏れ電流の

発生やその挙動を明らかにすることができました。

EBIC法でわかる漏れ電流の位置

図1に示すように、EBICでは電子線によって、試料中に電子とホールペアをつくり、上の電極とSi基板から電子とホールを取り出します。high-k膜中に欠陥があれば、生成した電子とホールは膜を通して流れませんが、もし、欠陥が膜中にあると、これを通して電子やホールが流れ、漏れ電流として観察されます。この漏れ電流が生じた場所が、EBICでは白い点として現れます。走査型電子顕微鏡を使って電子線を試料上で走査し、EBIC信号の像を得ることで、欠陥の場所を視覚化することができます。

この方法によって、漏れ電流がMOS構造中のどの場所で発生しているかが明らかになりました。これは世界初の成果で、この研究によってhigh-k膜の信頼性評価が大きく進展しました。(図2)

EBIC法の進化

最近では、リーク箇所を薄片化して透過型電子顕微鏡で観察し、この現象をさらに詳細に観察することができるようになりました。その

結果、漏れ電流が発生した場所には電子を捕獲する欠陥があること、また、漏れ電流が流れるとその箇所がジュール熱^{*}で加熱され、high-k膜中の希土類元素がSi中に拡散するなど、これまでわからなかったことが明らかになりました。また、上の電極の材料とhigh-k膜中に発生する欠陥の量の間に関係があることもわかりました。

EBIC観察のパラメーターを様々に変化させることで、構造欠陥の分布や故障位置の特定だけでなく、欠陥のエネルギー準位や深さ依存性もわかります。新規素子の動作特性や信頼性試験などへの応用も可能です。

NIMSではEBICに様々な計測手法を融合させ、欠陥を多面的に評価する方法「多次元EBIC」の開発に挑戦しています。将来はこの方法を用いて、新しい半導体材料を使った新機能素子の開発にも取り組んでいきます。(図3)

^{*} ジュール熱: 導体の材料に電流を流した時に発生される熱。

Profile
ちえん じゅん(左) 博士(工学)。中国浙江大学大学院博士課程修了。NIMSポスドク、ICYS-MANA研究員を経て、2010年4月より現職。
せきぐち たかし(右) 博士(理学)。東北大学助手、助教授を経て2000年金属材料技術研究所入所。2006年4月より現職。筑波大学数理物質科学研究科教授。

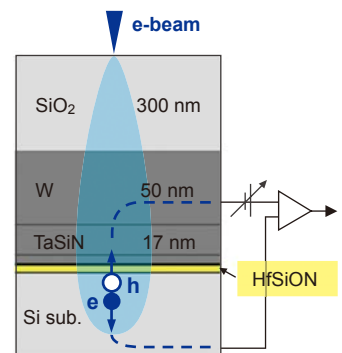


図1 電子線誘起電流法の原理: 電子線を試料上部から照射することで、試料中に電子とホールを発生させ、それを上の電極と下地のSi基板から取り出すことで電流を得る。膜中に欠陥がある場合、その欠陥を通して電子やホールが流れ、それがコントラストとなって現れる。

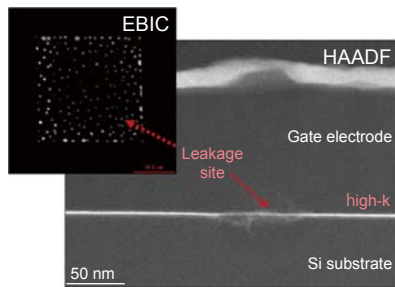


図2 high-k MOSFETのEBIC像と、リーク箇所の断面透過電子顕微鏡像

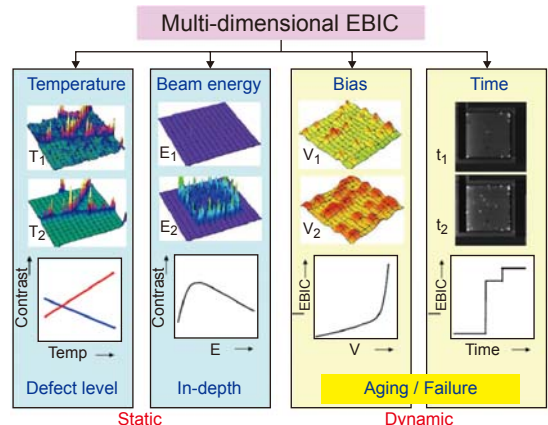
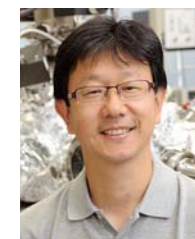


図3 多様な計測とEBICを組み合わせ「多次元EBIC」の概念図

分子を使った次世代の単一電子メモリ



国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
ICYS-MANA
早川 竜馬



半導体材料センター
半導体デバイス材料開発グループ
若山 裕

量子ドットを利用する次世代メモリ

単一電子メモリとは、電子がひとつひとつ量子ドット^{*1}にはいて電気抵抗が階段状に変化するクーロンブロック効果を利用することにより、電荷蓄積量を電子の個数レベルで制御することができる次世代メモリです。その構造から、低消費電力、多値動作を兼ね備えた次世代メモリとして期待されています。しかし、その提案は20年以上前からあるにも関わらず、未だ実現されていません。

その大きな要因としては、量子ドットのサイズをナノメートルスケールで均一に制御することが非常に困難なことが挙げられます。クーロンブロック効果のような量子力学的現象を室温において発現させるためには、量子ドットのサイズを数ナノメートルまで微細にし、かつ均一に形成する必要があります。

分子を量子ドットとして用いるアイデア

わたしたちは、“分子”自体が均一な大きさをもつ理想的な量子ドットであることを利用し、そこに電子を蓄積してメモリとして用いることにより、この問題を克服しようとしています。さらに、有機分子の機能性をいかすような新しい機能を発現させる量子ドットを目指しています(図1)。

分子を用いる利点は、それ自体、数ナノメートルサイズの均一な粒子であるため、無機材料を用いた場合に問題となるサイズの不均一性はありません。また、電子密度を減らしたり、増やしたりできる置換基を付加することにより、母体となる分子のエネルギー準位を自在に制御することができます。したがって、これらの分子を組み合わせることにより、多値化が実現できます。さらに、光照射で材料の構造や電子状態が変化し色が変わるフォトクロミズムをもつ分子をつかい、光で制御できる単一電子メモリも実現できます。

わたしたちは、単一電子メモリの基本構造であるMOS構造中で、フラレンをはじめ、様々な分子を用いた単一電子トンネル現象において、クーロンブロック効果により抵抗が段階的に変化する、いわゆるクーロンステアケースを観測することに成功しています。

さらに改良を重ね、室温近傍でも動作

しかし、その現象は、20K(-253.15°C)程度の極低温に限られていました。その原因のひとつは、分子を壊すことなく、高品質な絶縁膜を形成することが非常に困難なためです。そこでわたしたちは、優れた絶縁特性を示す酸化アルミニウムを、一層ずつ膜厚を制御し

て成長させる原子層成膜法で低温形成することにより、分子を壊すことなく、絶縁膜中に埋め込むことに成功しました。その結果、特にフラレンを用いた場合には、260K(-13.15°C)と室温近傍においてクーロンステアケースを観測する極めて画期的な成果が得られました(図2)。この成果は、これまで極低温での現象であったクーロンブロック効果を室温で発現できることを示しています。つまり、室温で動作する単一電子分子メモリの実現が期待できるのです。

今後は、異種分子を用いた多値化やフォトクロミック分子を用いた光制御といった従来までのシリコンデバイスでは実現できない新機能の発現に取り組んでいきます。

^{*1} 量子ドット:NIMS NOW5月号参照

Profile
はやかわ りょうま(左) 博士(工学)。大阪府立大学大学院修了。2006年JSPS-PD、2008年NIMSポスドク研究員を経て2010年4月よりNIMS ICYS-MANA研究員(現職)
わかやま ゆたか(右) 博士(工学)。筑波大学大学院修了。1989年旭硝子(株)、1994年ERATOプロジェクト、1998年マックスプランク研究所などを経て2006年より現職。九州大学大学院准教授(兼任)。

