

ナノテクノロジー 21世紀型の省資源・省エネルギー技術

ナノテクノロジー研究部門 横山 浩

ナノテクノロジーは、1ナノメートル（10億分の1メートル）の物差しを使う原子・分子の世界の科学技術ですが、最近では“ナノテク化粧品”や“ナノテク繊維”も登場して、日常生活にも少しずつ浸透してきています。物を小さくしていくと、その本来の性質が際立って現われ、あるいは全く新しい働きが生まれたりします。ナノテクノロジーは小さな物の特質を究め、役に立つ材料を生み出し、さらにそれを使った素子やシステムを作り上げることを目指しています。

ナノテクノロジー研究部門では、少数の原子が集合してつくるナノ粒子や、電子の磁石としての性質を利用する超微細な磁性半導体素子、生物がDNAの持つ遺伝情報をもとに自分の体を作り上げていくような自己組織性を持った有機材料、超高強度素材や電子ディスプレイへの応用に期待が高いカーボンナノチューブ、さらに新たな超微細加工技術や計測技術から、ナノテクを利用した新しいバイオ技術などの研究開発を幅広く展開しています。

ナノテクの取柄は小ささだけではありません。物質の働きの極限を追究すると、そこには最少のエネルギーと材

料を使って最高の機能を実現する、新たな技術の筋道が見えてきます。ナノテクノロジーは、先端的な機能性と、省資源・省エネルギーを無理なく調和させる、まさに21世紀型の技術なのです。ここではナノテクノロジー研究部門が取り組む幾つかの研究を、省資源・省エネルギーの視点からご紹介しましょう。

スーパーインクジェット

インクジェットプリンターを利用している方は多いと思います。インクを微小な液滴としてノズルから噴射し、紙面に付着させて図形を描いていきますが、この数年で精細度もスピードも飛躍的に向上してきています。今この技術が、次世代の半導体微細加工技術として注目されています。これまでのように、一面に蒸着した薄膜を必要な部分を除いて大半を削り落としてしまうという無駄の多いやり方ではなく、いわゆる“オンデマンド”で、必要なところに必要な量だけ必要な材料を、インクジェットで配置してしまおうというわけです。当然、大幅な省資源化が期待できます。ナノテクノロジー研究部門では、従来のインクジェットに比較して、1/10以下の微細パターンを形成

できる新しいタイプのインクジェット技術—スーパーインクジェット技術—の開発に成功しました。金属ナノ粒子を含む液体をインクとして、1ミクロン以下の配線を、基板の表面に何の処理もせずに、直接描画することができるようになりました（図1）。

超高感度磁気センサー

インターネットやマルチメディアといった情報化社会の進展によって、大量の電子情報の処理のニーズが日増しに高まっています。この要求を、低コスト、省資源・省エネルギーのもとに実現することが、最近の電力事情の逼迫からもわかるとおり、社会的に大きな課題になってきています。半導体メモリーのように常時エネルギー消費を必要としない磁性メモリーや、テラビット／平方インチの超高密度ハードディスクに大きな期待が寄せられています。ナノテクノロジー研究部門では、金属と半導体のナノメートルスケールの複合構造が、室温・低磁場のもとでも、極めて高い磁気抵抗効果を示すことを発見し、経済産業省のナノテクノロジープログラム（ナノ機能合成技術プロジェクト）のもとで、その高度化と実用

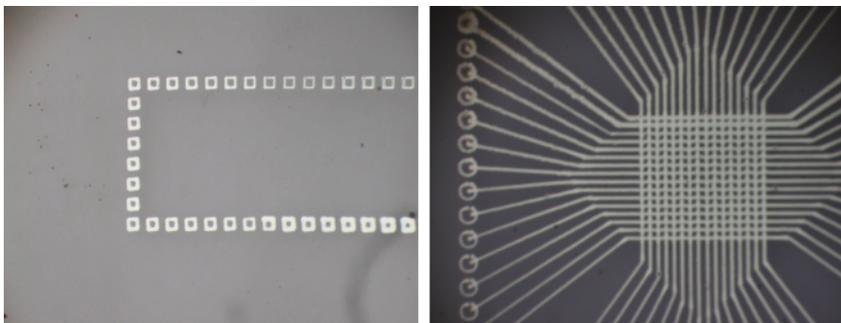


図1 スーパーインクジェットでガラス基板に直接描画した金属ナノペースト（ハリマ化成）による微細配線。
（左）一辺25 μm の四角形。（右）幅3 μm のライン。

