

# 新しい半導体の開拓と新規デバイス実現をめざして

末益 崇

数理物質科学研究科助教授

## Si系デバイス材料の開拓

研究室では、資源の豊富な元素から構成される新しい半導体を開拓し、それを使ってこれまでに無い新しい機能を持つ電子デバイスを作製しようとしています。

半導体は、その禁制帯幅の大きさにより、どのような用途で使われるか大体決まります。図1(a)は、従来使われてきた半導体を、図1(b)は資源の豊富な元素からなる半導体を示しています。資源の豊富な元素にこだわるのは、有害な元素が少ないためです。

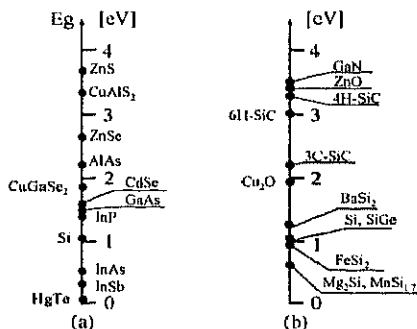


図1 (a) 現在よく使われている半導体、  
(b) 資源の豊富な元素からなる半導体。

また、そのような元素を使って半導体を作製することは、半導体産業が将来に渡り持続的に発展するために、不可欠な要素であると考えています。

実験は、まず新しい半導体薄膜を形成するところから始まります。研究室では、内部が超高真空 (~10<sup>-8</sup>Pa) になっている3台の結晶成長装置 (図2) を使い、分子線エピタキシー法という方法で半導体薄膜を形成しています。最終的には、それを実際に動作する電子デバイスに作り上げることが目標です。注目している材料の1つに、磁石の

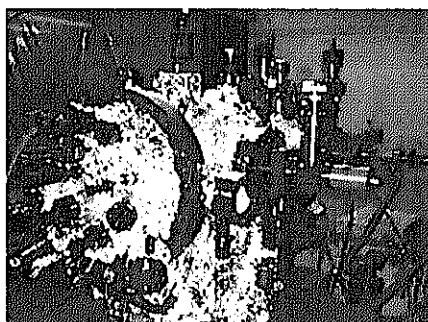


図2 結晶成長装置

代表格であるFeと、半導体の代表格であるSiの2つからなる $\text{FeSi}_2$ という半導体があります。今回は、これについて紹介させていただきます。

この材料は、Si系の半導体としては珍しく $1.6\mu\text{m}$ 帯で発光する性質を持っており、私たちの研究室で初めて室温で動作する発光ダイオードの作製に成功しました。この材料の面白さは、これだけに留まりません。FeとSiの2つの元素を使うと、 $\text{Fe}_3\text{Si}$ といった強磁性体も作製できるため、従来の電子デバイス(Si)に、光デバイス( $\text{FeSi}_2$ )と磁気デバイス( $\text{Fe}_3\text{Si}$ )を組み合わせることも可能になります。このことは、半導体デバイスに新しい自由度を与えるものです。私たちの研究は、この $\text{FeSi}_2$ という半導体をベースにして、Siの集積回路内にフォトニクスを導入しようというものです。どうしてこのような研究が必要なのか分かっていただくため、次に集積回路の現状に触れることにします。

私たちの身の回りにある殆ど全ての電化製品の中に、半導体を使った電子デバイスが使われており、その市場規模は、2004年で1950億ドルと予測されています。様々な半導体がありますが、市場規模で見るとSiはその9割を占めています。PCを使う人ならば一度は名前を聞いたことがある「CPU」や「メモリー」は、Siからできたトランジスタ

を集積したものです。その集積度は、素子の微細化により年々飛躍的に向上し(初期のPentiumには約300万個のトランジスタが、Pentium IVでは約5000万個のトランジスタが集積)、それとともに集積回路は高速化し、また、高機能化してきました。私が大学院生だった10年前には、CPUのクロック周波数が確か数MHzだったと思います。現在、研究室の学生が使っているPCでは、1GHzが普通ですので、随分と進歩したものです。この集積回路は、過去30年に渡り驚異的な発展を遂げており、情報処理の基盤デバイスとして、現在これに代わるものはありません。現在、爆発的な情報量の増加にともない、集積回路の情報処理の能力をもっと向上させることが求められています。集積回路内での信号(つまり情報)伝達は、トランジスタからトランジスタへ金属配線を使って電気信号を伝達することが基本になっています。微細化の進んだ集積回路では、この信号伝達のスピードにより、集積回路全体の動作速度が制限されているのが現状です。この影響を少しでも緩和しようと、最新の集積回路では金属配線が多層構造になっています。もし、電気信号を光信号に置き換えることができれば、集積回路のより一層の高速化と高機能化を達成できる筈です。つまり、集積回路内の演算は電子デバイスが担い、信号伝達は光が受