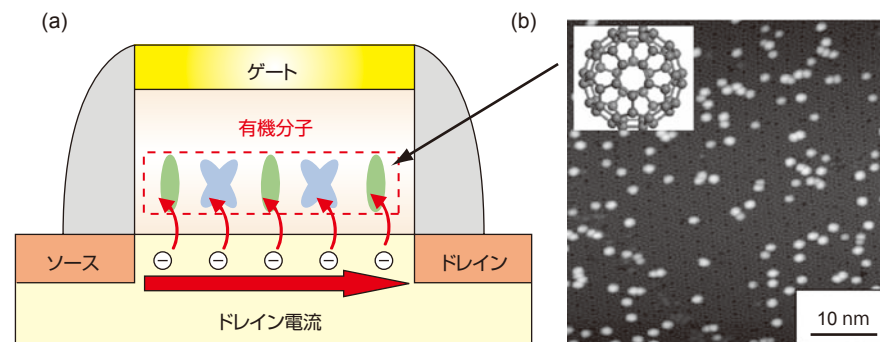


図1 (a)分子を電荷蓄積層に用いた単一電子メモリの模式図。(b)Si(111)基板上に単一分散させたC₆₀分子のSEM像。一つ一つの分子が孤立した状態で分散している様子が分かる。

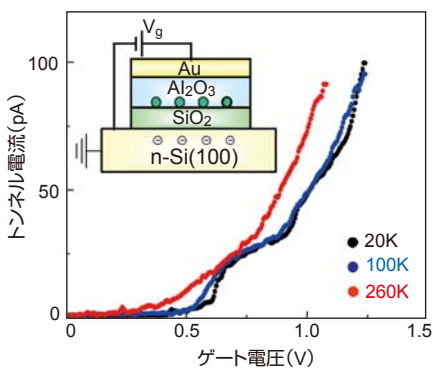
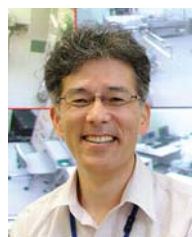


図2 Au/Al₂O₃/C₆₀/SiO₂/Si-MOS構造での電流-電圧特性。260Kと室温近傍においてクーロンステアケースが観測されています。

シリコン半導体開発の海外動向



国際ナノアーキテクニクス研究拠点
MANAファウンドリ
統括マネージャー
生田目 俊秀

各国で異なる半導体開発へのアプローチ

シリコン半導体技術は半導体ロードマップ(ITRS2009)にもあるようにスケールリングにおいて多くの課題があります。16.9nm技術世代まではMooreのスケールリング則に従い、これまでのように平面的にデバイスを作製すること(プレナー構造)が可能で、それ以降はマルチゲート構造などを使った立体的な構造(More-Moore)や多機能化した電子デバイス(More-Than-Moore)へ移行すると考えられています。その中で、日米欧の半導体開発に対する取り組み方とトレンドにはそれぞれ特徴がみられます。

微細化をゲート長で表す指標として、hp(Half Pitch)があります。たとえばhp65nm世代では、電極のソースとドレインの距離が30nm程度となります。この指標では、hp45

から32nm世代が技術開発の大きな変換点です。ここでは、従来材料に代わって新たなメタルゲート電極と高誘電率酸化物(high-k)ゲート絶縁膜のゲートスタックが投入され、それに関連する技術開発を各社がしのぎを削って進めています。この技術の最大の課題は電流をOn/Offするしきい値電圧の制御にあります。

米国の二つの勢力 IntelとIBM

米国はMore-Mooreの先導役であり、特にIntelがソース、ドレインを先に作製し最後にゲート作製する、“ゲートラストプロセス”といわれるメタル/high-k構造を採用し、低温でデバイス作製する技術を開発したことで、hp45nm世代の製品化に成功しました。この方法は仕事関数の異なるメタルゲート材料を用いるだけで、しきい値電圧を制御できる利

点があります。

一方、IBMを中心とした複数の会社による連合体は、ニューヨーク州立大アルバニーに集結して、high-k膜の高品質化と、信頼性の観点から従来プロセスを踏襲した、“ゲートファストプロセス”でメタル/high-kゲート絶縁膜を作製する技術を開発しています。この方法は先にゲートを作製し、その後、イオン注入でソース、ドレインを作製する方法で微細化する際に有利です。この方法では、不純物の活性化をイオン注入後に行う必要があり、より安定したメタル/high-k界面の作製が必須となります。また、従来のプロセスを踏襲できるだけでなく、高温度熱処理が可能のためにhigh-k膜の高品質化が図れ、結果として、デバイスの製品化で重要な高信頼性が得られるという大きなメリットがあります。

日本と欧州の半導体開発

日本においては、半導体各社が参画した半導体先端テクノロジーズですすめたhp32nm世代のメタル/high-kゲート絶縁膜をゲートファストプロセスで作製する技術開発は2009年度で終了し、各社は自社での開発・製品化へ技術移転している段階です。その中で、東芝は前述のIBM連合に参加して開発を推進しており、ルネサスエレクトロニクスとパナソニック、富士通マイクロエレクトロニクスは台湾TSMCと共同開発をすすめています。

欧州は日米が微細化を中心とするMore-Moore路線を推進している中、半導体デバイスに新たな機能を加えるMore-Than-Mooreの方向を打ち出し、多機能化電子デバイスの開発に重点を置いています。欧州の各国では、産学官で構成されたナノテクノロ

ジー、ナノエレクトロニクスのクラスターを構築し、これらのクラスターが連携することで幅広い分野に柔軟に対応しようとしています。

注目を集めるhigh-k/SiO₂ヘテロ界面

このような中、共通の話題として、メタル/high-kゲート絶縁膜の技術開発において、強いイオン性のhigh-k膜と共有結合性のSiO₂膜が接触して形成したhigh-k/SiO₂のヘテロ界面(異種材料界面)が注目を集めています。SiO₂膜上にhigh-k膜をつけると、界面にある酸素が構造の安定化のために動き、それに伴って電荷の移動も生じて、フラットバンド電圧の変化を引き起こす大きな要因の一つとなっています。

このヘテロ界面の酸素がフラットバンド電圧へ及ぼす影響についてNIMSは系統的に調べました(図1)。

白金電極の触媒効果を利用して、酸素雰囲気ガスの熱処理で活性酸素をHfO₂膜中へ導入すると、酸化熱処理温度の高温度に従ってフラットバンド電圧が正方向へシフトすることがわかります。これは、ヘテロ界面で酸素の増加に伴って電荷の数が変わり、形成される電気二重層(ダイポール)の量が変ったためと考えられます。

このような酸化物同士のヘテロ界面の科学的な理解は、ナノワイヤーやFinFET(立体構造トランジスタ)等の3次元構造のヘテロ界面の課題解決に大きく役立つと期待されています。

Profile
なばため としひで 博士(工学)。東北大学大学院修了。1987年株式会社日立製作所日立研究所・主任研究員、2003年株式会社ルネサステクノロジなどを経て2009年4月より現職。

各地の動向

地域	開発の方向	開発各社	動向
アメリカ	More-Moore	Intel IBM、ニューヨーク州立大他	ゲートラストプロセスでhp45nm世代を製品化 ゲートファストプロセス32nm以降を開発
日本	More-Moore	半導体先端テクノロジーズ (半導体各社が参画)	ゲートファストプロセスの技術開発終了、各社での自社開発へ →東芝:IBM他と32nm以降を開発推進 →パナソニック:ルネサスエレクトロニクスと28nm共同開発 →富士通マイクロエレクトロニクス:台湾TSMCと28nm共同開発
台湾	More-Moore	TSMC	ファブ化で、ゲートラストプロセスを開発中
ヨーロッパ	More-Than-Moore		多機能化電子デバイスの開発

ゲートファストプロセスとゲートラストプロセス

	作成方法	利点	問題点
ゲートファストプロセス	ゲートを先に作製してから、イオン注入のソース、ドレインを高温度プロセスで作製	従来プロセスを踏襲できる。high-k膜の高品質化。高信頼性。微細化に有利。	高温で安定したメタル/high-k界面の作製が必須。バンド端のしきい値制御が困難。キャッププロセスはマスク枚数増加でコスト高。
ゲートラストプロセス	高温度プロセスでソース、ドレインを先に作製して、最後にゲート作製	仕事関数の異なるメタルゲート材料を用いるだけで、しきい値電圧を制御可能。ダミーゲートのストレス印加によるpMOS特性の向上。	微細化でのレイアウトルールやCMP平坦化技術が困難。高アスペクトのゲートスタック作製が必須。high-k膜の低品質性。