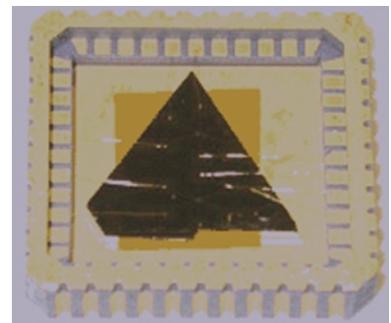


図2 デバイスパッケージに実装した超高感度磁気抵抗効果スイッチ素子。
2003年2月に開催された nano tech 2003 + Future 展示会に出品し、磁石を近づけると発光ダイオードが直接にオンオフできることを実演して注目されました。

社会を目指して

化に挑戦しています。最近では、化合物半導体であるGaAs基板の上に金のナノ構造を作ることによって、磁気抵抗変化比10000% (per 100mT) の機能を実現することに成功し、明るい展望が得られています (図2)。

メモリー液晶

液晶ディスプレイは電気がなくなると表示が消えてしまいます。これまでの液晶ディスプレイは、100万個の薄膜トランジスタ (TFT) をガラス基板に集積化して、液晶を常時駆動しなくてはなりません。液晶のメリットは低消費電力と言われますが、まだその特長を十分には活かしきっていないのです。液晶ディスプレイでは、液晶の電気光学応答性を使うために、ガラス基板に液晶分子を均一に配向させる処理をして、液晶の向きが一様に揃った状態を作ることが必要と考えられてきました。ここで発想を逆転して、特定のミクロな構造を基板表面に与えると、液晶に多重メモリー性を持たせられることを、科学技術振興事業団・横山液晶微界面プロジェクトにおいて実証しました。メモリー性は電池がなくなっても表示が消えない超低消費電力液晶ディスプレイ

イを可能にし、携帯電話や電子ブックなどの液晶のモバイル応用をさらに発展させることが期待されます (図3)。

標的指向

ドラッグデリバリーシステム

癌の克服は、21世紀の医療の最大の課題の一つです。その切り札として、患部にだけ選択的に抗癌剤を集中的に送り届けることができるドラッグデリバリーシステム (薬剤送達システム: DDS) に注目が集まっています。ナノテクノロジー研究部門では、糖鎖の持つ細胞認識機能に着目して、癌細胞をミサイル攻撃するドラッグデリバリーシステムの開発を進めています。従来知られていたドラッグデリバリーシステムは、小胞に閉じ込められた薬剤の徐放性だけに頼っていて、患部の認識作用をほとんど持たない受動的なものでしたが、産総研の糖鎖型ドラッグデリバリーシステムは、最近の動物実験の結果からも、高い患部選択性を示すことが明らかになってきています (図4)。

期待される産業化

研究者としての醍醐味は、これまでの常識を覆して、目から鱗が落ちるような発見や発明をすることに違いあり

ません。ここでご紹介した研究成果はそのほんの一例であり、ナノテクノロジーにはそのような可能性が溢れています。ナノテクノロジーは、科学的な基礎研究と産業応用が表裏一体の関係にあるダイナミックな研究フィールドを形成しています。ここでご紹介した成果が産業技術として社会に貢献する日もそう遠いことではありません。

