

化学と物理の間の研究



若 者

上 松 太 郎*

Research works between chemistry and physics

Key Words : physical chemistry, quantum dots

1. はじめに

私の研究者としての生活は、大阪大学工学部応用自然科学科で化学を学んだ後、現在も所属している応用電気化学領域に入ったところから始まるが、それ以前の話にも少しだけ触れておきたい。小さい頃より科学に限らず、身の回りにある機械の仕組みに大変興味があり、よく一般向けの書物を見つけては読んでいたことを覚えている。大好きな理数系科目とは裏腹に、幸い英語は別だったが国語・社会科といった文系科目が受験に悪影響を及ぼすほどに苦手であり、それらから解放された大学時代がまるで天国のように感じられたものである。

大学の講義は、どちらかという記憶が中心の高校化学や物理と異なり、ものの本質を学ぶものであると思う。例えば熱力学を勉強し、エントロピーや自由エネルギーの概念を理解すれば、エアコンという機械がどういうエネルギーの流れを作り出すもので、どうして効率がよいと言われるのかということがわかるようになる。電池はなぜ使っていくと電圧が下がるのか、蛍光灯やLEDはなぜ光るのか、そもそも炎が明るいのはなぜか。昔から感じていた疑問が、「なんとなく」ではなく理論や数式とともにしっかりと理解できるようになる瞬間が楽しく思えた。しかしながら、有機化学、物理化学の分野において学部で勉強する知識のほとんどは、今から

50年以上前、場合によっては19世紀に提唱されたものがほとんどである。これらを理解して試験をパスするのに精一杯なのに、せいぜい数年勉強したくらいで最新の研究なんてできるのだろうかという漠然とした不安を抱えたのは確かであり、その疑問は今でも解決しない、というか至極真っ当なものであったと今になって思う。アイザック・ニュートンによるものであり、文献検索サイト「Google Scholar」のトップページでも日々目にする「巨人の肩の上に立つ」という言葉に対して、あまりにも進歩し細分化した現代科学においては、私自身あるいはこれから研究者になる後輩たちが、いかにして巨人の肩の上に乗るかを考えなければいけない時代に入ったのかもしれない。

2. 研究室配属

電池に強い興味があって希望して入った応用電気化学領域ではあるが、テーマ設定など一学生の思い通りになるわけもなく、「表面プラズモン共鳴 (SPR) を利用した電極反応の in-situ 分析」なるものに取り組みることになった。市販の SPR 装置に電極を組み込むところから始めたわけだが、幸か不幸か測定原理について誰も詳しく理解しておらず、手探りの状態で卒業研究に臨んだ。苦労の連続ではあったが最終的には修士の時代、論文に掲載されていた理論モデルをもとに Visual Basic を利用して SPR の曲線をシミュレートするプログラムを組み、それを使って実験結果を考察した上で学術論文としてまとめることができた。ちなみに今であれば複素数を扱う光学モデルの計算にそのような一般向けの言語は使用しないが、当時の私にそんなことはわからず、効率も悪いがとにかく必死であった。しかし何れともあれこの経験は研究に対する興味を掻き立て、その姿勢に大きな影響を与えたと思っている。また、触媒



* Taro UEMATSU

1983年3月生

大阪大学大学院工学研究科応用化学専攻
博士後期課程修了 (2010年)現在、大阪大学 大学院工学研究科 附
属高度人材育成センター 助教

博士 (工学) ナノ材料化学、電気化学

TEL : 06-6879-7374

FAX : 06-6879-7373

E-mail : t-uematsu@chem.eng.osaka-u.ac.jp

的に重要であるにもかかわらず、「表面は悪魔が創った」と言われるほど複雑で分析方法が限られ、その特性が未だに基礎研究の対象になるのが固液界面。この分野の論文を読み進めるうちに、何でも解明されているかのように感じていた化学の分野が、実はわからないことだらけであるということを知ることができた。

3. 半導体ナノ粒子について

その後、今のテーマである「コロイド状半導体ナノ粒子（量子ドットナノコロイド）」に出会った。これが非常に面白い材料で、光るのである。有機蛍光塗料だってブラックライトを当てれば光るじゃないかといわれるが、ここで重要なのはふつうの（バルク状態の）半導体材料にUV光を照射しても、常温で発光することはないという点である。これらの材料は、ナノ粒子化することで励起子が空間的に閉じ込められ、発光性再結合を起こしやすくなる。ところがこれを実現するためには、ナノ粒子の表面に再結合サイトとなる欠陥準位がなく、絶縁物質で覆われている必要があり、配位子やマトリクスがその特性に大きな影響を及ぼす。まさに「界面」を制御することが鍵である点において、先の研究とのつながりを感じてしまう。また、量子化学でシュレーデ

