



## プロフィール

学歴	1977年 東京工業大学 大学院 理工学研究科 修士課程 修了
	1980年 東京工業大学 大学院 理工学研究科 博士課程 修了 工学博士
受賞歴	2005年 電子情報通信学会フェロー
	2009年 応用物理学会フェロー
	2012年 2011-2012 Distinguished Lecturer of IEEE Photonic Society
	2016年 SSDM Award 2016
	2016年 IEEE Fellow

職歴	1980年 東京工業大学 工学部 助手
	1982年 東京工業大学 精密工学研究所 助手
	1984年 上智大学 理工学部 講師
	1986年 上智大学 理工学部 助教授
	1992年 上智大学 理工学部 教授
	2008年 上智大学 ナノテクノロジー研究センター センター長
	2018年 上智大学 特任教授

## 上智大学 ナノテクノロジー研究センター長 特任教授 きしの かつみ 岸野 克巳 先生

今回のSamco-Interviewは、上智大学を訪ね、ナノテクノロジー研究センター長の岸野克巳特任教授にマイクロLEDへの応用で期待されている窒化物半導体ナノコラムのご研究についてお話を伺いました。

### ▶ 岸野先生のご研究についてご紹介ください。

窒化ガリウム (GaN) で形成した一次元の柱状結晶のナノ構造を研究しており、GaNナノコラムと呼んでおります。GaNナノコラムを用いた可視発光デバイスの研究を進め、最近では三原色LEDのモノリシック集積化と二次元配列化、フォトニック結晶ナノコラムレーザなど、ディスプレイ用半導体デバイスの研究を展開しております。

### ▶ ご研究を始められたきっかけと現在に至る経緯についてご説明ください。

**光集積回路と光通信用レーザの研究**— 私は、学部4年生だった1974年に東工大の末松安晴先生の研究室で半導体レーザの研究を始めました。修士課程を通じて光集積回路用のアルミニウムガリウムヒ素 (AlGaAs) 集積二重導波路型レーザを研究し、博士号も光集積回路に関する研究で取得しました。当時、光ファイバー通信が非常に重要になってきており、1980年頃には1.3 $\mu\text{m}$ よりも1.55 $\mu\text{m}$ 帯が良いと言われるようになりました。そこで、その波長をカバーできるガリウムインジウムヒ素リン (GaInAsP) という4元材料による半導体レーザ (動的単一モードレーザ) の開発を末松先生のグループが行うようになり、私もその一員として研究しました。システムに合った波長帯があり、新しい材料を開発することによってそれが新しいシステムの基礎になるということ、その時強く感じました。

**赤色レーザ研究**— 1982年頃からは可視域のレーザ、短波長のレーザを目指して4年生の頃に取り組んだAlGaAsレーザの仕事を始めました。光ディスク応用では記憶容量を上げるにはAlGaAsレーザの780nm帯 (赤外) よりも短い波長が良いのです。そこで、翌年の1983年には液相成長法 (LPE) を用いてGaInAsP/AlGaAs系赤色半導体レーザの研究を始めたのです。1984年に上智大学に移りましたが、1994~95年までは赤色半導体レーザに没頭しました。ガリウムインジウムリン (GaInP) という発光材料を用いて、GaInP/AlInPレーザ結晶をガリウムヒ素 (GaAs) 基板上に成長させますが、当時ほとんどの会社が使っていた有機金属気相成長 (MOCVD) ではなく、私はガスソースの分子線エピタキシー (MBE) で材料開発を行いました。MBEではp型のドーパントにベリリウム (Be) を使いますが、ホール濃度を非常に高くできるという特徴があります。電子がp型層に溢れ

出すとレーザ特性が悪くなりますが、ホール濃度を高めることでヘテロ障壁を高くすることができ、特性の優れたレーザができました。しきい値電流密度ではおそらく当時では最も低い値を上智大学で出したと思います。新しい材料に適合して波長域として633nm帯まで持っていくことができたのです。しかし、短波長化とともに温度特性が悪くなるため、DVDでは波長650nmが使われました。我々はさらなる短波長化を狙い、600nmの橙色域まではレーザを作りましたが、特性はどんどん悪くなりました。GaInPは優れた材料ですが、材料的な限界があったのです。