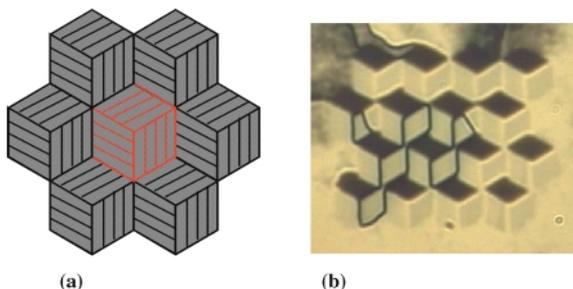


図3 (a)メモリー性を液晶に持たせるミクロな基板表面の配向パターン
(b)原子間力顕微鏡で実際に作製した配向パターンによって配向した液晶の顕微鏡写真 (可視化のため一辺を $10 \mu\text{m}$ 程度にしましたが、実際には $1 \mu\text{m}$ 以下の大きさにする必要があります)
パターンの対称性から、この場合には3つの異なる配向状態が安定化されます。

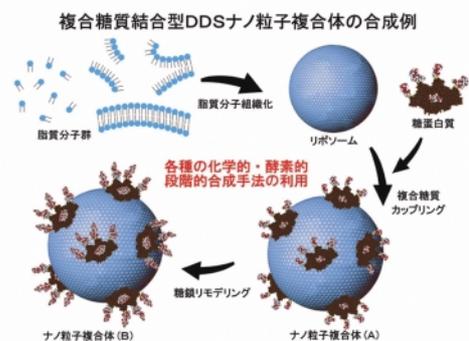


図4 糖鎖の細胞認識機能を活用する標的指向ドラッグデリバリーシステムの作製プロセス

カーボンナノチューブの産業応用を目指して

新炭素系材料開発研究センター 湯村 守雄

カーボンナノチューブを初めてとするナノカーボンには、従来材料では到達し得ない電気伝導性、熱伝導性及び機械的強度を持つとともに、その構造の多様性に伴ってその特性値の取り得る範囲も非常に広い材料です。その応用は化学的、電氣的及び機械的分野等広範に亘り、21世紀において材料ナノテクノロジーの中核となる基盤材料として期待されています。新炭素系材料開発研究センターでは、ナノカーボンの持つ優れた特性を引き出し、IT、環境、バイオ等の広範な産業分野での革新的製品の創出へと繋げ、我が国の産業競争力の強化に貢献する事を目的として研究活動を行っています。

1 ナノカーボン技術プロジェクト

ナノカーボン技術プロジェクトは、平成18年度までの5ヵ年計画として、産総研他、民間企業8社・1団体と4大学が参加し(図1)、ナノチューブの量産化技術と幅広い応用研究を進める予定で、平成14年10月にスタートしました。そして、平成15年度からは、経済産業省の経済活性化プロジェクト「フォークス21」の一つに組替えられ、ナノ

チューブを電極に用いた小型・軽量・長寿命のモバイル型高性能燃料電池の開発とナノカーボン材料をLSI配線に用いた電子デバイス応用技術の二つを重点開発テーマとして、開発を加速的に推進することとなりました。

新炭素系材料開発研究センターは、ナノカーボン技術プロジェクトの全てのテーマに参画し、活発に研究活動を展開しています。ここでは、トピックスとして、量産技術での触媒開発の成果と、構造評価技術での超高感度電子顕微鏡の成果を紹介します。

1-1 大量合成のための触媒の開発

ナノチューブの大量合成法において、鍵となるのが触媒です。当研究センターでは、二つのタイプの触媒を開発しました。一つは、ナノメートルサイズの金属超微粒子触媒です(図2)。この触媒はナノメートルサイズでありながらその調製できる金属の多様性、複数の金属を組み合わせたことが可能等の多くの利点を持つ優れた新規触媒です。この触媒はナノカーボン技術プロジェクトにおいて、日機装(株)が開発中の気相動法プロセスにおいて使われてい

ます。もう一つは、1nm程度のナノ粒子を安定的に保持するために触媒担体を用いる方法です。この触媒は同じくナノカーボン技術プロジェクトにおいて、三菱重工(株)が開発中の流動床法において使われています。

これらのプロセスで合成したナノチューブは、プラスチックに混ぜて電気伝導度や、熱伝導度、機械的強度の特性を改善するほか、新たな触媒材料、光学材料、ガス貯蔵材料としての用途の開発が精力的に進められています。

