

天野 浩

Amano Hiroshi

[名古屋大学 未来材料・システム研究所未来エレクトロニクス集積研究センター センター長・教授]

GaN(窒化ガリウム)半導体が拓く未来

薄型ディスプレイ実現のため 青色LED研究の道に

— なぜ、青色LEDを研究しようと考えられたのですか。

大学1年生の頃、コンピュータに関心があった私は夏休みに1カ月の夜勤のアルバイトをして、8ビットパソコンFM-8を手に入れました。やりたいゲームが自分で作れるコンピュータに感激しましたが、当時のブラウン管(CRT)ディスプレイが不満でした。とても大きくて重く、消費電力も多かったのです。すでに赤色と緑色のLEDはありましたが、もし青色LEDを作ることができれば、テレビやディスプレイを薄く・軽くできるのではないかと考えました。赤崎 勇先生の研究室に入りたいと思ったのは青色LEDを研究されていたから。赤崎先生は名古屋大学で結晶成長の研究をされた後、当時の松下電器産業株式会社で赤色LEDと緑色LEDを完成。その後、名古屋大学に戻られて青色LEDの研究をされていました。先生が研究室を立ち上げられた翌年の1982年、私は学部生として先生の研究室に進みました。青色LEDを作るにはいくつか素材がありましたが、窒素(N)とガリウム(Ga)の原子が規則正しく並んだ窒化ガリウム(GaN)は大きな電圧に耐えられ、短い波長の光を生み出せる特長を持っています。しかし、きれいな結晶を安定して成長させることが難しかったため、当時は多くの研究者から避けられていました。

手作りの実験装置で 前人未踏の課題に挑戦

— いちからの青色LED開発は大変だったのでは。

名古屋大学に移られた赤崎先生は、GaNを成長させるために新しい結晶成長法である、有機金属化合物を使った気相成長法「MOVPE」を採用されました。これは、原料となる有機金属ガスを高温で分解して基板上に半導体結晶を生成する方法です。しかし、MOVPE法の装置が約1億円したのに対し、当時の研究費は数百万円で、到底足りません。そこで、中古のロータリーポンプを譲り受けたり、古い高周波発振機を使わせてもらったりするなど多くの研究者の協力や支援で、なんとか

CONTENTS

特集：次世代半導体素材が拓く未来

SPECIAL INTERVIEW	
天野 浩 氏	1
SPECIAL EDITION	
鳴門市新庁舎	5
中日ビル	9
中日ビル ザ ロイヤルパークホテル アイコニック 名古屋	11
& Here TOKYO UENO	13
横浜BUNTAI	17
RECENT PROJECTS	
徳島県松茂町	19
くらしは文化	
渋谷区立松濤美術館	21

*本誌では略称を用いています。また、一部敬称は略させていただきます。
表紙写真：中日ビル

学生だけでMOVPE装置を組み立てました。それが、なんとも楽しかったですね。ガスの配管や石英管の加工も自分たちでやりました。今から思えば、実験装置を自分たちで作ったからこそ、装置に課題があった時に自分たちで修理・改良できたのです。

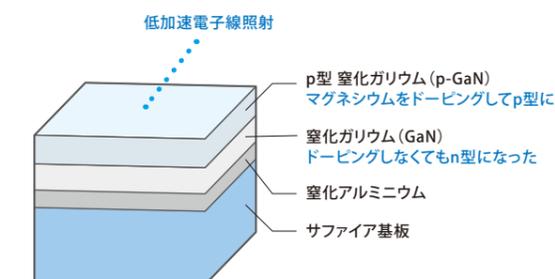
生成実験を重ねたが結晶は失敗作ばかり

— 装置ができれば、次は半導体結晶の生成ですね。

MOVPE装置はできたものの、結晶の生成は困難を極めました。GaNは窒素とガリウムの電子が規則正しく並んだ結晶です。最初は基板となるサファイアの上に直接GaNの結晶を作ろうとしたのですが、表面がザラザラした結晶しかできません。それは、基板のサファイアとその上のGaNの原子の並び方の間隔が異なるためでした。よく、凹凸が付いているオモチャのブロックに例えて説明するのですが、凹凸の間隔が同じブロックは、ブロック同士がピタリとはまってきれいに積み上げることができます。原子の間隔が異なるというのは、凹凸の間隔が異なるブロックを積み上げると同じで、ぴったり安定して積み上げられません。毎日4〜5回は実験を繰り返していましたが、4年生の時も修士1年生の時もこの問題が解決できずに実験の失敗は約1,500回にも及びました。

その時に思い付いたのが、サファイア基板とGaNの間にもう一つ窒化アルミニウムの層を挟むことでした。窒化アルミニウムを付けるためにはすごく高い温度にしないときれいに付かないと分かっていましたが、使っている中古の装置はその日、いくら調整しても高い温度にできません。当時は、元日以外は全て実験していましたので、装置も疲弊していたのでしょう。その頃は論文を書くために実験を急いでいたこともあり、低温でも仕方がないと思って生成した窒化アルミニウムの層にGaNを生成させたら、それまで見たこともない、きれいなGaN結晶ができました。サファイアの表面はとてもきれいです。サファイアと見間違えるくらいきれいでした。あまりにきれいなので、最初はガスを流し忘れたと思ったくらいでした。それまでは、報告のたびに赤崎先生に「君の作る結晶はすりガラスだね」と言われていましたが、とうとう、サファイアのように美しいGaNの結晶ができたのです。