**II-VI族とGaN研究を同時期に始める**— 1990年頃に私はサバティカルを取ることができ、1年間アメリカで在外研究をしました。そして、帰国後に二つのテーマを同時に始めました。一つは緑色の半導体レーザを実現するため、p型化ができたというニュースも当時あったII-VI族半導体MBEで始めました。MBEによるGaN研究をスタートさせたのもその頃です。ご存知のようにII-VI族で緑色レーザはできましたが、寿命が短いという欠点がありました。そうこうしているうちに中村修二さんが青色レーザを開発しました。緑色波長は530nm回りですが、光ディスク用途ではもっと短い波長がよいのです。中村さんが405nmくらいのレーザを開発したため、光ディスク用途にはそちらの方が適しています。そこで光ディスク応用における緑色レーザの役割はなくなったのです。405nm帯レーザでは、発光層にインジウムガリウム窒素 (InGaN) を用います。InGaN系では405nmでとても特性の良いレーザができたのです。天の配剤ともいえるのでしょうか。その波長から波長を短くして紫外光を発光させようすると突然難しくなりレーザ特性が劣化し、今度は長くして青色の450~460nmとするとまた急に難しくなる。それが当時の状況でした。材料そのものが持っている特性であり、それに適合した波長があって、そのために405nm帯がブルーレイで使われました。ディスクはプラスチックPMMAでできており、そのディスク材料そのものの吸収が波長400nm以下になると急に大きくなります。紫外域になるとディスク材料そのものの、つまりシステムを全部変えないといけなくなります。ディスク応用を目指した「半導体レーザの短波長化」という、一つの研究パラダイムが、そこで終わりました。

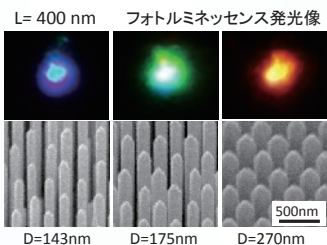
**ディスプレイ用発光デバイスの研究**— 光ディスク用のレーザ研究が終わり、2000年頃からディス

プレイに向けた発光デバイス研究を始めました。ディスプレイではご存知のように光の三原色の発光デバイスが必要となります。上智大学に移ってからの10年間くらいで、我々もGaInP系赤色LDでそこそこの良い特性を得ていました。また日亜化学工業によって波長460nm域の青色LDは開発されました。しかし、赤色と青色の間の緑色レーザの見込みは全く立っていませんでした。II-VI族では寿命が持たず、GaInP系で赤色から緑色に持っていくとしたこともありましたが、材料的限界でどうにもなりません。産業界ではInGaInという青色材料のインジウム (In) の量を増やして緑色レーザを作る努力が続きました。最近では、低しきい値で出力が高い緑色レーザができています。しかし、長波長化とともに材料的な壁が顕在化しています。赤色も同じ材料で作りたいところですが、InGaInの持つ材料の特質に阻まれ、薄膜構造では材料的壁を突破できていません。さて、長年のデバイス史を振り返りながら、材料の特質の壁にぶつかるとどうしてきたかを見てみると、ナノ構造、ナノ効果で突破してきました。

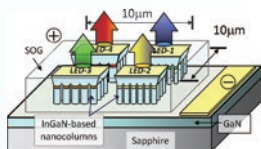
**ナノコラム研究**— そこで現在、ナノコラムというナノ結晶を研究しております。発光波長を長くすることを阻んでいるいくつかの現象がありますが、ナノコラムを使うとそれを軽減できそうなので、そのナノ結晶効果を解明し、それを用いて材料的壁を突破しようとしています。簡単に説明させていただきます。長波長にするためにInGaIn/GaN系のIn組成比を大きくすると、格子ひずみが大きくなって、ピエゾ効果が深く働き、十分には光らなくなります。また空間的にIn組成比が揺らいで局部的に大きな格子ひずみが入り欠陥が発生します。こうした現象はナノ構造にすると起こりにくくなります。例えば柱状のナノ結晶、ナノコラムの直径を200nmくらいにすると、結晶内部では貫通転位が走れなくなり、マクロ欠陥がない無転位GaIn結晶ができます。しかし、発光させるにはこの無転位結晶のどこかにInGaInを入れられないといけません。通常GaIn薄膜上にInGaInを成長させると格子ひずみによって不整合転位が発生しますが、ナノ結晶では格子ひずみが抑制され転位が発生しにくくなります。さらにピエゾ効果の作用が小さいのです。そのためナノ結晶を使うと、より長い波長の光を出しやすくなります。そこでナノコラム中にInGaIn発光領域を内在化させて発光効率の低下を抑え、よく光る材料を開発し、緑色、その次は赤

色へと、波長が長く特性の良いLED、レーザを実現することを狙って研究してきました。この活動の中で、ナノ結晶のコラム径と位置を精密に制御する選択成長を開拓し、同じコラム径のものを周期的に並べることができるようになり、しかも直径を自由にナノレベルで制御できるようになりました。

