

# Samco-Interview



千葉大学 大学院工学研究科人工システム科学専攻 教授

## 吉川 明彦 先生

### プロフィール

1947(昭和22)年 埼玉県生まれ  
1969(昭和44)年 千葉大学工学部電気工学科 卒業  
1971(昭和46)年 千葉大学大学院工学研究科修士課程 修了  
東京工業大学工学部電子物理工学科 助手  
1976(昭和51)年 千葉大学工学部へ異動  
1977(昭和52)年 工学博士(東京工業大学)  
1981(昭和56)年 千葉大学工学部 助教授  
1990(平成2)年 千葉大学工学部(現工学研究科) 教授  
1999(平成11)年 千葉大学電子光情報基盤技術研究センター長  
北京大学物理学科 客員教授  
2006(平成18)年 日本学術振興会ワイドギャップ半導体  
光・電子デバイス第162委員会委員長  
2008(平成20)年 応用物理学会 フェロー

今回のSamco-Interviewは、千葉大学を訪ね、大学院工学研究科人工システム科学専攻の吉川明彦先生に高機能光デバイスのご研究などのお話を伺いました。

高機能光デバイスのご研究についてご紹介いただけますか。

窒化物半導体であるInN(窒化インジウム)を利用した新規構造光デバイスの研究を中心に行っています。GaN(窒化ガリウム)のバリア層の間にInNを1分子層ずつ入れた多重量子井戸構造によるLEDやレーザ、超高速光変調デバイスの実現などを目的としています。In極性やGa極性の+C極性成長、高温成長、広いプロセスウインドウを持つ非混和システム、自己規則化、自己停止機構などの特徴を活かして、高完全性のナノ構造を作り上げることができ、ターゲットとして緑色領域までの窒化物系半導体レーザの開発を目指しています。

ご研究を始められたきっかけと経緯についてお聞かせください。

私は修士の研究でCdTe(カドミウムテルル)というⅡ-Ⅵ族化合物半導体の発光素子を液相成長で作りました。これは赤外発光素子のため肉眼では見ることはできませんでしたが、結構よく光りました。ちょうどその頃に、可視光のGaP(ガリウムリン)の赤色LEDが出てきて発光デバイスに強い興味を持ちました。その後、東工大でⅡ-Ⅵ族化合物半導体のCdS(硫化カドミウム)の結晶成長の研究を行い、非常にきれいなファセットができるなど、光物性ととも結晶成長にも魅せられてしまいました。当時、赤や緑の発光素子はGaPで作れるようになってきましたので、青色発光素子が次の目標になり、Ⅱ-Ⅵ族化合物半導体での研究開発に取り組み始めました。千葉大に戻ってからは、日本では先駆的にⅡ-Ⅵ族用のMOCVD装置およびエキシマやアルゴンイオンレーザを使った光CVD装置を手作りし、光励起プロセスやMBEを含むエピタキシと光デ

バイス開発の研究を始めました。ZnSe(セレン化亜鉛)系の青緑色レーザをMBEで作りましたが、しだいにGaNを中心とした窒化物系半導体が台頭し、最終的にZnSe系Ⅱ-Ⅵ族半導体では寿命が持たないということで、窒化物系のワイドギャップ半導体に主力を移しました。ZnSe系と窒化物系の大きな違いは、窒化物系は六方晶であるためC軸方向に結晶反転対称性がないことです。そして、窒化物系半導体は結晶成長や物性が結晶極性に大きく影響されることに興味を持ち、極性に着目したGaNやInNの研究を始め、最近では1分子層のInNをGaNマトリクス中に+C極性で成長させた高い構造完全性を持つ光デバイスの研究を主要な研究課題の一つとして行うようになってきました。

昨年度で終了しました科学技術振興機構のCREST(戦略的創造研究推進事業)の研究成果についてご紹介いただけますか。

CRESTの研究は、「InN系窒化物半導体ナノデバイス/ナノプロセスの分子線エピタキシによる新展開」というテーマで、InN系窒化物半導体での極性制御をベースに、InNの特徴を活かしたナノ構造デバイスを作り上げ、それに必要なナノプロセスも開発することを目的に、平成14年度から足かけ6年間、今年の3月まで行いました。研究を始めた頃はエピタキシ制御も難しい状況でした。GaN系窒化物系半導体のエピタキシでは、一般に結晶極性はGa極性(+C)がよいと思われていましたが、極性転換や極性制御の研究から、我々はInNについてはN極性(-C)の方がIn極性(+C)より結晶成長温度を100℃高くできることを見出しました。光デバイスを作製するためには、窒化物系半導体どうして多層ヘテロ構造を作る必要がありますので、例えばGaNとInNを同