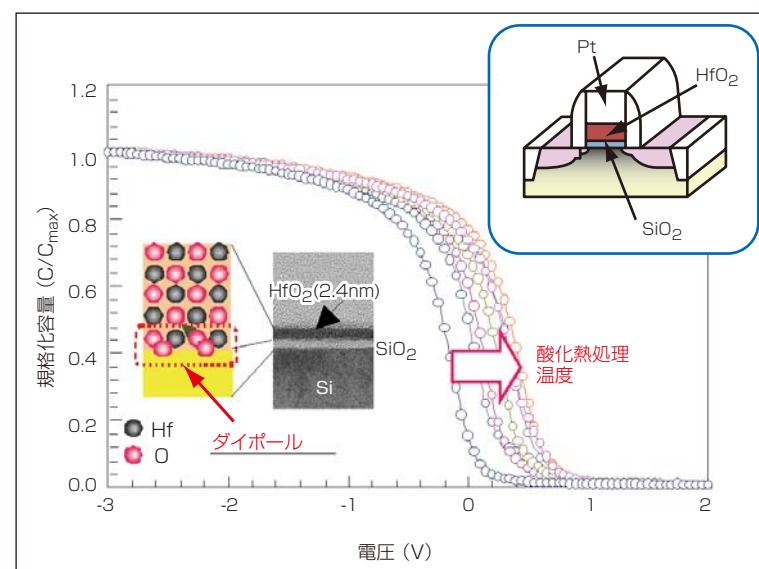
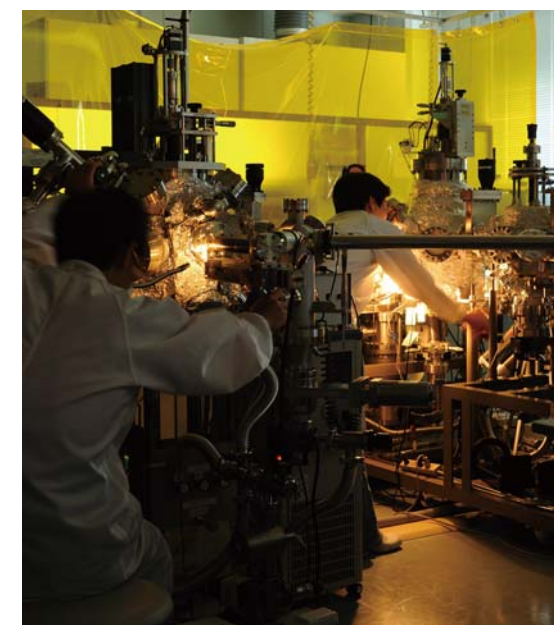


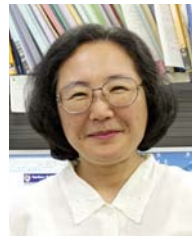
図1 Pt/HfO₂/SiO₂キャパシタの酸化熱処理温度の高温度化に伴う容量特性の正方向へのシフトが認められる。HfO₂/SiO₂ヘテロ界面における酸素量の増加によるダイポール形成で生じる。



次世代半導体材料を支える NIMSの材料開発技術



半導体材料センター
センター長
知京 豊裕



半導体材料センター
半導体デバイス材料グループ
吉武 道子

集積回路は材料の集合体 NIMSの基礎研究がいくてくる

現在の集積回路は多様な材料の集合体であり、さまざまな界面から構成されています。次世代のSiをベースとしたナノエレクトロニクスのためには、材料の機能性とSiデバイスとを融合させることが必要となってきます。そして、これらの材料の基礎研究はすでにNIMSにあるのです。

今回の特集で言及した、電子線誘起電流(EBIC)法によるナノスケールのhigh-k膜中の欠陥の視覚化(P4参照)と、ゲート酸化膜に有機分子を埋め込むことでこれまでない多値メモリを実現することができる可能性(P5参照)などはその代表的なものです。

たとえば、デバイスの微細化に対応するためには、材料は微結晶が非晶質であることが必要です。これは見方を変えたとhigh-k材料の探索は、高屈折ガラス材料の探索とみることができます。実際、次期high-k材料の候補には光学材料であるLa₂O₃(酸化ランタン)が候補になっています。

メタルゲートには非晶質で仕事関数制御が可能な材料として、酸化物と安定な界面を形成する多元系金属が求められています。NIMSでは、金属の非晶質化に関する研究もおこなわれており、光電子分光とあわせた仕事関数の測定と界面評価技術で材料の探索が可能です。また、メタルゲートから下地のSiまでのバンドの構成を計測するにはSPRING-8のNIMSの高輝度放射光ビームラインが威力を発揮しています。

NIMSがこれまで開発してきたコンビナトリアル材料合成法^{*1}もナノエレクトロニクスのための新材料開発に大きく貢献しています。特に、NIMSでは酸化物から金属まで多様な材料合成に対応でき、しかも、汎用性の高いコンビナトリアル材料合成法を開発してきた実績があります。

半導体だけではない 集積回路におけるNIMSのアドバンテージ

材料探索上必要であって一般には難しい計測があります。たとえば、high-k膜のGHz帯

の高周波領域の計測はきわめて困難ですが、NIMSの強磁場センターではマイクロ波を使った計測技術での誘電率計測が可能です。

また、第一原理計算をつかった誘電率と高周波領域での誘電応答、酸化物中の欠陥や不純物準位などの計算結果と比較する事も可能になっています。

さらに、多層化する配線に対して、光配線による多重信号処理が今後、必要になります。しかし、このためにはSiフォトニクスが重要で、光源や光電変換素子もチップに搭載する必要があります。NIMSの光材料センターがSi基板上に非線形光学デバイス^{*2}を世界ではじめて実現しています。これはSi上に微細分極反転構造^{*3}および接着リッジ光導波路^{*4}を両立したことで、従来のSi内波長変換法に比べてはるかに効率の高い変換を実現することを実証したものです。励起光源出力^{*5}の低減を通して低消費電力化に貢献し、高性能シリコンフォトニクスのみならず、光通信デバイスの小型化集積化に適用もできます。

NIMSが導く ナノエレクトロニクス・材料探索の旅

これらの実績を整理し、世界中の文献からデータを集めて構築した信頼性の高いNIMS材料データベースは材料探索の際に指針をあたえてくれます。

いま、ナノエレクトロニクスは「構造から材料へ」の転換期にあります。特許の観点からみると我が国の材料特許はアメリカをしのいでいます。この材料の知的財産を産業に生かす戦略が必要です。

NIMSは次世代のSiナノエレクトロニクスの時代の要請にあった研究能力と実績、インフラをもって、他の機関と比較しても、「材料の観点からの将来のナノエレクトロニクス」を構築できる機関であるとみることができます。

「構造から材料へ」のデバイスの変化に対して、国内最大の材料研究機関のNIMSへの期待は企業をふくめて高まっています。NIMSの材料に対する知識と経験、実績をもって、この分野への貢献を目指します。

Profile
ちきょう とよひろ(左)
博士(工学)。早稲田大学大学院博士課程後期 修了。1989年 旧科学技術庁金属材料技術研究所 入所。1999年～2006年: 先端研究「コンビナトリアル材料科学の創世と先端産業への展開」に参加。2006年より現職。1993年～1994年 ノースカロライナ州立大学 客員研究員。1995年～ワシントン大学材料工学科客員教授。2009年～早稲田大学連携大学院教授(兼任)。
よしたけ みちこ(右)
博士(工学)。お茶の水女子大学理学部卒業。東京大学大学院修士課程修了。1987年旧科学技術庁金属材料技術研究所入所。1992年博士号取得(東京大学)。1992年～1993年: 米国標準科学技術研究所客員研究員。2006年より現職。