**ナノコラムによる三原色LEDのモノリシック集積化**—この手法を用いてナノ結晶の直径を変えると、自動的にナノコラムの中に入ったInGaNのIn組成を制御できるのです。すなわち、結晶の基板にナノパターンを作ってそのパターンを変えると、その上にできたナノ結晶の発光色が変わるという非常に革新的な技術を開拓しました。最近、この技術を用いて同じ結晶の基板の中に領域を4箇所、 $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ くらいの領域を隣合わせで作り、それぞれのナノ結晶のナノコラムの直径を変えることで、RGBYの異なる発光色のモノリシック集積化ができるということを発表しました。この技術は、現在、マイクロLEDディスプレイ応用で大変に期待されています。よく用いられるマイクロLEDディスプレイ作製法では、赤色、緑色、青色の結晶を作り、微細化してチップ化し、それをロボットでつまんで駆動回路上に並べながら実装します。膨大な時間がかかっています。また薄膜LEDでは問題にならなくても、それを微細化して加工しマイクロLED構造を作ると、表面や界面が圧迫されるため十分には光らなくなるという問題があります。ナノコラムは元々ナノ結晶からできており、InGaN（発光領域）がナノ結晶内部にぎゅっとコア状に閉じ込められていて注入されたキャリアが表面まで行けないので、この問題は起こりにくいのです。またロボット実装でLEDチップを個別に並べる必要がないのです。大量生産に適した方法で、あらかじめマイクロLEDディスプレイ用のRGBYピクセルユニット基板を作製でき、それを駆動回路基板にフリップチップボンディングすればよい、実装はとても簡単になります。最近、二次元的に赤、緑、黄、青色のナノコラム・マイクロLEDを並べて独立に光らせるという実験に成功しました。それが注目され、多くの講演依頼が来ているところです。今後はさらなる微細化を進め、例えばRGB微細結晶を $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ に詰め込んで、それを $1 \times 2 \text{ cm}^2$ 領域に二次元的に並べれば、小さな半導体基板上に高精細なマイクロLEDディスプレイが実現できる時代が来るのではないかと、ということでその基礎技術の開発に現在取り組んでいます。それと同時に、ナノコラムを基礎にしたレーザで三原色を一体集積するというのが最終的な夢です。それは面発光型レーザになります。そこに至る道筋くらいまでは大学にいる間に明らかにしたいと思っています。



(a) ナノコラム径(D)による発光色制御



(b) RGBY集積型ナノコラムLEDの概念図

ナノコラム発光色制御と集積型ナノコラムLED

### ▶ センター長を務められているナノテクノロジー研究センターについてご紹介ください。

ナノテクノロジー研究センターは時限研究部門の研究単位です。時限研究部門は、学外から提供される研究資金を獲得した研究グループによりよい研究環境を提供することで、大学全体の研究レベルの向上と研究領域の拡大、さらには社会の発展に寄与することを目的としております。ナノテクノロジー研究センターは、独立行政法人科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(CREST)の採択を受け、上智大学におけるナノテクノロジー研究の中心的な役割を担う組織として、2008年4月に設置されました。その後には、文部科学省科研費の特別推進研究を推進してきました。ここではナノコラムとナノ結晶を基礎にして窒化物半導体デバイスの課題を克服し、三原色発光デバイスの基礎技術の確立とナノ結晶に基づく新物性現象の発現を探索し、学問的にナノ結晶効果を明らかにすること目的に活動しています。

### ▶ 弊社の装置をご使用いただいておりますが、ご感想をお聞かせください。

ナノコラムのデバイス作製プロセスで簡易型のドライエッチング装置を使わせてもらっています。四フッ化炭素(CF<sub>4</sub>)ガスで酸化膜をエッチングしていますが、任意の加工を手軽に行うことができ非常に重宝しています。

### ▶ 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？

私が携わっているのはサイエンスではなくエンジニアリングです。サイエンスの世界では理論的にできないことは不可能と証明できますが、エンジニアリングの世界では不可能と証明することはできません。例えば超LSIの微細化や青色半導体レーザ、青色LEDなどは私の学生時代はともできないと言われていましたが、実現されました。世の中に非常に価値のある技術は、全て不可能と言われていながら開発に成功しています。私が日頃から心掛けていることは、技術の世界で不可能ということを言うてはいけないということです。必ずどこかに突破口があるはずで、世の中に役立つと思ったら簡単には諦めずに続けてまいりました。

### ▶ 休日などはどのようにお過ごしでしょうか？

東京ですが農家で育ちました。父は何年も前に亡くなり、代々の農地の管理をしないといけません。時間があるときは農作業をよくしています。あとは日本の篠笛が趣味で、その練習をよくしています。ワインも好きです。昼間は畑仕事をして、時間があれば篠笛の練習をして、夜になると少しお酒を飲むといったリラックスした一日を過ごしています。農家ですからすることはたくさんあります。

### ▶ 最後にサムコに対して一言お願いします。

サムコさんは大学との関係が非常に良好で、大学にとって使いやすい装置を多く開発されていますが、今後も新しい研究の手助けになるような装置を提供し続けていただきたいと思います。あまり大きな予算を持っておりませんので、特定の機能に特化したような、ある目的を達成するために手軽に購入できる装置を開発していただくと大変ありがたいです。

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。