

# ZOOM<sup>in</sup> 研究室から

工学部  
電気電子工学科  
**澤野 憲太郎** 准教授  
工学博士



澤野 憲太郎(さわの けんたろう)

- 2005年 東京大学大学院工学系研究科 物理学専攻 博士課程修了
- 2005年 武蔵工業大学 助手
- 2008年 東京都市大学(旧武蔵工業大学) 講師
- 2011年 ミュンヘン工科大学 客員研究員
- 2012年 東京都市大学 准教授 現在に至る

●所属学会  
応用物理学会

●主な研究テーマ  
SiGe疑似基板の高品質化に向けた研究、歪みSi / Ge高移動度デバイス開発、Ge-CMOS、Geフォトリソに向けた技術開発、欠陥制御による歪みエンジニアリング



できあがった試料(デバイス)の測定の様子。うまくできているか、緊張の一瞬



丸泉先生(中央左)、澤野先生(中央右)と研究室の皆さん

## 半導体の進歩を止めないために

私たちの生活を支えるエレクトロニクスは、より高速に、より高機能に、まさに「飛躍的」といえる成長を遂げてきました。しかしこうした成長が限界を迎える危機が、実は目前に迫っていることを、皆さんは知っていましたか？

そんな半導体進歩の停滞という問題に立ち向かい、国内外から大きな注目を集めているのが、澤野憲太郎先生の研究です。電子や物理の関係するかなり難しい内容ですが、都市大にとっても産業界にとっても大変意義深い研究であるため、できるだけわかりやすく解説します。

LSIなどの半導体集積回路は、ある面積の基板(チップ)上に、電子を選択的に通すスイッチのような素子や回路が無数に並んだ構造をしています。最近では一つのチップ上に並ぶ素子は100億個に達するものもあるとか。こうした素子や回路をできるだけ小さく作り、より多く載せる(集積する)ことで、これまで半導体集積回路は飛躍的な性能向上を果たしてきました。インテルの創業者の一人、ゴードン・ムーア博士は、50年近く前に「半導体の集積密度は18~24ヶ月で倍増する」と予測しましたが、これがエレクトロニクスに関連した多くの産業が足並みを揃えて開発を進める、進歩の予定表(ロードマップ)のような役割も果たしてきました(「ムーアの法則」)。つまりこれまで「半導体の進歩」とは「微細化・高密度化」のことで

あり、その微細化のスピードは、さまざまな分野の技術革新のスピードに大きな影響を与えてきました。

しかしこうした素子や回路は、まもなく原子の個数を数えられるほどのサイズにまで到達しつつあり、そこまで小さくなると、本来流れるべきではないところに電流が流れ誤作動する、作る方法がなくなるなど、物理的に限界を迎えます。こうした限界にぶつかると、当然成長が止まってしまいます。これは大変な問題で、今やあらゆる産業のベースとなる半導体の進歩が止まると、全産業の進歩も止まりかねません。そこで世界中の多くの研究者が、微細化に頼らない半導体の性能向上の方法を、研究しています。

今回お話をうかがった澤野先生は、この分野をリードする研究者の一人。先生の所属する「量子・ナノデバイ

ス研究室」では、①半導体を流れる電子の速度を速くする、②半導体基板上に光を通す仕組みを作り、光の配線を実現する、という主に2つのアプローチを研究しており、これまでに大きな成果を出されています。

## 半導体の進歩を支える 決定打をめざして

半導体を通る電子のスピードは、基板となる材料(通常はシリコン)の原子配列を、広げたり狭めたりという「結晶歪み(ひずみ)」を意図的に作ってやることで変化することが、最近の研究から分かってきました。つまり、電子がよく流れるような状態に、歪みをうまく作ってやれば、半導体の性能は飛躍的に向上するはず。そこで澤野研究室では、独自の結晶化技術を駆使して、規則的に並ぶシリコンの原子配列に、シリコンより原子サイズの大きな「ゲルマニウム(Ge)」を結晶化させ入れ込むことで、原子の並びを意図的に変化させ、最適な歪みを人工的に作るようとしています。

微細化に頼らず半導体の性能を上げる一連の研究には、今のところは決定打といえる解決法はなく、新しく生まれる技術も、残念ながら一時しのぎにすぎないような現状があります。その中でゲルマニウムを利用した研究は、最低10年は安定的な進歩を続けていける決定打として、大きな期待が持たれてきました。とはいえ、シリコン基板上にゲルマニウムを添加して、高品質な基板として機能させることは大変難しく、シリコンとゲルマニウムの結合した結晶膜を何層も重ねて段階的にませあわせたり、うまく機能する層をチップ表面に集中的に作る技術の開発が必要となり、その分野で澤野先生は大きな強みを持っています。

また、単に電子のスピードを上げるだけなら、「ガリウムひ素(GaAs)」などの他の半導体を使う方法もありますが、ひ素などを含み、人体への悪

影響が懸念され、また資源の量も少ないため、工業材料としては大きな問題があります。またゲルマニウム自体を基板として使う研究者もいますが、コストや安定性の面で、こちらもあまり現実的とはいえません。そこで安全で安価、性質も安定しており豊富に存在する材料は何かというと、今まで半導体として長く使われてきた「シリコン」が圧倒的に有利。ですから澤野先生は、シリコンに何か相性の良い別の材料を微量加える方法に、常にこだわっています。

こうした研究内容が、この分野で実用性の高い研究と注目を集め、国の研究開発事業の中でも高い評価を得ています。

## 世界が経験したことのない 場面に立ち会う喜びを、 感じて欲しい

澤野先生は学生40名ほどの「量子・ナノデバイス研究室」の中で、さまざまな装置を駆使して実際にデバイスを作る「デバイス作製班」の指導が主なご



(上) 450 m<sup>2</sup>の広さを持つ、都市大総合研究所のクリーンルームでの作業の様子  
(右) MBE装置でとにかくよい試料を作ることが、この研究のカギを握る。メンテナンス作業は学生総動員



担当。丸泉琢也教授率いる、計算に基づいたシミュレーションを主に行う「シミュレーション班」、X線光電子分光法により評価を行う野平博司教授の「デバイス評価班」と協力し、半導体材料の結晶を成長させる「シリコン分子線エピタキシー(MBE)装置」や、人工的に歪みを生じさせたり意図的に不純物を入れるなどして、結晶の状態をコントロールする「イオン注入装置」などと日々格闘しながら、研究を行っています。この研究室では、電子の挙動を操る非常に難解な分野が研究テーマ。そこで澤野先生も、授業においては、練習問題を与えたり、模型を駆使したり、また授業以外でのコミュニケーションも大切にするなど、さまざまな手を尽くして学生の理解を助けています。

また学生に対しては、頭で考えるよりとにかく手足を動かすことを要求しますが、これは自らの経験上、この分野が「一度自分でやってみないと分からない」と強く感じるため。「受身で学んだ知識を大切にするより、むしろ必要な事をすばやく習得して、実際にやってみるほうが大事。とにかく世界がまだ体験したことのない事柄を、まさに今自分が解明しているんだということを、肌で分かってもらえれば」と常に考える澤野先生は、最近、夜も厭わず自主的にMBE装置を予約しにくる学生の姿に、確かな手ごたえを感じているそうです。