



## プロフィール

- 1976年3月 北海道大学 工学部  
電子工学科 卒業
- 1978年3月 北海道大学 工学研究科  
電子工学専攻 修士課程修了
- 1978年3月 日本電信電話公社(現NTT)  
入社
- 1989年4月 NTT光エレクトロニクス研究所  
主幹研究員
- 1997年4月 NTT物性科学基礎研究所  
主幹研究員
- 2005年2月 東北大学 金属材料研究所  
先端電子材料学研究部 教授
- 2008年4月 東北大学 金属材料研究所  
電子材料物性学研究部門 教授

東北大学 金属材料研究所  
電子材料物性学研究部門 教授

まつおか たかし  
**松岡 隆志 先生**

今回のSamco-Interviewは、東北大学を訪ね、金属材料研究所 電子材料物性学研究部門の松岡隆志先生にワイドギャップ半導体材料の研究についてのお話を伺いました。

**先生は東北大学に来られる前にNTTにてご研究をされていますが基礎研究所時代のお話しをお聞かせください。**

NTTでの最初の仕事は、今、世の中で使われている光ファイバー通信光源の開発で、このレーザー光源を実用化することに成功しました。その後、青色発光ダイオードを作りたいと思い、青色に対応したバンドギャップをもつ窒化物半導体の研究を始めました。まずはじめに、高効率LEDを構成するために必須であるダブルヘテロ構造を実現するために、すでに研究されていたGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>にInとAlを加えた四元混晶InGaAlNを1987年に提案しました。1989年には、青色LED用の発光層として、窒化インジウム・ガリウム(InGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>)の単結晶の薄膜成長に世界に先駆けて成功しました。このInGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>の高品質化を進め、室温で青色のフォトルミネッセンスを観測することができました。キーポイントは、成長温度800℃、窒素原料であるアンモニアと、InとGaのIII族原料との比V/III比16000、および、III族原料の輸送用ガス(キャリアガス)として窒素を用いることです。これまでの半導体薄膜成長では、理想的な純化が可能な水素を使用してきましたが、ここで窒素ガスを用いた理由は、Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>とInNとの間の気相—固相間の窒素平衡蒸気圧P<sub>N</sub>にあります。すなわち、InNのP<sub>N</sub>はGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>より数桁高いわけです。通常の窒化物半導体成長においては窒素源としてアンモニアを用いており、水素分圧が高い場合にはアンモニアの分解が進まないこととなります。そのため、Inを含む混晶の成長には高い窒素分圧が必要になり

ます。また、半導体の薄膜成長では、雰囲気ガス中に酸素や水の存在を嫌うため、酸素と水を排除しなければなりません。しかし、青色発光ダイオードを作るときに、Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層、AlGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層、InGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層などの成長において、InGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>などのInを含んだ層だけは窒素ガスを使用しています。窒素キャリアガスをはじめ、ここで開発したInGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>の成長条件である成長温度やV/III比は、現在、マジックナンバーのごとく広く世の中で用いられています。

**現在のご研究を始められたきっかけと経緯についてお聞かせ下さい。**

窒化物半導体の研究以前は、通信用レーザーの研究を行っていました。従来から光通信光源は、フェブリ—ペロー型半導体(FP)レーザーでした。このレーザーは、波長の異なる複数の縦モードを同時に発振します。特に、直接変調時には顕著です。この光源で作製した光パルスを伝搬速度に波長分散のあるファイバーに通して、ファイバー射出端でパルスを観測すると、パルスが広がってしまっています。このため、高速通信のためにパルス間隔を狭くしたり、長距離伝送を行うと、前後のパルスの裾が重なってしまい、エラーが生じます。それを解決するためには、単一縦モード発振するレーザーを用いなければいけません。1982年に、光ファイバーの光吸収損失が最低となる波長1.55μm帯において単一縦モード発振する分布帰還型半導体(DBF)レーザーを、世界で初めて室温での連続発振に成功しました。システム実験を行い、光通信の高度化に有

用であることを明らかにし、システムの実用化を行いました。このDFBレーザーが、現在の大容量・長距離光通信を支えています。DFBレーザーの導入によって、FPレーザー時代の最大伝送速度400Mbpsから、1988年には1.6Gbpsになり、今では10Gbpsになっています。さらに、伝送速度100Gbpsの技術がすでに開発されており、2~3年後には実用化されます。

DFBレーザーの実用化後、電通公社に入所したときから研究したいと考えていた新材料や物性の研究に移りました。今まで、さんざん目に見えない赤外の世界で仕事をしてきておりましたし、今のDVD用ピックアップレーザーとして用いられているInGaAsPのレーザーをNTTの同僚が世界で最初に発振させる現場も見せておりましたので、ワイドギャップ半導体を研究対象として選択しました。その手始めとして、青色発光を目指しました。その青色発光用材料として、窒化物半導体であるInGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>を選択したわけですが、当時、ZnSeを代表とするII-VI族材料も考えることができました。しかし、II-VI族材料の研究の歴史は長く50年以上研究している研究者もおられましたので、新参者では無理と考え、研究人口の極めて少ない窒化物半導体を選択したわけですが。

現在は、InGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>の延長上にありますInNのエピタキシャル成長に関する研究を行っており

