

# 大学で半導体をつくる



若 者

小 泉 淳\*

Semiconductor fabrication at university

Key Words : semiconductor materials, crystal growth, defects

## 1. はじめに

2012年1月より、大阪大学大学院工学研究科附属高度人材育成センター（マテリアル生産科学専攻兼任）の助教に着任し、半導体材料の結晶成長と、その光学的・電気的特性の研究・教育に携わっている。このたび、「生産と技術」に執筆する機会を頂いたので、大学でつくる半導体について、マテリアル科学の視点から、筆者の研究も交え、話を脱線させつつ述べる。

## 2. 日常生活に浸透した半導体

一般的には、半導体の研究といえば、電気系の学科・専攻で行われ、シリコン（Si）を使って電子回路を作っているというイメージが持たれていると思う。確かに、半導体が使われる代表的な発明は電気信号を増幅させるトランジスタ [1] であり、コンピュータを動かしているCPUの中身には、半導体を代表する材料であるSiが使われている。学部学生や大学のオープンキャンパスで、「半導体に使われる材料といえば何でしょうか?」という問いに対して、今のところ「シリコン」以外の答えは返ってこない。ところがよく見回すと、日常生活のそこかしこにSi以外の半導体も使われているのである。例えば、一般家庭にも普及が始まった発光ダイオード（LED）照明やディスプレイのバックライトには、

窒化ガリウム（GaN）系の半導体が使われている。これらは集積回路よりも頻繁に目しているはずなので、ひょっとしたら半導体であることが認識されていないのかもしれない。その他にも、携帯電話の電力増幅器にはInGaPとGaAsを組み合わせた半導体材料が用いられている。

身の回りではないところ、例えば、いつの間にか社会基盤として普及している光ファイバ通信網で使われる光源には、InGaAsP/InP系の半導体材料が使われ、モジュールの小型化、省エネ化が進んでいる。近年では、シリコンカーバイド（SiC）がエアコンや電車に搭載され始めている。筆者がAlドープ4H-SiCのp型伝導特性を研究 [2] していた数年前は、SiCの結晶成長をしながら、「いつかは電車にも使われるはず」と思っていたことが、今では現実のものとなりつつある。余談ではあるが、電車では、交流モーターを可変電圧可変周波数制御するためにGTOサイリスタ素子やIGBT素子などのSiパワーデバイスが用いられている。発車時や停車時に聞こえる励磁音に特徴があり、昔は耳障りな音であった。近年はSiパワーデバイスの発達によりスイッチング周波数を高くできるようになったため、耳障りな音はかなり軽減されている。Siに替わってSiCを使うことで、省エネ化や低騒音化がさらに進むことが期待される。SiCパワーデバイス搭載の電車は、東京地下鉄01系電車や小田急8000系電車の一部の車両、さらに来年には山手線の新型通勤電車E235系に使われようとしている [3]。関西では、阪急8000系電車の一部、調べた限りでは梅田側に8001と書かれている車両に搭載されている。発車音の違いは、「可変電圧可変周波数制御」や「阪急8001F」をキーワードに検索すれば聞き比べることもできるが、実際に乗って違いを比べてみてほしい。



\* Atsushi KOIZUMI

1976年12月生  
名古屋大学 大学院工学研究科 材料機能工学専攻 (2004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) 半導体工学、結晶工学  
TEL : 06-6879-7548  
FAX : 06-6879-7536  
E-mail : koizumi@mat.eng.osaka-u.ac.jp

### 3. 非日常にも広がる半導体

さて、日常から離れた分野でも半導体が使われる。筆者が学生時代に所属していた研究室では、理学部と共同で半導体超格子構造を使ったスピン偏極電子源の開発が行われていた [4]。スピン偏極電子源は、宇宙創成の謎に迫るリニアコライダー（線形加速器）や、スピン電子顕微鏡による磁区構造観察に使われる。当然のことながら、使われる半導体は、この用途のために材料選択がなされ、構造設計が行われるオーダーメイドである。材料には III-V 族半導体を使用していたので、試料作製には光デバイスと同じ技術が使えたものの、作製条件は大きく異なり、条件出しが必要であった。企業ではそこまで小回りのきく協力が得られにくいいため、大学が役立てる分野である。