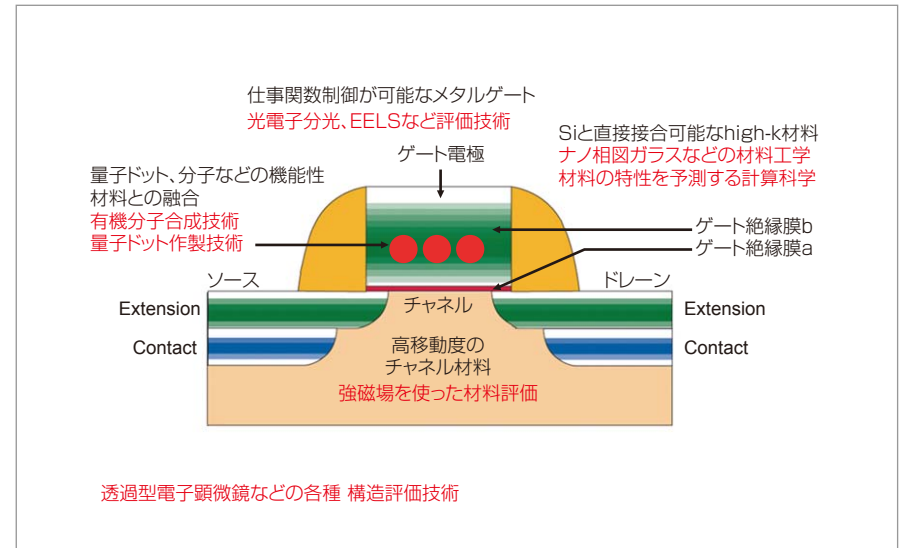
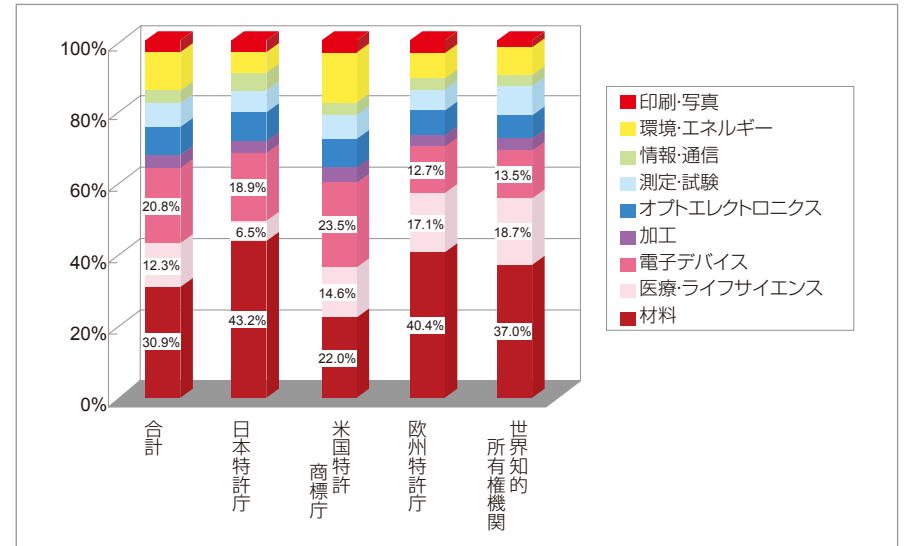
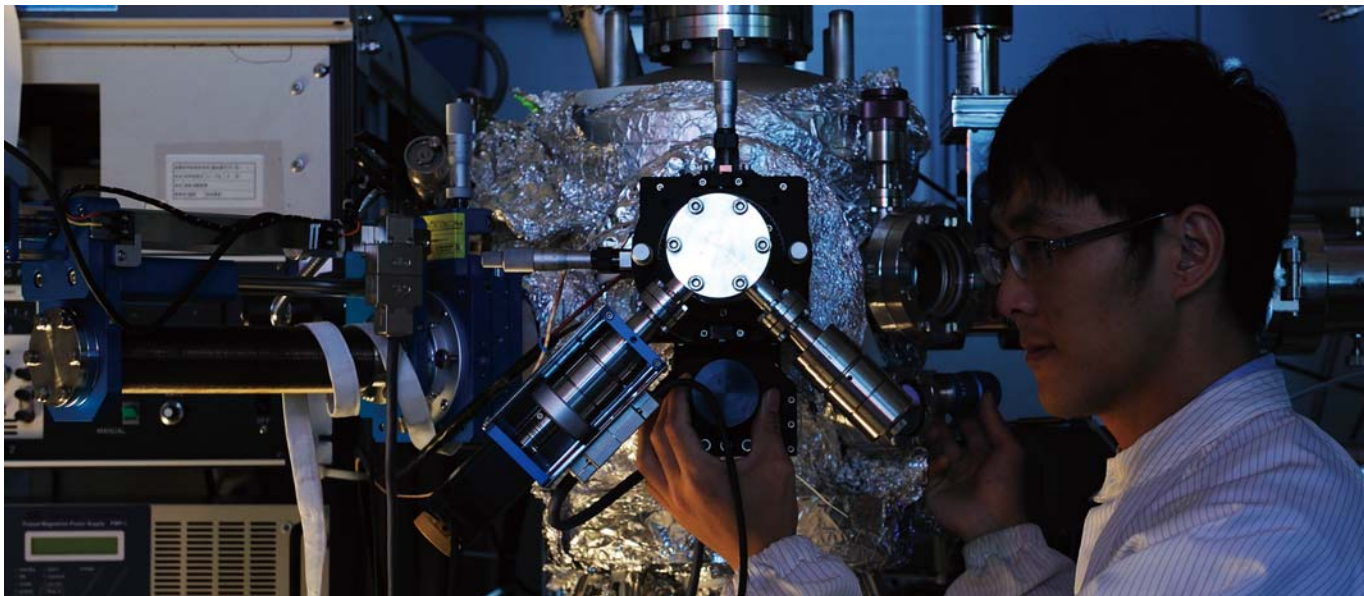


図1 NIMSのナノエレクトロニクス研究の潜在能力



出典: 科学技術動向 2006年6月号 (科学技術政策研究所)

図2 特許にみる欧米のナノエレクトロニクス研究傾向。ナノテク特許の9技術領域別の出願割合(2004)



^{*1} コンビナトリアル材料合成法: 基板回転と移動マスクを自動制御することで3元化合物を高速に合成することができる手法。
^{*2} 非線形光学デバイス: 光と電子の応答が線形ではない、すなわち非線形である効果を利用したデバイス。設計によってレーザー光の波長変換や光でオン、オフできる光スイッチなどの機能が実現できる。超高速の光制御や光計測に利用されている。
^{*3} 分極反転: 強誘電体の電氣的なプラスマイナスである自発分極を反転させた構造。周期的な分極反転構造を作製すると、レーザーの波長変換デバイスとして高効率動作する。周期によって発生する波長や偏光を選択することができ、設計の自由度が高い。

^{*4} 接着リッジ光導波路: 導波路とは物質の一部の屈折率を高めて作製した光の道のことであり、光ファイバはその典型例である。光を狭い領域に閉じ込めて伝搬させることができるため、漏れが少なく、分極反転と組み合わせると高い波長変換効率を得られる。光導波路のない場合に比べて、100-10000倍の効率を得られる。特に接着リッジ型導波路では、基板の上下方向および導波路の左右方向に段差状に屈折率が変化するため導波路からの漏れ光が少なく閉じ込めの強い導波路ができる。
^{*5} 励起光: LEDやレーザーなどの、半導体から出る単色性の高い、励起された光。

新しい価値の創造と追求を

独立行政法人科学技術振興機構(JST)理事長

北澤 宏一

iPS細胞や鉄系超伝導など、科学技術の面では世界をリードする成果を出しながら、日本全体には閉塞感が蔓延して、国としての活力が薄れています。この状況を打破して、子どもたちに希望と夢を与える社会をつくりあげるために、わたしたちはなにをすればよいのでしょうか。科学技術振興機構(JST)の北澤宏一理事長に熱い思いを伺いました。

日本の状況を打破する「第4の価値」

—このたび、「科学技術は日本を救うのか」という本をお出しになりました。

この本を通じてわたしが伝えたかったのは、まず、現在の日本の科学技術はすさまじいことになっている、世界のトップレベルを走っているということです。ただ、日本の場合、最先端に突出した面もたくさんあるのですが、材料技術を除いては、層は決して厚くはありません。さらに、そうした科学技術が十分にいかされていないのは問題です。

なぜいかにされていないかについては、経済などの事情もからんできます。例えば、ひとつ優れた技術をいかすと、その対極にある技術をつぶしてしまうことがあります。それはここ25年、日本は輸出マイナス輸入イコール10兆円という図式を結果的にかたくなに守っていて、何か新しい輸出品目ができれば、他のものを輸出品目からつぶすという仕組みになっているからです。

—そうすると、新しい材料ができて輸出ができれば、経済が盛んになるというのは間違いなんですか。

そう。ある品目の輸出が増えただけではダメで、国内でも製品として使われるようにしないとGDPは増えない。企業は海外に進出するからいいのですが、そのお金は海外で使われるだけで、国内を潤すことはないのです。

そうした状況を打破するために、わたしは「第4の価値」を追求していくことを主張しています。これまで我々は科学技術の成果としてプロセスイノベーション、プロダクトイノベーションをすすめてきました。その結果として、物質的にはもう欲しいものがない、GDPは増えないという状況になってしまいました。そこで、「新しく欲しい価値」は何かと考える必要があります。それは第1、第2、第3の価値とは違うと思うのです。