1-2 超高感度電子顕微鏡

これらナノカーボン技術の開発を支えるのが、サブナノスケールの精度をもって、ナノカーボン材料の原子配列、元素同定及び電子構造の情報を得ることのできる高感度高分解能電子顕微鏡の開発です。当研究センターで保有するサブナノメートル領域構造解析システム(図3)をベースに改造を行い、ナノカーボン上の原子1個の観察に成功しています(AIST Today 2003.9掲載予定「電子顕微鏡とナノチューブを使って単分子、単原子を見る」新炭素系材料開発研究センター 末永和知 参照)。

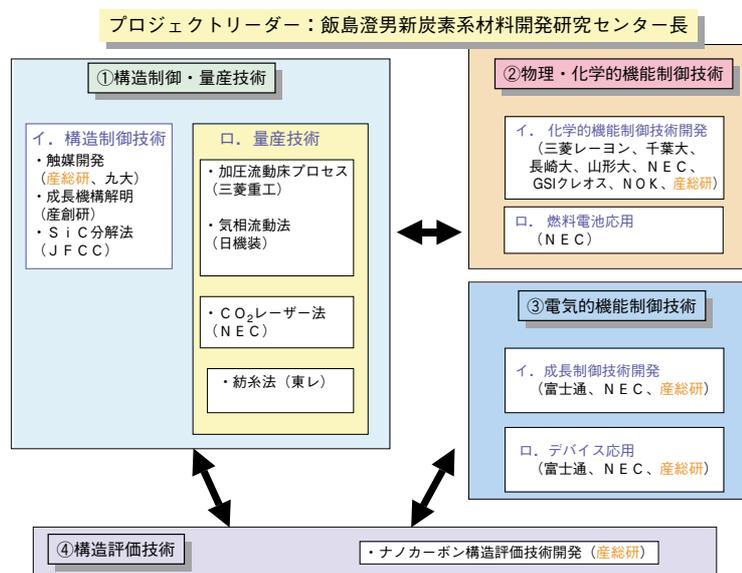


図1 ナノカーボン材料技術プロジェクト

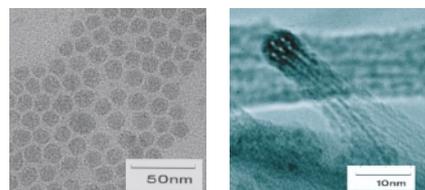


図2 新炭素系材料開発研究センターで開発した微粒子金属触媒(左)とそれを用いて合成した単層カーボンナノチューブ(右)

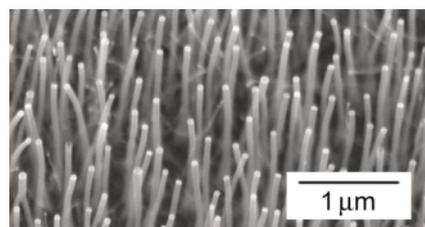


図4 基板に垂直に成長した配向多層ナノチューブ

2 カーボンナノチューブ 応用の更なる展開

バルク(大量)利用から単一のナノチューブの特性利用へ

ナノチューブの研究が進展するにつれ、バルクのナノチューブの利用法(複合樹脂、FED等)から、ナノ加工技術と組み合わせた一本一本のナノチューブの特性の利用に研究はシフトしています。

2-1 エレクトロニクス 技術への展開

従来のシリコンを用いた半導体を凌駕する新しいナノチューブトランジスタとしての応用が期待されます。当研究センターでは、これまで蓄積した触媒技術、ナノチューブ合成技術を、このナノチューブデバイスの実現に向けて研究を実施しています。ナノメートルサイズの触媒微粒子をシリコン基板でアセチレンと反応させることにより、図4に示すような基板に垂直に成長した配向膜ナノチューブの合成に成功しています。この配向膜は電界放出型ディスプレイの電子源としての応用が期待されています。