**開発に関するエピソードがあればお聞かせください。**

InNの開発のお話です。

Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>にInを混ぜ、InGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>の単結晶薄膜の成長を行っていました。In組成としては、最大42%まで得ることができました。光の吸収によって、そのバンドギャップ・エネルギーを測定したところ、それまでに報告されていた多結晶InNのバンドギャップ・エネルギー2eV前後にほぼ等しいことが分かりました。1989年に発表した論文の中に、「単結晶InNのバンドギャップ・エネルギーは、多結晶InNを用いて測定した報告値よりずっと小さいはずである」ということを予測しております。その後、ずいぶんInN単結晶薄膜成長を試みましたが、物性評価に耐えられる膜を得ることはできませんでした。光の吸収測定に耐えられる単結晶薄膜を初めて成長できたのは2001年でした。そのバンドギャップ・エネルギーは、それまで、予想していた橙色の2eV前後でなく、実際は0.7eV近くであることが分かりました。これは赤外域にあたります。また、材料の質が十分でなく正確なことは言えませんが、この材料の性質を詳しく調べてみると、光ファイバー通信光源において切望されている“バンドギャップの温度依存性が低い”という特性を有する可

能性を見つけました。この研究がさらに進み、温度安定性に優れた光源を得ることに成功すれば、飛躍的に通信容量を上げることが可能になります。

今、日本とアメリカの間には波長多重通信によって160Gbpsの高速通信が行われていますが、2~3年後に100Gbpsを達成できたとすると、Tbpsの超高速通信を達成できます。さらに、InNが我々の予想しているようにバンドギャップ・エネルギーの温度依存性が低いとしたら、これを10倍にすることも可能となりますので、10Tbpsもの超々高速通信ができるということになります。ピット当たりの光ファイバーのコストは伝送容量に反比例しますので、伝送容量を100倍にすることで、コストは100分の1になります。こうした技術の将来像を頭に描いて研究しております。

### サムコのICPドライエッチング装置『RIE-101iPH』はどのようにご使用頂いていますでしょうか？

我々は、サムコさんの装置をInNやGaNなど窒化物半導体のエッチングに使用しています。サファイア基板上に結晶成長してデバイスを作製する際、通常は、基板の上に結晶成長後、電極を基板裏面と薄膜表面に形成して電流を流します。サファイアは導電性がないので、n型電極を形成するために、p型層や発光層などの半導体層をエッチングしてn型を露出させる必要があります。このエッチング工程に『RIE-101iPH』を使用しています。また、レーザーの共振器の作製にも使用しています。こうした化合物半導体のエッチングの分野ではサムコさんの装置にしかできない部分があります。

### 松岡教授が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。

大学の研究室は“素人集団”だということを念頭においておく必要があると考えています。それは、大学の学生は私が育ってきた企業の研究所と異なり、“もの”の経験が極端に少ないためです。例えば、テレビゲームはやりますが、ゲーム機が一体どのようにできているのか、多くの学生は知りません。私は子供の頃、時計などをばらして親に怒られたのですが、動作原理を知りたかったためです。また、“もの”が貴重な時代に育ちましたので、自転車でいえば、ぼろぼろになるまで使った記憶があります。パンクは当然自分で直しましたし、ハブにはボールベアリングが入っていますが、これが擦り減ると自分でボールを交換しました。また、緩んだチェーンの調整も自分で行いました。こういったことは、我々の世代は自分で自然にやったものです。こうした経験を通して“もの”の構造を理解したり、“もの”に対する感覚が身についたりするのですが、今の学生はほとんどこうした経験をしていません。

同じように、道具の使い方が分からない、という

こともあります。例えば、ビニールチューブを切る道具がありますが、何を切る道具か知らずに硬いステンレス製パイプを切ろうとして、逆に刃先を欠いてしまったことがありました。

こうした、我々の常識では想像できないことが起こります。学生たちにしてみれば、“もの”に慣れていないため、加減が分からないのでしょう。我々は学生に様々なことを教えていますが、それは“経験”に基づいたものです。しかし、その“経験”をほとんど持っていない学生に対して、どのように教えるのか、ということが難しい課題です。

さらに注意しなければならないことは、安全管理です。“もの”は、いくら壊れてもやり直しがききますが、人の怪我は最も注意しなければなりません。また、環境汚染をしていないかという点にも十分配慮する必要があります。これらも“常に保護されてきた学生”に伝えることを心掛けております。

### 松岡教授のご趣味についてお聞かせ下さい。

私は120歳まで生きることを目標にしていますので、体力の維持には特に気を遣っています。趣味で続けているマラソンは、この研究室で私が一番早いと自負しています。フルマラソンにも10回ほど出場しています。また、北海道出身ということもあり、小さな頃からスキーにも親しんできました。50才近くになって、富士山の頂上からスキーで滑り降りたこともあります。雪崩の心配がなく、雪の締まったゴールデンウィークですが、研究室では毎年3月にいわゆる“追い出しコンパ”をしています。蔵王というスキー場へ行きます。スキー未経験者でも頂上まで連れて行き、私が腹ばいになりスキー板のトップを手で押さえながら、約4キロのゲレンデを下ります。これを一度経験すると、未経験者でも滑ることができるようになります。“滑る”という感覚が分かるからです。

### 5年後の夢は

私はエンジニアリングの世界で生きてきましたので、技術を活かしたオンリーワンの商品を開発したいと考えています。得たお金によって研究費や設備の購入資金を賄うためです。現在科学技術振興機構(JST)CRESTのプロジェクト『新機能創成に向けた光・量子科学技術』や『太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出』、あるいは他のプロジェクトから研究資金を得ておりますが、自分でも研究資金を稼ぐために、商売をする。これが、私の夢です。今後も体力の続く限り自分の好きな研究を続けながら、学力や研究力についてファンダメンタルズを備えた学生を世に輩出できればと思っています。

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。