第4の価値とは何か

—第1、第2、第3の価値は、食料、モノやサービスが中心だったわけですが、新しい価値とは、それとは異なるものなのでしょうか。

何かほかにもっと新しい価値があるのではないかと。例えば若者たちですと、それは仲間がたくさん集まれるような仕組み、スポーツなどができるような場所や施設、文化を楽しむ場などであると思います。さらに、科学技術のかかわれる第4の価値としては、環境などが考えられるわけです。しかも、環境技術なら国内で消費される要素も必ず入ってくる。そこを重点的にやればGDPも増え、雇用も増大する。新しい価値は、日本人が国内で投資できる対象をつくるようなものでなければならない、とわたしは考えます。そうでなければ、国内に失業者は増えるばかりでしょう。

—第4の価値をもつ対象に、投資をすることが重要なのですね。

わたしは環境への投資がそれだと思います。誰もがその価値を認めやすいでしょうし。環境への投資ということの中には、国内では、街を美しくするとか、アメニティを充実させることなども入るでしょう。また、NPOなどがそのための推進役になれば、仲間の粋や活動をひろげていくのにも貢献するでしょう。

地球環境の解決に道を開く技術をまず日本で培い、実を結べばその成果を世界各地にだしていけばよい。これは日本の若者たちが活躍する場をひろげていくことにもなります。そのための財源は十分にありまじ、政府がお金を出さずに資金を導入する方法もいくつかあります。

環境技術と経済活動

—地球環境技術と経済の関連性といいますと。

例えば、電力固定価格買取制度による再生可能エネルギーの普及です。これはドイツがすでに導入し、実証済みですが、日本は、国際競争力が落ちることを懸念して導入しなかった。10年たってどうでしょう。ドイツは非常に成

功した。2007年までに25万人の新規雇用が再生可能エネルギー産業から生まれています。日本でもこのような制度を検討すればよいのです。それをしなかった日本に国際競争力がついた兆候はありませんでした。

しかし、これまで日本の電力会社、経産省、文科省は原子力発電の推進を支持してきました。コストや低炭素社会実現へのスピードを考えれば原子力のさらなる導入もやむを得ない、といわれています。

ですが、実際に未来に生きる子どもたち、またその母親たちの多くは、原子力発電だけでいいんだ、とは考えていないのではないのでしょうか。原子力発電の推進とともに、一方では自然エネルギーの可能性も追求する、そうでないと子どもたちの夢を壊すことになると思います。両方の可能性を追求していくことが必要で、次の世代が両者のどちらかを選べるように準備することが大切です。そのために、科学技術の分野において異なるエネルギー源の可能性に挑戦し、ブレークスルーを引き出すのがJSTの役割だと考えています。

—たしかに、自然エネルギーと原子力のどちらかがある時点で選んでいくというのは大切な視点ですね。

わたしはフランスのサルコジ大統領に注目しているんですよ。ご存知のように、フランスは電力の80%を原子力に頼る世界唯一の国です

が、今後、エネルギー開発にかかるお金を原子力と再生エネルギーとを同額にするといっているんです。日本はこの辺が違って、片方に力を入れると片方が減らされる。そこで互いにけなしあうし、原子力という言葉がタブーみたいになっている。これでは子どもたちを説得できません。

もっとオープンに、子どもたちに対して、他に良い方法があれば、できれば原子力をやめましょう。でも、それが無理だったら当面は原子力を増やして、自然エネルギーへの技術開発を続けていきたいと思います。

第4の価値とNPO

—第4の価値を追求するのに、どんな方法があるのでしょうか。

ひとつの例としてオランダのやり方があると思います。オランダは1980年代、ヨーロッパのお荷物といわれ、ものすごく景気が悪くて失業者が20%もいました。そこでときの政府が失業問題を解決するために20%給料を下げ、その代わり20%労働時間を短縮した。そこでトータル金額は変わらずに20%の失業を解消できた。その際、GDPは変わらないはずなのに、実際にはGDPは増えていきました。なぜかというと、実は時間的余裕のできた人々によってNPO活動が増えたんです。NPOでサイクリングロードをつくったり、運河を整備したり、風車を美しくしたりするような経済活動をおこなったんですね。

ボランティアというのは稼がないと思われていますが、そんなことはない。NPOは経営者たちが利益を分配してはいけなくても、お金をもらって事業をおこない、従業員に給料を払うことはできる。オランダのNPOはどんどん拡大して利益も増え、GDPや雇用の2割のシェアを占めるに至ったのです。

—対価はどこが出すのでしょうか。

いろいろです。たとえば日本で高齢者介護をすれば、国、地方自治体や個人が出すでしょうし、山で間伐材の整理で炭を焼けばそれなりの収入が得られる。子育て支援なんかだと、支援の方法を教育する、それを習う人は授業料を払うということになる。社会正義のために働くという前提があれば、企業活動よりは安いかもしれないけれど、経済活動は当然組み込まれるわけです。そういう意味では、NPO活動が盛んになるとそれが第4の価値につながっていく。なぜか。それは、第4の価値は、正義感、または仲間意識に基づいているからです。しかも、楽しい。例えば、長野県の飯田市は、自然エネルギーとしての町おこしをやっている。エコビレッジとしてエコを楽しむ町です。それを町のエコツアーなどの目玉にして観光客が来れば、それで経済活動は起こる。その太陽電池ファームなどに投資する都会の個人も増える。そこに自然エネルギーに関する科学技術が寄与する。こういうことを考えています。

変化していく価値

—価値というのは、個人や社会、世代によっても変わりますね。

戦後すぐのわたしの世代だったら、みんなが腹一杯食べて、全員が生きていけるようになること、それが最大の価値でした。今の若い世代は、みんなが食えるというのは当たり前の世界で、価値は多様化しています。そこでそれぞれの生きがい追求できることが大事になり、菅首相のいう最小不幸社会というのが、政策的には必要だということになります。つまり、全体的な価値観の一致な選択決定はできない。ただ、わたしの考える、こうなったらいいというのはあります。

本にも書きましたが、今の若い世代は宮崎駿に影響を強く受けた世代です。山の中に入って自然とともに生活して毎日を楽しみ、工学部で開発をおこなう私などを、ある意味では敵視している。こうした若い世代は地球環境への償いの意識が強く、豊かな自然をとりもどすためならお金を出してもいいとも考えています。

—何を投資対象とするか、その価値観も違うのですね。

ええ。彼らの行動規範は、仲良く平和に、互いに迷惑をかけない、自然にもなるべく悪いことをしない、というルールを守って楽しみながら生きていこうということ。

ただ、彼らは将来の問題を積極的に解決できるとはまだ思っていないのです。したがって、未来への希望を持っていない。そこで今を楽しもう、となるのですが、それでは困る。そこで、わたしは将来への希望を持ってもらうために、地球防衛隊構想をメッセージとして伝えたいと思っていますのです。

問題は解決できる、と子どもに伝えたい。そのために科学技術を。

—地球防衛隊構想ですか。もう少し具体的に…。

地球防衛隊構想というのは、地球規模の問題を科学技術によって解決するプロジェクトグループをつくって、子どもたちに、未来に向かう夢のある挑戦課題を示し、大人になったら隊員になって一緒に地球を守ろうと呼びかけるのです。たとえば、超伝導で地球規模の電力網をつくらう、そうすると地球の裏側にも電力を届けることができ、昼も夜もどこかで太陽エネルギーを利用できる。地球規模ならいつでもどこかで風が吹く。サハラ砂漠諸国も電力の輸出国になれる。

実はいま地磁気の減少が観測され、磁場で守られていた地球表面に宇宙線が到達する



可能性が数百年のうちに存在します。人類の生存のためには、このときまでに超伝導永久電流ループを赤道のまわりに作るプロジェクトをおこなわなければならない可能性もあります。

私はこのようなグローバル超伝導電力網構想をぜひ子どもたちに実現してってもらいたいとまじめに考えています。

—そうした構想の中、NIMSに望むことは何でしょうか。

わたしは、子どもたちに将来の課題を解決できるという夢を与えるのは、科学技術だと思います。そのため、NIMSには将来の「問題解決の可能性」をメッセージとして若者に伝えてほしいと思います。未来に対する夢を次世代に向けて提案できる体制づくりがこれからの研究者の役割なのではないでしょうか。

しかもそれらのメッセージは、ゲームチェンジャーなものであってほしい。現状から大きくジャンプしたものだというイメージです。4倍の光合成効率をもつミドリムシやクロレラ、バイオマスを収集するミツバチ、10分の1のコストでできる太陽電池、微生物太陽電池、音の出ない風車、高い性能をもつ熱電半導体の実現、といった、大胆なアイデアを提起してほしいと思います。

Profile

きたざわ こういち 1943年長野県生まれ。東京大学大学院修士課程、マサチューセッツ工科大学博士課程修了。東京大学工学部教授などを経て現職。日本学術会議会員、2009年度応用物理学会業績賞受賞。