け持つという考え方です。そのためには、集積回路の母体である Si に発光素子を作り込む必要があります。しかし、集積回路は巨大なシステムとなっているため、単に発光素子ができたからといって、これまでの方式が変わるほど甘くはありません。実際に、これまで数多くの材料で研究されてきましたが、発光強度が弱かったり、また、既存の集積回路との集積に問題があったりで、未だ実用化されたものはありません。FeSi<sub>2</sub> も、ここ 10 年間で正念場だと考えており、何とかものにするために学生とともに汗を流す日々が続いています。

## 研究室をもってみて

次は研究室の運営についてです。これまで 8 年間一緒に研究してきた長谷川文夫先生（現、本学名誉教授）が、今年の 3 月末をもって定年で退官されたため、4 月から私が大学院生 6 人、四年生 3 人の研究室を引き継ぐことになりました。4 月からの半年間に私が学生に対して言ってきたこと、研究室を運営する上で感じたことを述べさせていただきます。

4 月になると研究室に新しい四年生が入ってきます。毎年のことながら彼らには特別の思いを持っています。彼らは研究室に新しい風を運んでくれる貴重な存在だからです。私がこの時期に心掛けている

ことは、研究室に入って来たばかりの彼らに、これからやろうとしている研究が如何に魅力的であるかを語ることです。これは、近いうちに、学生自らが進んで動いて学んでくれるようになることを期待してのことです。そのためには、私自身が熱中して取り組んでいる姿を彼らに見せることが大事だと考えています。また、彼らには、研究は定期試験とは違い、短期間努力すればそれなりの結果がついてくるようなものではないこと、但し、目を見開いて真剣に取り組めば必ず得るものがあることを言いました。そうはいうものの、四年生には 1 年で、マスターコースの大学院生には 2 年で到達できるような魅力的な研究テーマを考えなくてはなりません。では何がいいだろうか？ドクターコース以外の学生でも、情熱を傾けられ、「この卒論（修論）テーマをやりたい」と本気で思えるような課題を与える必要があると思っています。研究はやりがいがあってこそ面白いというのが私の考えです。また、大学で勉強や研究を行うために、税金や財団からの研究資金を使うこと、つまり、いい加減な気分で取り組んでもらっては困るということ等々、煩いくらいに言いました。今のところ研究室を出て行った者はおらず、大学院も私の研究室を志望してくれたようですので、この程度の小言ならば大丈夫のようです。

大学院生に対しては、研究費をもらって研究をさせてもらっている以上、外に対してアウトプットする（学会発表や論文を出す）責任があることを伝えました。このように言った手前、出来るだけ多く発表の機会を与えてあげたいと考え、関連する国際会議やシンポジウム等に例年よりも多くの学生を送り込みました。しかし、大学院生1人当たり年間3～4件学会で発表している、参加費と交通費だけで研究費を圧迫する勢いです。学生がそのような台所事情を察知したためか、8月頃からは、遠方であるにもかかわらず学会に青春18切符を使って参加し始めました。来年からは学会発表の機会をもっと厳選する必要がありそうです。また、研究成果を論文として発表するにしても、掲載料や論文別刷代が1本あたり約4万円かかりますので、年間に10本論文を出すとする、それだけで40万円もかかる計算になります。研究を行うにもお金がかかりますが、研究成果をアウトプットするにも、相当の費用がかかることを改めて思い知らされました。私一人で研究室を運営するには、数多くの予算申請書を自分で書き、外部資金を取ってくる必要があります。このような状況を考えると、研究室を2人で運営していた昨年度までの形態が羨ましくも感じられます。ただ、正直に言えば、萌芽的な研究においては一人でいた方が動き

やすいとも思えるので、どのような研究室の運営形態が好ましいのか、私の中でもまだ結論は出ていません。

（すえます たかし／半導体電子工学）