



プロフィール

学歴	1989年 3月	大阪大学工学部電気工学科 卒業
	1991年 3月	大阪大学大学院 工学研究科電気工学専攻 修士課程 修了
	1993年 3月	大阪大学大学院 工学研究科電気工学専攻 博士課程 中退
職歴	1993年 4月	大阪大学工学部 助手
	1998年 4月	大阪大学大学院工学研究科 助手
	1999年 5月	大阪大学大学院工学研究科 講師
	2000年 10月	大阪大学大学院工学研究科 助教授
	2005年 4月	大阪大学大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻 助教授
	2007年 4月	大阪大学大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻 准教授
	2007年 5月	大阪大学大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻 教授

大阪大学 大学院工学研究科
電気電子情報工学専攻 教授

もり ゆうすけ
森 勇介 先生

今回のSamco-Interviewは、大阪大学を訪ね、大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻 教授の森勇介先生にワイドギャップ半導体の結晶成長のご研究についてお話を伺いました。

▶ 結晶化技術の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

学部の4年生の時に与えられたテーマがCVDダイヤモンド薄膜でした。これは結晶といえば結晶ですが、その時は結晶と意識せず、半導体の研究と思っていました。その研究がおもしろくて博士課程に進み、2年生の時に指導教授に助手にならないかと誘われました。私はてっきりその研究室の助手になれると思いき返事をしたのですが、よくよく聞いてみると別の研究室の助手ということで、とても驚いたのですが成り行きでそのまま就任することになりました。

そこは、阪大のレーザー核融合研究センターを設立された山中千代衛先生の教え子の佐々木孝友先生の研究室で、そこで本格的な結晶の研究と出会いました。レーザー核融合とは、レーザーの光を全周囲から当てて爆縮して、例えば重水素をヘリウムに変換するといった研究です。

レーザー光の圧力で材料を押すのですが、レーザー光の波長が短い方が強く押すことができ、そこでレーザーの波長を変換する結晶を作っていました。研究室にある大きい結晶はKDP (KH₂PO₄)というレーザーの波長を短くする結晶です(写真1)。KDPは、波長変換特性そのものはあまり良くないですが、液相で大きく作れるのが特徴です。



写真1:KDPの結晶

佐々木先生は「世の中で役に立たない研究をしても仕方がない」というポリシーをお持ちで、佐々木研究室では、KDPの研究の後は社会に貢献できるような結晶の開発を目指しておられました。佐々木先生は、有機や無機材料の結晶で波長変換して、青色の光を出す研究を行っておられました。その後、1991年

にII-VI族で緑色レーザーが発振した論文が出てきて、1993年に日亜化学がGaNでLEDを出したその時に、その分野では、波長変換による青色レーザーはもうないという感じでした。私が助手になった時には、「これからは波長変換で紫外線を出すのがおもしろい」ということで、酸化物の結晶を使って紫外線を出すという研究を開始しておられました。

私が助手になった時に、半導体混晶のアイデアで新材料探索を実施したところ、CLBO (CsLiB₆O₁₀)という新しい結晶が奇跡的に発見でき、さらにそのCLBO結晶は非常に良い特性を持っていたことから、大学の研究室としては初めてNEDOプロジェクトに採択されました。NEDOプロジェクトではCLBO結晶の高品質化がテーマでしたが、結晶成長中に対流を起こすというアイデアにより高品質化を達成したことで、実用化を実現しました。CLBO結晶が実用化できたことで周囲から想像以上に評価されたことが、研究成果を実用化する意義と大切さを実感し、結晶の研究がおもしろいと思いました。そこから次のワイドギャップ半導体の研究につながるわけです。

▶ ワイドギャップ半導体の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

運のおかげもありましたが、一度大きい仕事をしてしまうと、次のテーマもインパクトのある研究にしないといけないというプレッシャーがでてきます。私はもともとダイヤモンド半導体を研究していましたので、半導体材料の研究をしたいと考えていました。例えば、大きなダイヤモンド結晶を液相から成長できたら凄いなとか、漠然と夢みたいなことを考えていたのですが、結局、これだというようなアイデアは浮かびませんでした。

そんな時、1997年のMRS (Materials Research Society)で懇意にさせていただいていた、今回ノーベル物理学賞を受賞され

た名古屋大学の天野浩先生にGaNのバルクに関しておもしろい講演があるからと誘われたのが、東北大学の山根先生のNaフラックス法の発表を聞ききっかけでした。Siと違いGaNは温度を上げると窒素が気化するので溶液になりません。窒素が飛ばないように1万気圧をかける必要があります。山根先生はそこにNaを入れると30~40気圧で結晶成長できると発表されました。そこで、簡単には出来ないワイドギャップ半導体が触媒を使えば液相で育成できるのはおもしろいと感じ、GaNのバルク結晶育成は研究テーマとしていけるかもしれないと考えました。CLBO結晶の研究がそれなりに成功していましたので、色々なことに挑戦できる余裕がありましたから、Naフラックス法によるGaNの液相成長を研究し始めました。

▶ ワイドギャップ半導体プロジェクトについてお聞かせください

Naフラックス法では、最初は小さい結晶しかできず、やはり液相成長は難しいのかと思いつながら、それでもめげずに5年ほど研究していました。そのような中で、1999年に徳島大学の酒井先生が昇華法でとても品質の良いGaN結晶ができた論文を出されました。気相でもこんな良い結晶ができるのかと、気相でのGaNの結晶成長も開始しました。その気相成長の研究が後で紹介するOVPE (Oxygen Vapor Phase Epitaxy)法につながってきます。

