

B スーパーサイエンス基礎報告

1 2年生特別講演

1.1 第1回（化学分野） 「小さな世界の大きな『ものづくり』スペース ナノテクノロジー」

(1) 研究開発の概要

本校では昨年度（平成15年度）後半から、生徒の学習状況に応じたSSH教材の開発に取り組んでいる。平成16年1月に「ナノカーボン材料」の実験授業を3回に渡って実施したが、それは炭素の同素体であるダイヤモンドやグラファイトの構造から出発できる形に工夫して展開を試みた。それに引き続き、今年度（平成16年度）は、酸化還元・電池・電気分解の学習を基盤として、燃料電池の教材を開発した。今回は生徒の学習中の無機物質分野からガラスを題材にして、ガラスにおけるナノテクならびに燃料電池用の導電性ガラスを研究している名古屋工業大学の野上政行教授に講演をお願いして、この分野の最先端の状況を紹介していただいた。

(2) 仮説（ねらい、目標）

この特別講演により、授業での学習と大学での研究のつながりを実感するとともに、昨年から取り組みに共通する部分を認識することで、SSHで学習していることが有機的なつながりを持った知識として生徒の中に定着することをねらいとした。

(3) 研究の方法および内容

ア 対象生徒

2年生理系生徒全員（約240名）

イ 実施日時

平成16年7月9日（13時30分～15時30分）

ウ 実施内容（講演要旨）

「小さな世界の大きな『ものづくり』スペース ナノテクノロジー」

はじめに

IT機器の小型化・高速大容量化が非常な勢いで進んでいる。今後とも、技術革新を行い、より使いよくて、安価な製品を作り上げていくためには、メモリの加工精度を極限にまで上げて集積度向上の努力をしていかねばならない。ギガビット（ 10^9 でG、注参考）までは実用化できそうであるが、それ以上になってくると、全く新しい技術が必要である。

このような要求に答えるとともに、新製品を作り出す可能性があるとして、脚光を浴びているのが、ナノテクノロジーである。ここでは、ナノテクについての事例を示しながら、その可能性について、お話をします。

ナノとは

ナノは 10^{-9} の意味で、十億分の一の単位である。ナノテクノロジーは、このような大きさ、あるいは時間の単位で仕事をさせようとするものである。

例えば、コンピュータは、ナノ秒の計算処理能力があると言えば、1秒間に十億回もの計算をしてしまうということである。その計算は、シリコンへの電流のon—off（0、1に対応）であり、実際には電子を動かしている。1mm角のSi結晶についてみると、そこには約 5×10^{19} 個のSiが存在することになり、 7×10^{20} 個の電子が入っていることになる。メモリチップの加工技術の進歩により、



野上教授の講演

微小電流の on — off で（すなわち電子の移動）計算動作が可能になってきたが、まだまだ無駄な電子を使っていることになる。そのために、長時間使っていると温度が上がってくる。もし、一個の電子で on — off が可能になれば、究極のコンピュータができるはずである。

ナノテクとは、可視光の波長(400~800nm)よりはるかに短い 10nm 程度の大きさを精度よく加工することで、新しい優れた材料を作ろうとするものである。



図1 CdTeコロイドの発色の違い



図2 教会のステンドグラス

サイズ効果

図1の写真を見ていただきたい。化合物半導体の一種である CdTe 粒子をアルコールに懸濁した一種のコロイド溶液です。同じ物質であるのに色は全く違う。着色や発光も、光エネルギーと CdTe 内の電子の動きで決まり、大きさが、nm 程度にまで小さくなれば、そこに入っている電子の動きが制限されるようになる。その動きが粒子の大きさに決まってくるのが分かりました。このことは逆に、大きさを変えるだけで、性質の異なったものが作れることを意味しています。

