

名古屋にある2か所のLED研究開発拠点から

# LED研究最前線

白熱電球や蛍光灯に代わる照明、携帯電話やパソコンのバックライト、信号機などとして、急速に私たちの生活に広がっているLED。そのきっかけとなる世界初の青色LEDを開発した名古屋で、新たなブレイクスルーへの胎動が始まっている。

## 高効率・高出力・高コストパフォーマンスへ!

### 3原色の最後“青色”を開発すればすべての色が可能になる!

名古屋市千種区の名古屋大学東山キャンパスの一角に、日本のLED研究のメッカともいえる研究開発拠点がある。その名も「赤崎記念研究館」。高輝度青色発光ダイオード(青色LED)を世界に先駆けて創出した赤崎勇名古屋大学特別教授・名城大学教授にちなんだ研究施設だ。1階にはLED展示室が設けられ、赤崎さんの研究業績をたどることができる。その中核部分ともいえる「青色LEDの発明」ゾーンの最初に、1つの装置がある。コイルの巻き付いた透明な管から何本かのチューブが伸びた単純な構造だが、青色LED創出のきっかけとなった記念碑的な装置を再現したものだ。赤崎教授のもとでこの装置の開発に携わったのが、現在名古屋大学大学院工学研究科教授の天野浩さん。当時は同大学院の学生だった。

「私が赤崎研究室に入ったのは学部4年生になった1982年です。わかりやすく世の中の役に立つテーマはないかと探していたとき、赤崎先生のLED(\*)研究を知り、『これだ!』と思いました」

#### \*LED (Light Emitting Diode)

電圧を加えると発光する半導体素子。発光ダイオードともよばれる。従来の白熱電球や蛍光灯に比べてエネルギー効率が高いため消費電力が小さく、熱の発生も少ない。さらに、寿命が長いなどの利点もあるため、LED照明への転換が産業分野でも家庭でも進められている。

当時、光の3原色である赤、緑、青のうち、

青色のLEDだけが未開発だった。原因の1つは波長にあった。波長が短いほど、光を出すために必要なエネルギーは大きくなる。青色は3原色のなかで波長が最も短く、最も大きなエネルギーが必要とされたため、開発にはほかの色に比べて厳しい条件をクリアしなければならなかったのだ。

その条件を満たす半導体材料の候補の1つに窒化ガリウムがあった。しかし、高品質な単結晶の作製が極めて困難で、世界中の多くの研究者が挑んでは壁に跳ね返され、あきらめていた。しかし、赤崎教授は、窒化ガリウムの可能性を信じ、研究を続けていたのだ。実現できれば、光の3原色がそろい、すべての色が表現できるようになる。天野さんも同じ夢を重ね合わせて、赤崎研究室へと飛び込んだ。

### “擦りガラス”が“透明なガラス”になった歴史的瞬間

「赤崎先生はすでに窒化ガリウムの単結晶の作製に成功されていましたが、その方法は職人的な技術が必要で、実用化に向いているとはいえませんでした。そこで私は、より簡便な方法としてMOVPE法(\*\*)による結晶の作製に取り組みました」

#### \*\*MOVPE法

基板となる物質に、水素や窒素などと有機金属化合物の材料が混じったガスを吹き付け、基板上に化合物半導体の単結晶を成長させる方法。

基板となるサファイアの上にガスを吹き付け、窒化ガリウムの結晶を成長させようと試みた。覚悟していたこととはいえ、道のりは険しかった。取り組むうちに、ガスを高速で吹き付けると結晶ができることがわかったが、その結晶は無数の傷が入った擦りガラスのようで、使い物にならない。学部4年生のときから約3年間、今度こそはと思いながら、出来上



がった擦りガラス状の結晶を見ては、ガッカリするという日々が続いた。

そして迎えた1985年1月、大学院の修士課程も終わりを迎えようとしたある日、トラブルが起こった。基板にガスを吹き付ける際は高温にする必要があるが、炉の調子が悪く、必要な温度まで上がらなくなったのだ。

そこで天野さんは、以前から温めていたあるアイデアを試してみようと思いつく。窒化ガリウムの単結晶を成長させる前に、窒化アルミニウムの薄膜をサファイアの基板に作るというものだ。そもそも、サファイアと窒化ガリウムとは結晶の単位格子の辺の長さや角度の違いが大きく、ミスマッチを起こしやすい。「薄膜を作っておけば、それがバッファ(緩衝材)となって問題が解決できるのではないか」。窒化アルミニウムの薄膜を作るのに必要な温度は窒化ガリウムの単結晶を成長させる場合よりも低く、調子の悪い炉でも可能だ。まずは薄膜をつくった。そして、炉が回復した後で、その上に結晶を成長させ、結果を確かめてみたところ、天野さんはわが目を疑ったという。