身の回りの電子部品や社会基盤、素粒子研究まで、これまで使われていない特性に目を向ければ、半導体の応用範囲はまだまだ広がっている。その理由として、(1) 半導体となる元素の組み合わせは実は多く、さまざまな物性を持った半導体材料を利用できること、(2) 原子層レベルで結晶成長を制御できるようになり、量子閉じ込め効果やバンドエンジニアリングにより、物性そのものをある程度設計できるようになったことが挙げられる。半導体を研究する立場としては、優れた物性を持つ物質の組み合わせを掘り当てる目利きとなり、その優れた物性を最大限に利用する応用分野を開拓し、社会に還元したいと考えている。しかしながら、優れた物性を持っていたとしても、期待された性能が出ないなどの理由で、実用化の日の目を見ない（または年月のかかる）こともある。半導体材料の作製プロセスが未熟なために結晶欠陥や不純物の制御、あるいは、表面・界面がうまくできないことが原因のひとつであり、半導体分野でマテリアルを科学する大学の研究が役に立つことを意味している。また、新しい半導体材料でも、基本的な動作原理が Si などと同じデバイスを作ることはできるので、動作するデバイスを作り、その半導体材料が使えることを実証するのも、大学が担っている重要な役割となってきている。

### 4. 現在の研究 ～希土類添加半導体～

筆者は、希土類蛍光体の優れた発光特性と半導体の電気を流せるという特性を組み合わせ、希土類

添加半導体の研究を行っている。例えば、GaN に Eu を添加すれば、赤色 LED が実現できる [5]。GaN 系材料による光の三原色の実現可能性が示されたこととなり、モノリシック型高精細フルカラーディスプレイなどへの展開が期待される。現在は、更なる高輝度化に向けて、Eu 発光機構の解明を、特に電気的特性に着目して取り組んでいる。GaN に添加した Eu イオンに関して、全体の 80% 程度の Eu イオンは、GaN 母体からのエネルギー伝達効率が低いことが明らかとなっている [6]。エネルギー伝達効率は、Eu イオンが形成する欠陥準位への電子・正孔の捕まり易さに関係しているため、欠陥準位に捕獲される電子や正孔の評価は重要であり、光学的評価よりも電気的评价が得意とするところである。希土類蛍光体と半導体材料の融合を目指した研究分野でありながら、これまで電気的评价が行われていなかったことが不思議に感じるかもしれない。これは、欠陥や不純物を制御した試料を作製できるようになったことが大きい。今後は、Eu イオンの周りに不純物を配置した構造を意図的に作製して電子と正孔の捕獲を促進し、エネルギー伝達効率の高い Eu イオンへ転換できるかどうかひとつのブレークスルーとなり、実用レベルの高輝度化に達すると信じている。

### 5. おわりに

大学でつくる半導体は、オーダーメイドであるが故に、結晶成長からデバイスに至るまで、どの段階においても欠陥制御が関係してくる。誰も扱ったことのない半導体材料を結晶成長でつくるとなると、原料を選び、その毒性を調べ、何より安全に気を遣って装置の設計や組み立てを行う、意外に泥臭い分野である。

### 謝辞

本稿執筆の機会を与えていただきました大阪大学工学研究科の田中敏宏教授ならびに「生産と技術」の関係者の方々に感謝申し上げます。半導体の結晶成長や評価、デバイス作製に関して、学生時代、ポスドク時代を経て、現在に至るまでに所属してきた、名古屋大学、京都大学、電気通信大学、マンチェスター大学、大阪大学の研究室の皆様、及び、共同研究者の皆様々に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 半導体素子の歴史的な写真は、下記のスミソニアン博物館の Web サイトによくまとめられている： The National Museum of American History's Chip Collection, *The Birth of Modern Electronics, The Point-Contact Transistor* (<http://smithsonianchips.si.edu/augarten/p2.htm>).
- [2] A. Koizumi, J. Suda, and T. Kimoto, *J. Appl. Phys.* **106**, 013716 (2009).
- [3] 「新型通勤電車 (E235 系) 量産先行車新造について」、東日本旅客鉄道株式会社プレスリリース、2014 年 7 月 2 日 (<http://www.jreast.co.jp/press/2014/20140701.pdf>).
- [4] N. Yamamoto et al, *J. Appl. Phys.* **102**, 024904 (2007).
- [5] A. Nishikawa, T. Kawasaki, N. Furukawa, Y. Terai, and Y. Fujiwara, *Appl. Phys. Express* **2**, 071004 (2012).
- [6] R. Wakamatsu, D. Lee, A. Koizumi, V. Dierolf, and Y. Fujiwara, *J. Appl. Phys.* **114**, 043501 (2013).