Naフラックス法というのは、世界で私たちのチームしか研究していません。理由は簡単で、みなさんNaが嫌いなのです。Naは爆発する危険性と半導体の中に入ると電気を通してしまいう性質のため嫌がられます。Naの中で液相成長させたら、結晶の中にNaが入るだろうというのが常識でした。私は余り気にしない性格なので、良い品質の結晶を作るために

まずやってみようと思って研究していました。結果的にNaは結晶の中に入りませんでしたので、みなさん驚かれました。でも後の祭り、現在では、私たちの研究は世界中がだれも追いつけないくらい圧倒的に進んでいます。

GaNウエハーを作る現在の主流技術はHVPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy)法です。HClとGa金属を反応させて、サファイアの上に気相法でGaNを堆積させていきます。ですが、下地のサファイアとGaNは格子定数が違うため、結晶の品質があまりよくありません。また、1000℃の環境で反応させるのですが、サファイアとGaNは熱膨張係数も異なるため、常温になった時に反りが発生します。そのためバルクのような厚膜を積むことができません。

この反りを防いで、品質の良い結晶成長を実現するために小さい種をいくつか残しておいて、その上にNaフラックス法を用いて液相成長させてドッキングさせるというのが私たちの最新の研究です。液相はGaNの種の上にはしか成長しませんが、欠陥の多い種の上でも品質の良い結晶ができます。特に小さい種だと品質がものすごく良くなります。それをいくつか成長させて結合させると、大口径化することができます。さらに、サファイア基板と接合する面積が小さいので、冷却中に容易に分離できます。このNaフラックス法で品質の良いφ2インチウエハーや、最近ではφ4インチウエハーも作ることができました。

原理的に種をいくらかでも増やせるので、φ6インチ、φ8インチと今まで不可能と思われていた大口径化が原理的に可能になります。

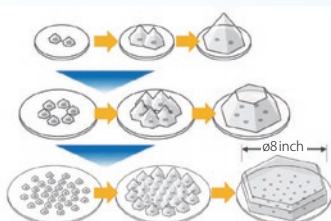


図1: Naフラックス法による大口径化のイメージ図

しかし、Siのようなバルク結晶を作るにはNaフラックス法だけでは問題があります。Naフラックス法は結晶を厚く成長させると、結晶成長速度が速いところはより速くなり、表面に凹凸ができてきます。その凹凸部分にNaの液体が入り込んでしまい、インクルージョンと呼ばれるNaの塊ができてしまいます。Naフラックス法はNa:Ga = 4:1くらいの比率でNaの方が多いので、育成条件をきちんと制御しないとインクルージョンが結晶中に含まれてしまいます。一方、Naフラックス法は薄い結晶の成長では問題がなく、世界で一番品質の良い結晶が得られるのだから、発想を変えて、この品質の良い結晶を種に使い、その種上に、最も適した方法でバルク結晶を育成できれば、全ての問題は解決できるのではと考えました。Naフラックス法だけでなく、全ての良いところ取りをしようと考えました。そこで、まずは技術の完成度という意味では一番進んでいるHVPE法でバルクGaN結晶を育成しようというプロジェクトを進めています。

▶ワイドギャップ半導体プロジェクトの今後の展望についてお聞かせください

HVPE法の根本的な問題はHClを使うことです。Ga金属とHClからGaClを作ってウエハーに積んでいくのですが、その残渣としてNH₄Clができてしまいます。これが固形物で、排気口を詰まらせます。また、HVPE法は結晶の直径がどんどん小さくなって成長していきます。これでは、口径を維持するためには、少しの結晶成長で止めないといけません。これを防ぐためには、育成温度を上げないといけないのですが、ClがGaNをエッチングするため温度を上げられず、原理的に難しい問題です。

そこで私たちはGa₂O₃を使った気相成長法のOVPE法を提案しました。最初昇華法の原則に従い、GaNをGa+Nに還元してもう一度GaNにしようと考えました。水素とアンモニアを添加していたのでGaNはGaH₂になり、これを基板に当ててGaNを成長させていました。しかし、GaH₂の生成量が少なく成長速度が遅かったので実用化できませんでした。そこで、GaH₂ではなくGa₂Oはどうかと考えました。Ga₂Oを還元してNH₃を加えると、GaNとH₂Oになり、固形物や残渣が発生しないのです。HVPE法とは違い、Clによるエッチングがないため成長温度を1300℃程度まで上げられるようになりました。温度を上げると成長も錐状ではなく、柱状になるので、良いことばかりです。もちろんHCl用の除外設備などユーティリティも必要ありません。専門家は、Ga₂OでGaNを成長させるのは最も理にかなっているが、結晶に酸素が入り込むと考えていました。しかし、温度を上げると酸素の含有量が1.0×10¹⁷ atoms/cm³あたりで止まります。これには専門家のみなさんも驚かれました。そして今φ2インチウエハーで200 μm/hourと成長速度も速くなってきて、品質もよくなってきました。将来はGaNウエハーの種はNaフラックス法、バルク成長はOVPE法、これが世界標準になってほしいし、そうなると思っています。

▶サムコに期待されることについてお聞かせください

サムコさんは装置メーカーですから、良い装置を作ってくださいを期待しています。大阿闍梨のお話で、「草履屋さんは良い草履を作ることが一番大事だ」とおっしゃられているのを聞いたことがあります。サムコさんは、既に良い装置を沢山作られていると思いますが、これからもさらに良い装置を作ることに邁進していただければと思います。良い会社の存在は周囲を元気にしてくれますから、京都発で関西を元気にしていただければと思います。

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。