ナノの世界に魅せられて

ナノ計測センターセンター長
藤田大介

ナノテクノロジーの高度な基盤技術を開発整備することによって、ナノテク・イノベーションをめざすNIMSのナノテク研究。マネジメントと研究を両立させながら、先頭に立ってナノテクノロジー基盤領域を牽引する藤田大介コーディネーターに、その日常や研究への思い、NIMSの将来像などをうかがいました。

—お生まれはどちらでいらっしゃいますか。

大阪の箕面市ですが、福岡県大牟田市に両親の実家がありましたので、幼年期は九州で過ごしました。その後、父親の転勤がいくつかありました。中学・高校・大学は東京です。出身地の分類では東京といえるかもしれません。

—小さい時はどんなお子さんでしたか。

得意だったのは運動です。保育園のころから足だけは速かったと思います。小学校では、マラソン、リレー、走り高跳びなど、陸上競技が得意でした。中学では陸上部やバスケット部、高校・大学は陸上部に入っていました。

社会人になって大学からNIMS(当時は金属材料技術研究所)に異動しましたが、レク活動で球技大会が盛んでした。ソフトボール、テニス、バドミントン、バレーボール、卓球のレク大会がおこなわれており、参加することが楽しみだったことを覚えています。

—スポーツ万能でいらっしゃるのですね。お勉強の方はどうでした？

子どもの時は遊びでは仕事が好きだったので、理科と図工が好きでした。低学年ではプラモデルづくりが中心でしたが、高学年から中学では模型工作や電気工作を遊びでしていました。父親は機械工学のエンジニアだったので、顕微鏡や望遠鏡、計算尺やT型定規などが身近にありました。理科と図工が好きだったのは周囲からの影響かもしれません。

—研究者になるきっかけはどんなことだったのですか。

大学院修士2年の秋に指導の先生から研究室の助手になるように依頼されたのが大きな転機です。当時は修士課程修了で助手採用になることがよくありました。助手として研究と学生指導をしながら学位を取得しました。研究テーマは「固体表面における動的過程の研究—極高真空技術への応用—」です。超高真空よりも難しい極高真空(10⁻¹²ミリバル)を

つくるための材料表面の研究をしていました。その当時の研究がベースになり、今に至るまで続いていると思います。現在も超高真空環境で創製された清浄な表面から出発して、材料表面のキャラクタリゼーションをナノスケールでどうおこなっていくかということを研究しています。



—これまでに印象深かったことは。

グラフェンという材料は最近になって大変注目されています。あまり知られていませんが、'70年代から表面科学では単原子層グラファイト(=グラフェン)の研究が行われていました。当時、NIMSの前身である無機材質研究所では大島忠平先生(現早稲田大学)を中心として'80年代後半から'90年代に単原子層グラファイトに関する研究が行われていたのです。当時の無機材質研究所は極高真空でもトップクラスで、'80年代における極高真空の日本記録をつくっています。NIMSの前身における単原子層グラファイトの創製と計測の先駆的研究は、グラフェン研究のマイルストーンとして記憶されるべき、印象深い研究です。

—さて、現在は研究とマネジメントの両方をやっていますか。

マネジメントないしはコーディネイトはNIMSにおける私の重要な業務です。勤務している時間の多くはセンター長もしくは領域コーディネーターとしての仕事に割られます。それとは別に並行して、一研究者としての業務は自分

自身のオリジナルな研究をすることです。研究に割り当てられる時間は少ないのですが、研究者として一生懸命やっていきたいと願っております。アイデアをどう実現するかは時間との勝負になりますので、研究者(ポスドク)や技術支援の方々の協力を仰いでいます。

研究者として毎日数時間を自分自身の研究にあてられるようにすることが理想です。一方、マネジメントやコーディネイトを通じて研究者のサポートやNIMSのアウトリーチ活動も重要です。両立を目指したいと思います。

—ライバルなどはいらっしゃいますか。

ライバルは特にありませんが、理想とするような研究グループはあります。たとえば、IBMアルマデン研究所やハンブルグ大学などの走査型プローブ顕微鏡計測技術に関する研究グループです。彼らのように、ナノスケールの世界におけるオリジナルなアイデアを次々と実現するのはすばらしいことです。世界で最初に実現することに非常に大きな価値があると思います。IBMのアイグラー博士が1989年にはじめて原子操作の実証に成功したことは驚きでした。そのような研究が目標です。

—NIMSの将来についてはどうお考えですか。

NIMSにとって基礎研究が大事であることは不変ですが、工学的な視点をもった基礎研究を目指すべきです。役に立つ基礎研究が求められていると思っています。社会の様々な課題を解決するためには、新しい材料を開発することが必要です。そのような新材料開発のための基礎・基盤となる研究をすることがNIMSの主要ミッションです。NIMSには優秀な人材が揃っていますので、近い将来には世界トップレベルの材料研究所になると思います。

Profile

ふじた だいすけ 博士(工学)。東京大学大学院工学系研究科金属工学専攻修士課程修了。東京大学生産技術研究所助手、金属材料技術研究所研究員を経て、NIMSナノテクノロジー基盤領域コーディネーターに就任。

ネックレス構造の有機電子材料

ナノ有機センター
機能材料化学グループ
池田太一

世界中で熱い注目を浴びる有機エレクトロニクス。構成要素同士が従来のような共有結合でなく、幾何学的拘束により、まるでネックレスのようにつながるまったく新しいアプローチの開発がおこなわれている。

開発が急がれる有機エレクトロニクス材料

現在の高度情報化社会においてエレクトロニクス材料が果たす役割は大きなものがあります。例えば私たちが日々利用しているパソコンや携帯電話はエレクトロニクス材料の集大成と言っても過言ではありません。現在のエレクトロニクス材料はレアメタルを多量に使用していますが、軽量で柔軟性があり設計の自由度が高い有機材料で代替することができればその効果は計りしれません。

ネックレス構造を有するエレクトロニクス材料

有機エレクトロニクス材料の研究は世界中で活発に行われており、新しい研究をはじめには既存の研究とはまったく異なるアプローチが必要であろうと考えました。

従来の研究は複数のユニットを共有結合でつないだり、分子間相互作用により配列させるものでした。しかし共有結合で連結してしまうとお互いのユニットの本来の機能が変わ

てしまい、分子間相互作用のみに頼るとそれぞれのユニットが相分離を起こして混ざり合わなくなってしまう欠点がありました。そこで本研究では、構成要素同士は共有結合でつながっていないけれども幾何学的拘束によりつながっている、ネックレスのような形態を有する高分子を利用するという着想を得ました。

ネックレスの糸として有機半導体高分子として有名なポリチオフェンを用い、図1のようなネックレス構造を有するエレクトロニクス材料を開発しました。ダンベル型分子存在下で環状分子を合成すると、分子間相互作用によりダンベル型分子上で環化反応が起こり、環状分子がダンベル型分子に幾何学的にトラップされた分子を得ることができます。これをさらに電気化学的に重合することによってネックレス分子を得ることに成功しました。この分子の薄膜に電圧をかけると赤色から無色に変化します(図2)。このような特性はエレクトロクロミック材料として調光材料やカラー電子ペーパーな

どに应用することができます。今後、有機半導体としての様々な特性を明らかにしていきたいと考えています。



図2 ネックレス構造を有するエレクトロニクス材料の薄膜に電圧をかけた際の色変化(エレクトロクロミズム)

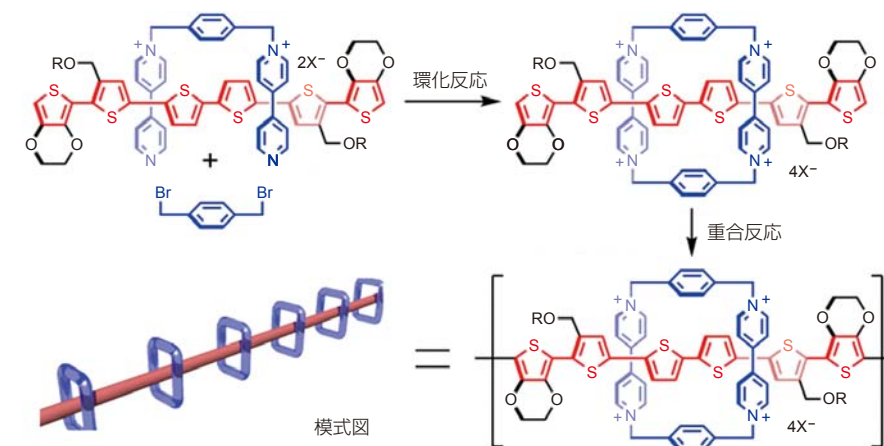


図1 本研究で開発したネックレス構造を有するエレクトロニクス材料の合成スキーム

参考文献

T. Ikeda, M. Higuchi, D. G. Kurth, *J. Am. Chem. Soc.* **131**, 9158 (2009).

Profile



いけだ たいち 博士(材料化学)。NEDOフェロー研究員、UCLA博士研究員を経て2006年10月NIMS入所。主任研究員 MPI-NIMS International Joint Laboratory グループリーダー(兼任)。