この技術を更に発展させ、ナノチューブデバイスの実現のため、より

精密な成長技術の開発に取り組みました。当研究センターでは、レジスト材料に触媒を混ぜ、リソグラフィ技術で触媒パターンを形成するなどして、ナノチューブの成長が選択的に行えることを示しました(図5)。このような触媒反応を利用した微細配列化の開発により、ナノチューブを基板上で格子状に配列させて超微細な不揮発性メモリや電界効果トランジスタなどの実現が可能になります。

2-2 バイオ技術への展開

カーボンナノチューブは炭素100%で出来ており、細胞等の生体とのなじみが良く、そして、ナノチューブの電子デバイス応用のために開発した精密成長技術、位置・方向制御技術は、バイオ分野での様々な分野での応用の可能性を持っています。

例えば、走査型プローブ顕微鏡(SPM)の探針として、ナノチューブは優れた特性を持っていますが、分解能等で従来のSPMの限界をうち破るものと期待されている他、細胞操作技術への応用に大きな期待が集まっています。ナノチューブを化学修飾し、色々な分

子を接合し、DNA分離、蛋白質識別機能を持たせることが可能です。さらに、ナノチューブの内部空間を利用したドラッグデリバリーシステムの開発等にも期待が集まっています。

更なる発展に向けて

当研究センターが有するカーボンナノチューブ等のナノカーボン創製・加工技術と、産総研の他の研究ユニットが有するナノマテリアル加工技術、細胞組織プロセッシング技術等を融合すれば、更なる発展が期待できます。これらの技術の融合により、ナノカーボンの持つ優れた特性を引き出し、IT、環境、バイオ等の広範な産業分野での革新的製品の創製が期待されます。そしてこれらの研究活動の結果、我が国の産業競争力の強化に貢献する事を目的とする大規模なナノカーボンビジネス拠点を産総研内に構築出来ればと願っています。

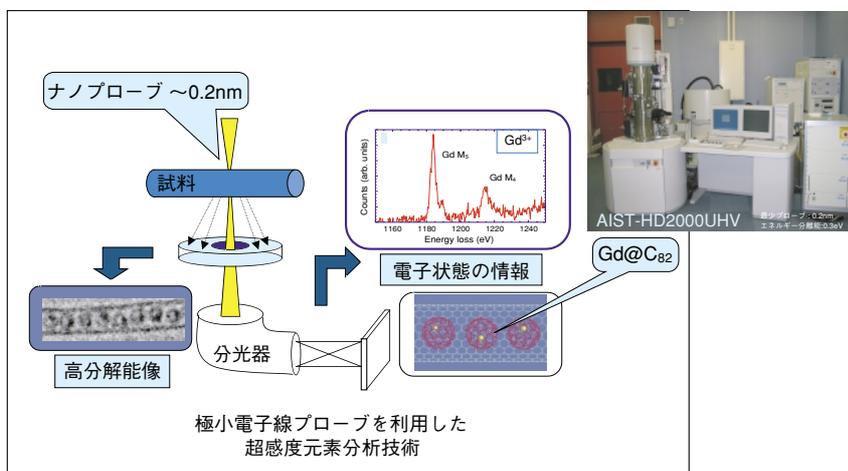


図3 新炭素系材料開発研究センターで開発したサブナノメートル領域構造解析システム

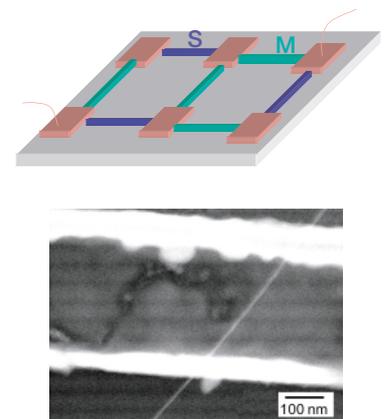


図5 カーボンナノチューブで演算機能の実現

カーボンナノチューブデバイスの模式図(S:半導体ナノチューブ、M:金属的カーボンナノチューブ)とリソグラフィ技術で作製した触媒パターンによるナノチューブ(触媒パターンの間を交差する単層ナノチューブ)