じ温度で成長させることが重要です。そして、高温成長が可能なN極性の方だと、InNをGaNと同じ温度でデバイス構造を作製できるということをお我々のアイデアの一つとしてCRESTで提案しました。エピタキシ制御を2年ほど行い、結晶極性の影響やコヒーレント成長の程度を調べる中で、当研究室の助教の崔さんの発案で、In極性あるいは+C極性成長を検討し、成長可能温度は低いですが、非常に平坦性の高い膜ができやすいということがわかりました。我々のターゲットの一つは、数分子層の非常に薄いInNを創製することでしたので、表面の平坦性あるいは界面の平坦性・急峻性が極めて重要です。それで+C極性の検討を始めました。InNとGaNでは格子不整合が11%もありますが、よく調べてみますと、1分子層程度であるとコヒーレントに成長することがわかりました。コヒーレントに成長すれば、結晶格子不整合に起因する欠陥が原理的には発生しませんので、完全性の高いヘテロ構造あるいは超格子構造ができます。一方、In極性ではN極性よりも温度が低く、実際には500℃くらいが限度ですが、1分子層ではInの結合しているNがGaと強固に繋がっており、そのマトリクス効果によって1~2分子層程度までであればかなり高温で成長できると考え、実際に700℃近くの高温成長に成功しました。非常に薄い1分子層のInNをGaNに挟み込んで構造完全性の高いものを作っているのだから、発光デバイスにするとは非常に高効率の発光が期待できます。この1分子層InN井戸層の提案と実証がCRESTの研究成果の一つです。

もう一つの研究成果は、InNのP型半導体の実現です。InNはN型半導体になりやすく、P型が実現できるかは危ぶまれ、実際には不可能ではないかとも思われてきました。我々は結晶成長制御を厳密に行い、残留電子の起源を調べ、それを極限的に減らすことに成功し

ました。Mgの添加濃度を非常に広い範囲で変えたサンプルを作り、電気化学的C-V特性で精密に評価しました。その結果、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^2$ から $3 \times 10^{19}/\text{cm}^2$ くらいまでP型に反転することがわかり、P型化が実現できました。さらにそれよりも不純物を増やしていくとInNの本来の物性を反映して、オーバードープによる欠陥がドナになり、再びN型に戻ることを見出しました。また、正孔の移動度も初めて伝導特性から求めました。さらに、GaNがそうですが、-C極性と+C極性では-Cの方が不安定で、容易に+Cに反転します。一方、+Cから-Cへの転換もいくつか例があり、Mgを過剰添加すると転換します。同様なことを我々はInNでも初めて見出しました。これらのInNのP型伝導実現と関連物性の精密評価がCRESTの大きな研究成果であると思っています。

サムコの装置はどのようなことにご使用いただいていますか。

随分昔にECR装置を購入しました。その後、ICPやRIE、プラズマCVD装置等を購入し、いくつかのグループと共同で使っています。1分子層のInNでは、レーザのデバイス構造でエッジのシャープなキャビティーを作る必要があり、その加工にICPエッチング装置を使っています。また、電極の作製での絶縁膜形成にプラズマCVD装置を使っています。CVD装置もICPエッチング装置も私たちの研究グループだけではなく他の研究グループもSAWデバイスや光導波路の作製に使っていますので、稼働率はかなり高くなっています。

今後のご研究の展望について教えてください。

1分子層のInNとGaNのマトリクス構造に関しては、特性や完全性の非常に高い構造が実現できていますので、目標である緑色の窒化物レーザダイオードを作る見込みはある程度つけられそうな感触を持っています。しかし、この発光特性の解釈は非常に難しく、実際に作る構造と光物性の合致的理解や光デバイスとしての展開のためにはどうすればいいかということがあります。幸い、当研究室のグループだけではなく世界中でこのデバイス構造に興味を持たれている方が多いので、最適なコラボレーションのチームを作って光デバイスとして展開させていくことができればうれしいと思っています。

産官学連携についてはどのようにお考えでしょうか。

私自身、千葉大学が産官学連携を始めたときのイニシエーターの一人であると自負しております。具体的には、ベンチャービジネスラボである電子光情報基盤技術研究センター



崔成伯助教(左はICPエッチング装置)

の立ち上げに携わりました。その関係でもサムコさんの社社長がベンチャーの先駆けとして活躍されてきたことを知っています。また、千葉市の産業振興財団でベンチャーカップの審査員を長年務め、千葉銀行のひまわりベンチャーにも協力しています。また、日本学術振興会のワイドギャップ半導体光・電子デバイス第162委員会の委員長を仰せつかっておりますが、これはまさに産官学の協力や連携を推進するための組織です。このようなところで今後も少しずつでも努力していくつもりです。ただ、文科省は大学発ベンチャーに強く期待していますが、非常に能力がありいいアイデアを持った大学の先生が、ベンチャーを立ち上げたことによってその会社の運営に追われてしまい、疲弊されている例も少なからず見えています。大学や大学教員が産官学連携やベンチャー立ち上げで貢献することは基本的には必要だと思いますが、どういう形で取り組むかはよく考える必要があると思っています。

先生のご趣味についてお聞かせください。

10年ほど前にテレビで紹介されていたのがきっかけで、サイクリングを始めました。非常に爽快で、研究室の学生も誘って楽しんでいます。研究室の行事として、1年に最低1回は片道30kmほどの佐倉まで行ってバーベキューをしており、つい先日楽しんできたところです。また、あまり自由な時間がありませんが音楽鑑賞が好きで、研究は半導体ですが、真空管のアンプと少し大きなスピーカーで楽しんでいます。

最後にサムコに対して一言お願いします。

サムコさんの装置はコンパクトな設計でありながら高性能で使いやすく、また、国内外の大学などでも皆さんが便利に使われている様子を拝見しています。学生たちが使っても非常にわかりやすく、インターロックにも気を使っていただいで、ユーザーの立場に立った装置を提供されているといつも感じています。

お忙しいところ貴重なお時間をいただき、誠にありがとうございました。