超高密度データストレージに向けた 単分子レベルでのC60分子間化学結合制御

国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・ナノシステム分野
ナノ機能集積グループ
中山知信

国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・ナノシステム分野
ナノ機能集積グループ
中谷真人

国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
拠点長
青野正和

原子や分子ひとつを1ビットに見立てたメモリーデバイスはナノテクノロジーの夢だった。フラレンC₆₀を用いて、データストレージにおけるデータ密度を、現状の1000倍程度まで超高密度化する方法を示した。

ナノテクノロジーが生み出す夢のデバイスの一つに、原子・分子レベルのメモリーデバイスがあります。1990年代に始まった単原子や単分子の操作技術は、原子あるいは分子ひとつを1ビットに見立てたメモリーデバイスを予感させるものでした。ただし、現実には、原子や分子が動きまわらないようにするための極低温環境を要したり、原子や分子の付与と除去を(単一ビットの0,1制御に相当)を同じ位置で繰り返すことが難しいなどの困難を抱えています。

私たちは、フラレンC₆₀分子超薄膜(分子間に化学結合がない分子凝集状態の超薄膜)表面のC₆₀分子とその下にあるC₆₀分子との間に化学結合を生成し解消する方法を見出しました。そして、現在実用化されているデータストレージのビット密度(～400Gbit/in²)を1000倍近く凌駕する190Tbit/in²の超高密度データストレージの実現が可能であることを示しました。

まず、平坦な導電性基板の表面上にC₆₀分子超薄膜(図に示した実験では3分子層)を作製します。この超薄膜では、隣接するC₆₀分子間に十分な引力が働いて凝集しているため、個々のC₆₀分子は室温でも動き回ることはありません。

次に、走査トンネル顕微鏡(STM)の先鋭化された金属探針をこの超薄膜に近接させて、C₆₀分子超薄膜の基板側が負の電位(金属探針側が正)となるバイアス電圧を印加します。これによって、探針直下のC₆₀分子が負にイオン化し、隣接するC₆₀分子との間の化学結合生成に有利な状態が実現します。そこに、金属の探針から流れるトンネル電流が適切なエネルギーを与えることで、C₆₀分子間の

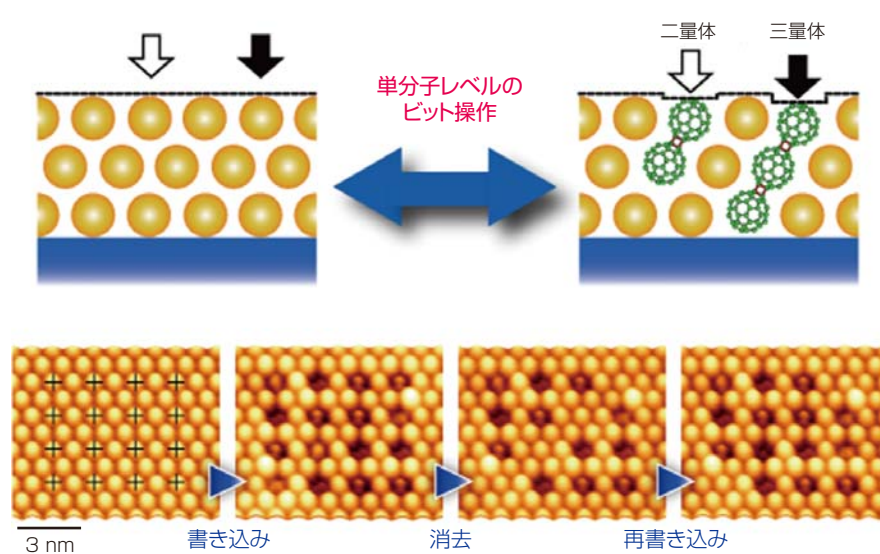


図 単分子レベルビット操作(C₆₀分子間化学結合の生成と解消制御)を表す模式図(上図)と、190Tbit/in²での超高密度データストレージ書き込み、消去、再書き込み操作の実例(下図:STM像)。

化学結合が完成します。この化学反応によって、超薄膜最表面の任意のC₆₀分子と第2層目のC₆₀分子あるいはさらに第3層目のC₆₀分子が二量体あるいは三量体を形成します(上図参照)。

従来、これらの重合体を単体の分子に戻すためには、150～200℃程度の加熱が必要でした。しかし驚くべきことに、室温で、印加する電圧の極性を逆転させると、C₆₀分子間の化学結合を解消できたのです。これによって、C₆₀分子間の化学結合生成と解消を、室温において何度でも繰り返すことができるようになりました。二量体や三量体の状態を“1”、化学結合が無い状態を“0”とすれば、まさに単分子レベルのビット操作が実現したことになり、そのビット密度は190Tbit/in²にも達します(下図参照)。

参考文献
M. Nakaya, Y. Kuwahara, M. Aono, T. Nakayama, Small 4, 538 (2008).
M. Nakaya, S. Tsukamoto, Y. Kuwahara, M. Aono, T. Nakayama Adv. Mater. 22, 1622 (2010).

レーザー瞬時アニールを用いた不純物活性化技術 シリコン結晶中不純物元素の選択肢を広げる

ナノ有機センター
ナノアーキテクチャーグループリーダー
三木一司

筑波大学大学院数理物質科学研究科
物質・材料工学専攻(D1)
村田晃一

産業技術総合研究所
エレクトロニクス研究部門主幹研究員
坂本邦博

東京大学大学院総合文化研究科
広域科学専攻教授
深津 晋

次世代シリコン系デバイスの開発に重要な意味を持つ重元素ドーピング技術。高出力レーザーアニールを用い、重元素のひとつであるビスマスをシリコン結晶中にドーピングすることに成功した。

シリコン(Si)結晶中の不純物ドーピング技術はキャリア制御のために重要な技術ですが、従来は容易にドーピングできる軽元素(磷元素(P)や硼元素(B))に特化して技術発展を遂げてきました。最近では、シリコン結晶中不純物の持つ電子スピンを利用したスピントロニクスデバイスなどが検討されています。このような電子スピンを利用するデバイスでは、熱による影響を抑制できることからエネルギー的に深い不純物準位を形成する重元素が有利です。シリコン結晶中への重元素ドーピング技術が確立できれば、LSI技術との複合化によって即座に集積化が可能であるため、シリコン系デバイスは圧倒的に有利となります。

今回、我々は高出力レーザーアニール装置を用いることで、シリコン結晶中で重元素の一つであるビスマス(Bi)不純物を活性化(シリコン結晶格子位置に置換)させる技術の開発に成功しました。シリコン結晶表面に形成したビスマス原子細線をドーパント源としてシリコン結晶成長を行い、ビスマス原子細線の大半を表面偏析させて、数%だけを結晶中へ残留させたものをドーピング原子として利用しました(図1(a))。この不純物の活性化の評価にはフォトルミネッセンス(PL)測定を用いました*。

図2(1)に示す作製直後の試料のフォトルミネッセンススペクトルでは、シリコン結晶からの発光のみが観測され、ビスマス不純物が不活性な状態であることを意味しています。この不純物を活性化させるために高温アニールが必要となりますが、長時間の高温アニールで

は不純物が拡散してしまい所望の不純物濃度分布を維持できません。そこで、極短時間(数ミリ秒)の高温(シリコン融点極近傍～1400℃)アニールを実現可能なレーザー瞬時アニール(図1(b))を採用しました。その結果、レーザーアニールを施した試料からビスマス不純物(ドナー)準位に関連した発光を観測し、活性化させることに成功しました(図2(2))。同時に数種類の欠陥(Gライン、他)が導入されますが、これらの欠陥は追加の低温アニールにより除去可能であることも見出しました。

今回の成果は、ビスマス元素に限らず他の不純物元素にも適用可能な汎用的な技術で、不純物の拡散を極力抑制できる利点を持つことから有益です。

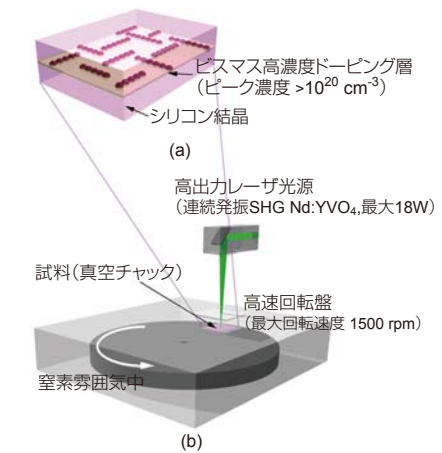


図1 ビスマス高濃度ドーピング層を有するシリコン結晶試料と不純物を活性化するためのレーザー瞬時アニール装置。(a) 試料構造。(b)レーザー瞬時アニール装置の概要。高速回転盤上に設置した試料に集光レーザー光を照射する構造をとり、アニール時間は数ミリ秒、到達温度はシリコン融点極近傍(～1400℃)まで及び。

謝辞
本成果はMANAファウンドリー支援を受けました。本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(A)の一環として行われました。

参考文献
Koichi Murata, Yuhsuke Yasutake, Koh-ichi Nittoh, Kunihiro Sakamoto, Susumu Fukatsu, and Kazushi Miki. Applied Physics Express 3 (2010) 061302.