世界初のpn接合型青色LEDの結晶構造



試行錯誤の末 ついに青色LEDが誕生

— きれいな結晶を作った後は何が課題でしたか。

GaNできれいな結晶を作ったので、p型半導体(電荷を運ぶキャリアとして正の電荷を持つ正孔を使用する半導体)とn型半導体(余った電子により電流が流れる半導体)が接する、pn接合による青色LEDは必ず実現すると思えました。そこでLEDの基礎となるp型半導体を作ることに集中しました。これも同様に実験の日々でしたが、やはりできません。そんなある日、p型にするにはイオン化しやすいマグネシウムを不純物として加えれば(ドーピング)良いと気付いたのです。マグネシウムを入れただけではp型になりませんが、インターンシップで訪れた研究所で見た、電子線を当てると青色が強く発光する事例を参考にマグネシウムを入れたGaNに電子線を当てると初めてp型ができ、pn接合のダイオードができました。赤崎先生にまず見ていただいたのですが、最初の言葉が「え、どこで光っているんだね」。光ったLEDは青色より波長が短く可視光線の外側に近い紫色だったのです。そこで、マグネシウムの量を調整して、もう少し長波長で青く見えるようにしました。こうして、GaN半導体による青色LEDが誕生し、さまざまな分野で社会に役立てられるようになったのです。

LEDが照明を変えくらしを変えた

— 青色LEDがどのように役立ったかお話しください。

当時、日亜化学工業株式会社におられた中村修二先生が窒化インジウムガリウム発光層のLEDを発表し、明るい室内でもまぶしいほど光らせることに成功しました。青色LEDができたものの、最初は交通信号に使われるくらいでした。しかし、日亜化学さんが青色LEDと蛍光体を組み合わせて白色光ができることを発明すると、照明器具が置き換わってしまうほどの大きな動きになりました。2015年に、モンゴルの教育・科学大臣が私の研究室に来られて、「モンゴルでは多くの人が遊牧生活をしているが、夜になると電気がないので子どもたちは勉強ができなかった。現在は太陽電池と組み合わせたLEDランタンが移動式住居のゲルの中を照らしている」と仰いました。翌年、モンゴルでLED電球が使われていたのを見て、本当に感激しました。

私は学部生の時にビル・ゲイツ氏にあこがれており、彼の書籍や行動から感銘を受け、人に幸せをもたらすものを作り出す研究者になりたいと考えていました。青色LEDの誕生が、世界中の子どもたちの役に立てたことをうれしく思っています。また、強い紫外線を出すLEDも開発しました。これはコロナ禍で空気を殺菌する際に使われ、さらに水の殺菌にも効果があるということで、水の簡易殺菌装置として、今年1月の能登半島地震では珠洲市に提供され、使っていたのだと聞いています。

高効率で小型・軽量な GaN半導体の可能性

— GaN半導体は色々なところに使われているそうですね。

GaN半導体には高い電圧に耐えられる特長があります。この強みを活かして使われているのがパワー半導体です。パワー半導体とは、直流と交流を変換する際など、電力を制御するために使用されるデバイスです。太陽光発電のパワーコンディショナに入っていますし、モーターの回転数を制御するインバータにも使われています。しかし、現在一般的にパワー半導体として使われているのは、ほとんどがシリコン半導体です。GaN半導体はシリコン半導体の約10倍の電圧まで耐えることができます。これは、同じ電力を使う時の電流損失を10分の1にでき、製品も小型化できるということです。より高い効率を小型・軽量で実現するには、GaNしかありません。私たちはパワーコンディショナやインバータという1つの電力変換システムで99%の効率をめざして研究しています。また、EVもGaN半導体の特長を活かせるものの一つです。駆動用のモーターをパワフルにすると同時に小型化できますし、充電システムを小型化して車に搭載できるオンボードチャージャー(車載充電器)にも取り組んでいます。これにより、EVにためた電気を住宅用に使ったり、ケーブルでつなぐだけで他のEVに供給することも容易になるでしょう。

GaN半導体は光も扱えるので、車のヘッドライトやLEDディスプレイにも使えます。そこで、全て窒化ガリウムでEVを実現しようとしたのが2019年の環境省のプロジェクト「ALL GaN VEHICLE」です。試作車は2019年の東京モーターショーにも出展しました。現在は1.2kV程度の応用により車のチャージャーなどに使って技術を蓄え、その後は6.6kV系統にも使えるパワー半導体を開発したいと考えています。



東京モーターショー2019で公開した、「ALL GaN VEHICLE」の試作車 写真提供:名古屋大学

それができると、再生可能エネルギーや蓄電池が大量に接続された場合でも、GaN半導体を介して接続することで、電力ネットワークの周波数を安定させることが可能になるでしょう。このように、電力変換ロスを低減し、機器を小型化し、消費電力を削減することにより、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していきたいと考えています。

— ありがとうございました。

天野 浩 氏

1988年4月 名古屋大学工学部助手、1992年4月 名城大学理工学部講師、助教を経て2002年4月 名城大学理工学部教授。2010年4月 名古屋大学大学院工学研究科教授。2015年10月 名古屋大学未来材料・システム研究所未来エレクトロニクス集積研究センター長・教授に就任。2014年、文化功労者顕彰、文化勲章受章。また、故赤崎 勇博士、中村修二カリフォルニア大学サンタバーバラ校教授と共に「高輝度、省エネルギーの白色光源を可能とした高効率青色発光ダイオードの発明」にて2014年ノーベル物理学賞を受賞した。現在は、名古屋大学において高効率パワー半導体など新たな省エネルギーデバイスの創成に向けた研究を進めている。