古くて新しいナノテクノロジー

このようなことは、何世紀もの前から、すでにあり、技術を駆使して作られていました。その例が、教会等で見られるステンドグラスの色合いを引き立たせているのが赤色です。これは10nm程度の大きさの金のナノ粒子をガラスの中に入れたものです。透明なガラスの中で輝くさまは、幻想的でもあります。この技術は門外不出として、ベネチアガラスへと引き継がれています。

ナノテクとして多くの人の注目を集めるようになってきたのは、「ナノを視ることができる」、「ナノを作り、操作することができる」ようになったことによります。「ナノを視る」技術として、電子顕微鏡、原子間顕微鏡、近接場顕微鏡などの発展に因るところが大きい。また「ナノを作る」技術として、ガスや液体状態を反応場にしたナノ合成装置が作られるようになってきたことが大きく作用しています。

ナノテクノロジー研究

原子が 10^{10} とか 10^{20} 個集まった固体（バルクと言う）ではなく、 $10^3 \sim 10^5$ 個程度の集合体になると、バルクとは非常に異なった性質を示すようになります。そこで、その性質を調べ、新しい材料として利用しようとする研究が注目され、ナノテク技術が目白押しに出てきました。

ナノテク研究の本質は、全く新しいものの発見・発明にあるのではなく、ナノを見る目・作る技術によって再認識された要素が高いのです。そのために、電子部品や医薬などの業界からも、新製品の開発が期待できるとして高い注目を得ながら、産学官あげてのプロジェクトが進められています。

わが国においても、2001年からプロジェクト研究が始まっています。「物質をナノレベルで制御することにより、物質の機能・特性を飛躍的に向上させ、また、大幅な省エネルギー化、大幅な環境負荷低減

を実現し得るなど、広範な産業技術分野に革新的発展をもたらし得るキーテクノロジーである「ナノテクノロジー」を確立し、得られた成果等の知識の体系化を図ることで、我が国の産業競争力の源泉として、我が国経済の持続的発展に寄与する技術的基盤の構築を図る」とその目的を記しています。

ナノ構造を特徴とする物性や機能を解明し、新しいナノ材料を探し出すとともに、ナノ加工・計測技術を開発することで、新産業の創出と国際競争力の増進を図ろうとしています。材料としては、カーボン（カーボンナノチューブとして有名）、メタル、高分子、ガラスなどが取りあげられています。

我々のナノテク研究

ガラスは、最も古くから使用されている材料のひとつです。しかし、光ファイバーを使った光通信によるIT化時代を実現させたものもガラスであるといっても言いすぎでないほど、多くの可能性を秘めています。

ガラスは、「光学的に均質で、光を良く通す・硬く、化学的耐久性が優れている。いろいろな形に作りやすい」といった性質を利用して、窓材や容器として利用されてきました。

ナノテクとは無縁のように思われるでしょう。しかし、このような特性を究極にまで高めて作られたのが高純度の石英ガラスで作った光ファイバーです。ここでの信号の担い手は、電子ではなく、レーザーから出た光です。光の超高速性（ $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ）が利用できますし、電気信号で問題となる電磁的なノイズを心配することはありません。銅線のおよそ1万倍の量を同時に送ることができ、今や、日本全国を網状に走る基幹の通信網や国際間の通信を担う海底ケーブルは、すべて大容量の情報を伝える光ファイバーに置き換えられました。



図4 光ファイバー



熱心に光ファイバーを見る生徒達

さらに特徴的なガラスの性質は多種多様な元素を溶かし込むことが出来ることであり、水のような性質をもっています。ガラスは固体でありながら、液体としての構造・性質を備えています。このような一見矛盾した特異的な性質を活かすことができれば、まだまだ、エレクトロニクスやオプトエレクトロニクスの関連分野で求められる新しいガラスが作れる可能性があります。

我々の研究室では、電気伝導性を持ったガラスの研究・開発も行なっています。もともとガラスは典型的な絶縁体ですが、ナノテク技術を用いることで、電気を通すガラスになり得ます。一見、非常識な研究のようですが、完成すればエネルギーや環境問題に一石を投じることになります。