* フォトルミネッセンス(PL)測定は、物質に光を照射することで生じた電子と正孔が再結合するとき放出する光の発光強度分布を測定します。この発光強度分布は物質中の欠陥や不純物準位に影響するため、非破壊かつ高感度で物質の状態を評価することが可能です。

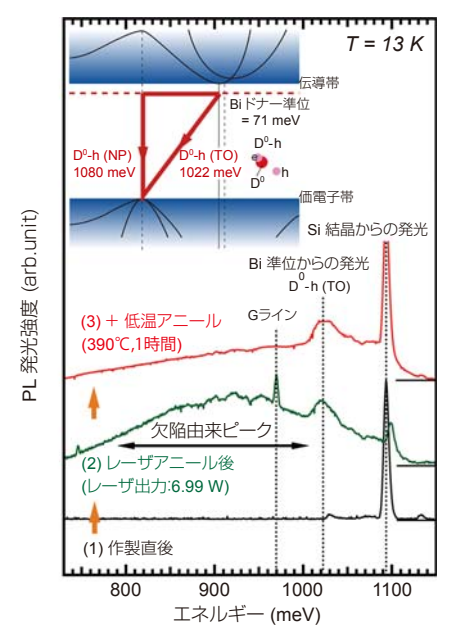
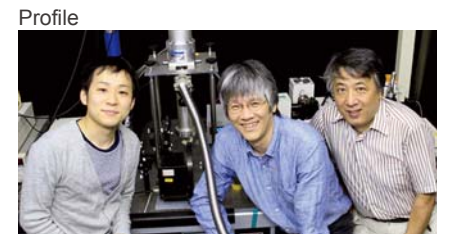


図2 フォトルミネッセンス評価結果。(1) 作製直後の試料。シリコン結晶からの発光のみ観測され、不純物は不活性な状態である。(2) レーザーアニールを施した試料。ビスマスドナー準位からの発光を観測し活性化に成功しているが、同時に欠陥由来のピークも観測された。(3) 低温アニールの追加により欠陥由来のピークが消滅している。挿入図はビスマスがドーピングされたシリコン結晶のエネルギーバンドダイアグラム。1080meVと1022meVの発光ピークはそれぞれ、ビスマスドナー準位に捕獲された電子と価電子帯の正孔の再結合のゼロフォノン線とそのTO(横光学)フォノンレプリカを表す。



みき かずし(中央) 博士(工学)。筑波大学博士課程工学研究科修了。1987年電子技術総合研究所研究員、1991年主任研究員、1994-6年オックスフォード大学客員研究員、2001年物質・材料研究機構主幹研究員などを経て2003年から現職。
むらた こういち(左) 修士(工学)。筑波大学大学院数理物質科学研究科物質・材料工学専攻(D1)在籍。NIMSジュニア研究員。
さかもと くにひろ(右) 博士(工学)。東京大学工学研究科博士課程修了。1986年電子技術総合研究所研究員、1990年副主任研究員、1995-96年カリフォルニア大学ロサンゼルス校客員研究員などを経て2007年から現職。
ふかつ すずむ 博士(工学)。東京大学大学院・工学系研究科・博士課程中退。1987年東大・先端科学技術研究センター助手、1994年東京大学大学院総合文化研究科助教などをを経て、2010年から現職。

NE 第二回 産・官・学 新材料シンポジウムを開催

平成22年5月25日、早稲田大学大隈小講堂において「第二回 産・官・学 新材料シンポジウム ー新しい材料系学科・コースのあり方ー」(早稲田大学・NIMS共催)が開催され、今回の重点テーマ「材料系学科における人材教育」が約200名の参加者とともに議論された。

馬越佑吉NIMS特別顧問、白井克彦早大総長による挨拶に続き、佐久間健人高知工科大学長、はじめ5名が講演し、初等教育

から大学教育の現状、OJT教育まで人材育成への取り組みを紹介すると共に、新しい材料系学科・コースのあり方について議論が交わされた。

後半は第一線で活躍する研究者・技術者・部門管理者を迎えてのパネル討論がおこなわれ、材料分野に求められる大学教育への要望や、基礎から実機化まで一貫した視点で行う、新しい材料開発プラットフォームを産学官連携の中でつくるべき、との議論がな

された。その後、堀越佳治早大常任理事が「共通基盤の設定と学生の環境づくりが重要な課題」としめくった。



登壇者による講演

NE IBM-NIMSシンポジウムを開催

平成22年6月14-15日、つくば国際会議場において、「IBM-NIMSシンポジウムー原子スケールでのキャラクタリゼーションとマニピュレーション(IBM-NIMS Symposium – Characterization and manipulation at the atomic scale)」が開催された。本シンポジウムは、原子・分子スケールでの材料の評価と操作を主題とし、当該分野におけるNIMS内外の研究者とIBM研究部門に属する研究者を招聘して開催された。

NIMSではナノ計測センター、国際ナノアーキテクニクス研究拠点(WPI-MANA)並びに国際室が連携してシンポジウムを開催した。IBMからはアルマデン研究センター(米国)ならびにIBMチューリッヒ研究所(スイス)から第一線の研究者9名が本シンポジウ

ム出席のために来日した。

まず、ホスト機関を代表してNIMSの潮田理事長による挨拶、続いて、IBMのアルマデン研究所からEigler博士はじめ5名、チューリッヒ研究所のMeyer博士はじめ3名の招聘講演者が発表した。NIMSからはナノ計測センター・量子ビームセンター・MANAの研究者9名、また、理研と東大物性研から2名の招聘講演者が発表した。

シンポジウムは、原子スケール材料制御I・II、STMによる原子スケール材料特性解明、AFMによる材料キャラクタリゼーション応用、電子顕微鏡によるナノスケール動的プロセスの可視化応用、材料ナノアーキテクニクスの各セッションにおいて相互に最先端の研究発表がおこなわれた。

約90名の内外の研究者・技術者が参加し、十分な質疑時間が設けられたことから、最先端のナノスケール解析や原子・分子操作に関する研究に関して白熱する議論が展開された。本シンポジウムは、NIMSとIBM研究所とのナノサイエンス分野における研究交流を活発化するうえで、マイルストーンとも位置すべき重要な貢献をおこなったといえる。



IBM-NIMSシンポジウムの参加者

NE 材料科学専門の英文論文誌STAMのインパクトファクターが倍増

NIMSの刊行する国際的な材料科学専門の英文論文誌「Science and Technology of Advanced Materials(STAM)」が創刊10周年を迎えた。STAM誌は金属、無機、有機、生体材料などナノテクノロジーを含む全ての材料科学研究分野をカバーし、材料科学に関する研究情報発信の場を世界に提供している。トムソンロイター社による国際ジャーナルの評価指数「IF:インパクトファクター」の2009年値が6月17日に発表され、STAM誌のIF値は 2.599 となり、前年度の1.267から105%アップと倍増された。また、STAM誌の属する「材料科学、学際」分野におけるジャーナルランキングも、2008年の192誌中86位から212誌中36位と大幅に

ランクアップした。これはSTAM誌に掲載されている論文の質の高さが世界の材料科学研究者に広く認知され、数多く引用された結果であり、STAM誌が世界の材料科学研究に強い影響を与えつつあることを示している。



また材料科学ジャーナルにおいては世界ではじめて、オンライン上でのオープンアクセスを2008年から行っており、STAM誌に掲載される全論文を無償で提供している。

