



京都大学 大学院工学研究科 教授

今回のSamco-Interviewは、京都大学を訪ね、工学研究科 教授の木本恒暢先生にSiC(炭化ケイ素)パワー半導体とSi(シリコン)ナノワイヤのご研究についてお話を伺いました。

ご研究内容、テーマについて お聞かせください。

いろいろなテーマを研究していますが、今回は二つご紹介します。一つはSiCを使ったパワー半導体の研究です。SiCは非常に結合の強い材料で、バンドギャップが広く、絶縁破壊電界がSiの約10倍という性質を持ちます。その特性を活かすと高耐圧かつ損失の少ない電力用の素子を作れることから、現在世界的に盛り上がっているテーマです。SiCの研究に関しては、先駆者である松波弘之先生の後を引き継がせていただいている。材料がSiのように完成したものではありませんので、材料の結晶成長からデバイスの設計まで幅広く研究しています。SiCを結晶成長させて、結晶の中にどういう欠陥が存在して、どのような物性を持っているのか、という材料科学の研究や、SiCに適したデバイス構造の考案とシミュレーション、実際にエッチングやイオンを注入してデバイスを作製して特性を解析するという研究までしています。

もう一つはSiナノワイヤの物理的な研究です。Siナノワイヤとは5~10nmという原子の数が数えられるくらい細い線のことです。その中で、電子や正孔といったキャリアがどのようにふるまうのかを明らかにするという研究をしています。これは単なる物理的な興味で研究しているわけではありません。半導体は微細化の限界が叫ばれて久しいですが(実際は限界だと言われながら、どんどん進化していますが)、ゲート長を微細化したときに生じる現象で短チャネル効果^{*1}という問題に直面

プロフィール

1986年 京都大学工学部電気工学第二学科卒業
1988年 京都大学大学院工学研究科
電気工学第二専攻修士課程修了
1988年 住友電気工業株式会社入社
(伊丹研究所研究員)
1990年 京都大学工学部 助手
1996年 京都大学 博士(工学)
スウェーデン国
リンショーピン(Linköping)大学
物理学科 客員研究員
1998年 京都大学大学院工学研究科
電子物性工学専攻 助教授
2006年 京都大学大学院工学研究科
電子工学専攻 教授

きもと つねのぶ 木本 恒暢 先生

しています。この短チャネル効果をいかに抑制しながら微細化するかが半導体業界の大きな課題なのですが、その一つの解決例として、FinFETというデバイスがあり、実用化が始まっています。そのFinFETの進化系がSiナノワイヤと考えられており、最後にはLSIの心臓部につながっていくのではないかと考えています。Siナノワイヤでは、通常のプレーナー構造に比べて短チャネル効果が桁違いに起こりにくいことがわかっています。

*1 短チャネル効果)チャネル長が短くなると、チャネル部のキャリアは、ゲート電圧だけではなく、ソースとドレインの空乏層の影響を受けてしまう。チャネル長が極端に短くなると、ソースとドレインの空乏層がつながってしまい、常時ドレイン電流が流れ。このような状態を「パンチスル」(Punch-through)と呼び、もはやゲート電圧によってドレイン電流を制御できなくなる。(EETimes Japan記事「微細化の限界に挑む、Siと新材料の融合で新たな展望も」より)

ご研究を始めたきっかけと 経緯についてお聞かせください

SiCの研究は恩師の松波先生が数十年前に始められました。私は企業に就職していたのですが、やはり基礎研究がしたくて1990年に大学に戻ってきました。その時に、一番難しいけれども完成したら世の中が変わりそうだと感じて「SiCの研究をさせてください」と松波先生にお願いした記憶があります。その当時は松波先生が大変すばらしい業績を上げられて、SiCの良い結晶ができるという目処は立っていました。しかし、それが本当にデ

バイスになるかはわかりませんし、SiCのパワー・バイスも世の中にはまだ存在していました。最初は、SiCの絶縁破壊に強いという特性から、高い電圧に耐える素子ができるだろうと漠然と思っていました。その後、Siと同じ耐圧の素子を作ると、動作時の電力損失を1/10~1/100にできることがわかり、これはインパクトがあるぞと本格的に研究を始めることにしました。結晶の高純度化や材料固有の性質の解明、電子移動度を上げるにはどの構造が良いかを考えたり、絶縁破壊に強いことを実証しようしたり、トランジスタを作るためにMOS構造の界面の物理的な研究をしたり、という方向に向かっていったのが90年代から2000年代でした。それから無事にSiの限界を突破して、10倍から100倍くらい高性能のダイオードやトランジスタが作製できました。

SiナノワイヤはLSIの短チャネル効果の抑制に使えるという論文は出ていました。ただそれを、実験して証明した人がいない。私たちの研究室では、断面サイズが7~15nm程度のきれいなSiナノワイヤを作ることができました。すると、単電子トランジスタの動作とは違う物理的な理由で、量子閉じ込め効果による独特的な振動現象(電流電圧特性)が見られるようになりました。そして、実測した形状を仮定して、電子がどういう状態で存在するか、またその状態で電子が走つたらどういう電流電圧特性になるかを理論計算して、実験とかなり合うところまで来たところです。

日頃のご研究において心がけておられる ことはどのようなことでしょうか?