ここでは、ナノメートルの大きさの孔をもったガラスの作製を行っています。ガラスは通常、原

料を1500℃もの高温に加熱して、一旦、液体にした後、冷却して作られるが、我々のものはそうではない。室温で、原料をアルコールに溶かすなどして、ガラスの骨格構造を作り、その後、余分なアルコールなどを飛ばし、500℃ぐらいで加熱するだけです。そのとき、ガラスに1～5nm程度の気孔が形成される。ナノ細孔をつくるのに必要な方法の開発に苦労したが、ガラスを作ることにについては、高温を必要とせず、省エネ的でもあります。

作ったガラスの電気伝導度は、室温でも0.1S/cm程度と非常に高い。通常のガラスのそれは、 10^{-15} S/cmであるから、その高さは際立っている。しかも電気を通すのは電子でなく、水素イオンであることが特徴であり、燃料電池に使える。

よく知られるように、燃料電池の開発は、環境問題、エネルギー問題を解決するための手段として、その開発が急がれています。燃料電池は、水素と酸素を原料にして、その化学反応でもって、電流を取り出そうとするものです。

その排出物は水だけで、環境汚染に対して負担の少ないエネルギー源です。この反応から分かるように、電子が流れて発電し、一方、プロトンのアノードからカソードに移動させる隔壁（電解質）が必要で、プロトンをできるだけ早く移動させる材質でなければなりません。現在、燃料電池の電解質として、フッ素樹脂系高分子（ナフィオン）が用いられている。プロトン伝導度は高いものの、熱的安定性や化学耐久性に劣るために、これに替わる材料開発が望まれています。

ガラスは無機質であるので、高分子に比べ、熱や化学的な安定性に優れた性能を示すことから、次世代用電解質として期待されています。

ここに紹介したのは、私の研究室で、ここ数年間の間、手がけている研究の一例です。まだ見たこともない新物質を探し出す道もあります。一見、古そうな材料でも、追究心を研ぎ澄まし、楽しくやれば、まだまだ新しい成果も出てきます。材料工学とは、そのような分野です。

環境・エネルギー面で様々な問題を抱えています。それでも、持続的に発展する社会を作り出していくための材料工学への期待と責任は大きい。

(4) 検証（事業実施による成果）

今年度の特別講演においては、その講演のための事前授業などは行わないため、生徒はいきなり大学の先生の講義を聞くことになる。それだけに、レディネスの問題が避けては通れない。

そこで、はじめにも書いたように生徒の日常の学習ならびに、これまでのSSHの取り組みが有効に機能していることが求められるし、またそのことが生徒の反応から浮き彫りにされると考えられる。

実施後の生徒のアンケートによると、80%近くの生徒が、講義は面白かったと答えている。また同じ割合の生徒が、講義の内容が高度であったと感じていることから、内容の難易にかかわらず生徒が興味・関心を持っている様子が窺われる。またこの講義の内容が、今までのSSH講義に関係していると思った生徒は84%おり、過去の講義・実験との関連で、大学の先生方の講義を理解しようとする態度が顕著に見られる。

その一方で、講義の内容を自分なりに理解できたと答えた生徒は60%、また関連事項を自分で調べてみようと考えた生徒は33%にとどまった。

これらの結果から、当初の目的は十二分に達成できたと考えられるが、また違う問題点が浮き彫りになってきた。それは講義や実験の理解を進めていっても、そのことを切っ掛けにして生徒が自分で調べて興味関心の幅を広げていこうとする意欲につながらないことである。

先回の燃料電池に関する実験・講義後のアンケートでも、自分で調べてみようと思えた生徒は約30%に止まっている。今後、どのようにして講義や実験の理解を意欲喚起に結びつけていくか、その具体的な方法論の創出が急務である。