ィンガー方程式とともに習うように、狭い空間に閉じ込められた荷電粒子のエネルギーが大きくなる現象「量子サイズ効果」のため、粒子サイズによって半導体のバンドギャップが変化し、光吸収や発光色を連続的に変化させることが可能となる（図1）。有機・無機蛍光色素でも置換基や添加物の比を変化させてやれば蛍光波長を変えることは可能であるが、青から赤（CdSe）、緑から近赤外（CdTe）といった広い範囲にわたる波長制御を、単一の材料のサイズ制御のみで達成してしまうのは、半導体ナノ粒子蛍光体の大きな特徴の一つであると言える。しかしながら、その特性が化学組成と形状の両方に左右されるということは、材料としての「もろさ」も意味している。一般的に有機蛍光色素よりもはるかに高い光耐性を有するが、蛍光灯の内側に塗ってあるような希土類を含む無機蛍光体には及ばず、現時点でこれらと同じような使い方をすることはできない。それでも、最近では液晶ディスプレイのカラー表示用波長変換材料としての利用も見られ、その用途が広がっている。

4. 研究する上での難しさ

量子ドットの作製には複数のアプローチがあり、1つが我々のような化学的手法によるコロイド合成、その他に気相析出によって結晶格子定数の合わない基板上に粒子状物質を2次元的に析出させる自己組織化量子ドットや、リソグラフィーによるトップダウン的な手法もある。後ろの2つは物理分野の研究者が多く携わっており、はじめから材料として扱いやすい基板上に生成することもあり、量子ドットレーザーや次世代太陽電池を中心とした応用研究が展開されつつある。その一方でコロイドの方は大量合成を強みとし、蛍光体の開発という意味で一応の成功をおさめているが、その「量子化学的な挙動」を活かした研究が果たしてどれほどあるだろうか。化学を勉強してきた我々が、たとえば量子ドットアレイのバンド構造について新しい提案をするのは非常に難しい。一方で物理の側からは、溶媒や配位子が絡むコロイド状ナノ粒子が、設計通りに材料を製作できない、ややこしいものと見なされることがある。しかしながら、配位子を含めて総合的にその物性を操ることのできる化学的アプローチには大きな可能性を感じるわけで、我々がすべきことは何かと考え

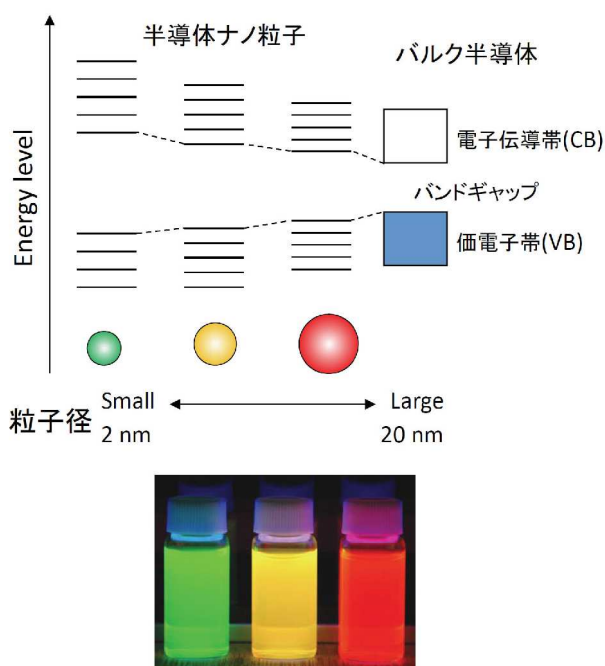


図1. 半導体ナノ粒子のエネルギーダイアグラムと蛍光発光するCdTeナノ粒子の写真

る。おそらくその1つの答えは、負の部分も含めて実験中に見られる個々の現象に真摯に向き合い、この材料に関する化学的な「曖昧さ」を無くしていくことである。異分野で理解が及ばなかったり、装置や設備の問題で必ずしも満足のいく測定ができなかったりと、色々な難しさを感じるテーマであるが、その電子・光物性が、電子顕微鏡やプローブ顕微鏡で観察できる大きな次元の変化に影響されるという点に、以前から素直な面白さを感じている。

5. 謝辞

本稿執筆の機会を与えて下さいました、大阪大学大学院工学研究科応用化学専攻の三浦雅博先生、ならびに「生産と技術」の関係者に深く御礼申し上げます。また、学生の頃より現在に至るまで熱心にご指導下さいました桑畑進先生と、研究室の皆様に感謝申し上げます。