「奇をてらわない」ということです。独創は大事だと思いますが、初めてだったら何でも良いのか?というとそれは違います。奇をてらえば、世界初の成果になる研究はいろいろあると思いますが、「奇をてらわない」の先には、成功した時に必ず王道になる、つまり、産業につながります。工学部の人間としては、それを目指したい。実用化されないおもしろい技術というのは世の中にたくさんありますが、大学であれば何をしても良いのか?というと、それは私の主義に合いません。研究がうまくいった暁には、かららず世の中で使える、社会貢献できるような研究テーマを設定したいというのが一つ。

もう一つは、大学は教育機関ですから、学生があるテーマを研究した時に、自分で考えて、その人が成長してくれるテーマかどうか?、ということを考えています。そのテーマで大変苦労させてしまった経験もあるので、

偉そうなことを言えませんが、学生がそのテーマを得ることで伸びるテーマかどうかということは必ず考えます。

今後のご研究の展望について お聞かせください

SiCに関してはパワー MOSFETが企業から製品として出るようになりました。電車のインバーター制御装置にも採用されていて、東京メトロに続き、今度は小田急線にも搭載されます。しかし、SiCの本当の良さは実はまだ出ておらず、ごまかしながら世の中に出てきています。結晶欠陥が多く本来の力は出でていませんが、幸いSiより特性が圧倒的に良いので、企業は使い始めるという段階です。例えば、SiCパワー MOSFETの酸化膜/SiC界面特性の問題は、本質的には何も変わっていません。ですから、これからの展望としては、酸化膜と半導体の界面を物理的に解明して、SiC本来の特性が出るようにする。もう一度、その基礎に戻って研究しようと考えています。あと最先端研究開発支援プログラム^{*2}で研究させていただいた、SiCでしか実現できない超高耐圧デバイスの基礎研究も継続していきます。スマートグリッドの要となる電力用のデバイスです。2012年に耐圧20kVのデバイスを実現ましたが、既に30kVは視野に入っています。将来的には50kVのデバイスを考えています。

Siナノワイヤについては、より理想的な量子細線に近づけようとしています。理論的な計算では、単に細くするだけでは逆に性能が良くないということがわかっています。よく論文で見るのは、断面が円形、正方形といった形のSiナノワイヤですが、試しに長方形のSiナノワイヤを計算してみました。単に形状だけのことですが、量子閉じ込め効果が縦方向と横方向に異なるので、正方形よりも縦長の長方形の方が、電子移動度が何倍も速いという理論予測が出てきました。それを実際に作って、実証してみたいという希望を持っています。

*2 最先端研究開発支援プログラム)新たな知を創造する基礎研究から出口を見据えた研究開発まで、さまざまな分野及びステージを対象とした、3~5年で世界のトップを目指した先端的研究を推進することにより、産業、安全保障等の分野における我が国の中長期的な国際競争力、底力の強化を図るとともに、研究開発成果の国民及び社会への確かな還元を図ることを目的とした、「研究者最優先」の研究支援制度として「最先端研究開発支援プログラム(FIRST(Funding Program for World-Leading Innovative R&D on Science and Technology)プログラム)」が創設された。木本先生は「低炭素社会創成へ向けた炭化珪素(SiC)革新パワー・エレクトロニクスの研究開発」の中心研究者。

サムコの装置をどのように
ご使用いただいているか?
また、ご感想をお聞かせください。

Siナノワイヤ加工時にサムコさんのICPエッチャ『RIE-110iP』を使っています。その装置のおかげで、きれいなナノワイヤができるようになりました。また、SiCに関しては、メサ加工時などに使わせていただいている。昔購入させていただきましたプラズマCVD『PD-220』も、様々な研究で幅広く使わせてもらっています。SiやSiC、GaN のデバイスの表面の保護膜やイオン注入するときのマスクとして成膜するなど、頻繁にルーティンで使わせていただいている。

感想としては、基本的に満足しています。比較的小型の装置でありながら、いろいろなレシピのモードがあり、充実しています。そういう点で初心者でも使いやすい。昔だったら細かい手順を書いた5ページくらいのマニュアルがあったと思いますが、サムコさんの装置は非常にわかりやすく、初心者が使いやすい装置になっていると思います。



座右の銘をお教えください。
また、ご趣味についてお聞かせください。

「信念」と「情熱」です。根底にあるのは負けん気ですね、自分がこれと決めたものについては負けたくない。そのために、自分の考えを信じて、あとは情熱で乗り越えるしかないかなと思います。

趣味は美術です。制作と鑑賞と両方ですね。制作に関しては、絵を描くこともありますが、焼き物を焼いたりします。もちろん毎日焼いているわけじゃないですが。学生のころから好きだったので、実際に制作しているのはここ10年くらいです。

最後にサムコに対して一言お願いします。

辻社長のリーダーシップは本当に素晴らしいと思います。ここまで企業を大きくされて、業界での存在感を年々高めていることには敬意を表したい。量産用の装置も大事だと思うのですが、大学の人間としては、省スペースで小型の汎用性のある装置も作っていただけるとうれしいです。

お忙しいところ貴重なお時間を頂き、
誠にありがとうございました。