「いつものような擦りガラスではなく、透明なガラスが見えたんですよ。一瞬、結晶ができなかったのではないかとも思ったのですが、確かに結晶は成長していました」

こうして誕生した「低温バッファ層技術」は、高品質の窒化ガリウムの結晶を成長させる際に、今も使われているほど画期的な技術だ。これを1つのブレイクスルーとして実用化した青色LEDは、今では照明、携帯電話やパソコンのバックライト、信号機などに幅広く使われている。

「私は学生時代、青色LEDは世の中の役に立つはずだと思って研究を始めたのですが、その頃は、まさかこれほど普及するとは思っていませんでした。どうしたら結晶を作れ

るかと考えること自体が楽しくて、実験に明け暮れていました」

### 光の“屈折”が効率をダウンさせる原因に

冒頭で紹介した赤崎記念研究館の1階にある装置は、天野さんが低温バッファ層技術を開発した際の装置を復元したものだ。そして、3階から5階は、次世代の技術開発・研究開発のための研究実験室などのレンタルラボとなっている。天野さんは現在、その一角にも自らの研究グループの実験室を設け、学生たちとともに、LED研究に打ち込んでいる。

「LEDには解決するべき課題がまだまだ残されています。用途が広がれば、さらに高出力のLEDが求められるでしょうし、家庭用の照明でわかるように、白熱電球や蛍光灯と比べればかなり割高ですから、コストパフォーマンスを上げなければいけません」

1つの道として考えられるのが、新たな製造法の開発だ。現在のMOVPE法では、高価なガスを大量に使わなければならない。天野さんらのグループは、気体の窒素をプラズマによって分解して金属のガリウムと結びつける新たな方法の開発に取り組み、大幅なコストダウンにつなげる手ごたえをつかんでいる。

そして、さらに大きな課題として取り組んでいるのが、LEDの高効率化だ。

「電力を光に変える発光効率は、青色LEDは40～50%、赤色は50～60%で、緑色は15～20%しかありません。また、3原色だけでなく黄色も加わると、実現できる色が増えるのですが、黄色の効率は10%にも満たないのが現状です。これを100%に近づけて、人類がつくりうる“究極の光源”を開発するのが、私たちの大きな目標です」

では、いかにして効率を上げるのか。これまでは結晶の品質向上が大きなカギだと思われてきたが、どうやら問題は「光の屈折」にあることがわかってきた。光は、水中から空

## 天野 浩

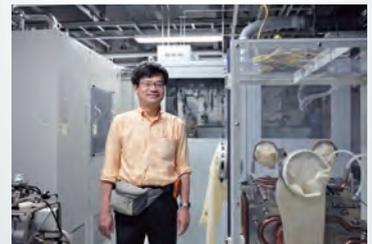
あまのひろし

名古屋大学大学院博士課程修了。工学博士。名古屋大学助手、名城大学理工学部教授などを経て2010年より名古屋大学大学院工学研究科教授。窒化ガリウム青色発光ダイオードの開発で知られる。07～10年JST独創的シーズ展開事業・委託開発の開発課題「LEDモスアイ構造製造技術」研究者。

## 名古屋大学 赤崎記念研究館

視点

1



青色LEDを世界に先駆けて創出した赤崎勇特別教授の業績を広く世に伝え、独創的・先端的な科学技術を推進し、社会に貢献することを目的に、2006年に建設された。1階の展示室にはLEDの開発過程を解説したパネルや、MOVPE1号機をはじめとする実験装置などが公開されている。3～5階は次世代LEDの技術開発・研究開発のためのレンタルラボとなっている。

気中へと進むとき、その界面で屈折する。光の入射角がある程度以上大きくなると、界面ですべてが水中に反射してしまう。これを「全反射」という。LEDの光が空気中に出ようとするときにもこの現象が起きやすく、多くの光が外に出ないまま閉じ込められてしまう。光ファイバーなどはこの現象を利用して光を遠くまで届けるが、LEDでは効率を悪化させる大きな原因となっているのだ。

しかし、天野さんらのグループはこの課題を解決し、LEDの発光を高効率化させる方法を開発した。その実用化に取り組んでいるのが、名古屋にあるもう1つのLED研究拠点だ。

人類がつくりうる“究極の光源”を開発します!



# 蛾の目(モスアイ)がLEDを明るくする!

## 光の波長に合わせた 微細な凹凸を実現

赤崎記念研究館の最寄りの名古屋大学駅から地下鉄に乗って約15分。塩釜口駅そばに、LEDのもう1つの研究拠点、名城大学「LED共同研究センター」がある。今年3月に誕生したばかりの、名城大学の先端技術研究拠点「科学技術創生館」(3階建て)の1階に設置された施設で、最先端のLED研究に必要な機器が備えられ、産学官連携の共同研究活性的な場として、地域企業や研究機関から熱い期待が寄せられている。

そのセンターで早くも精力的に研究に取り組んでいる企業が、エルシード(株)だ。名城大学理工学部教授の上山智さんが開発代表者となったJST大学発ベンチャー創出推進事業「モノリシック型高出力高演色性大型白色LEDの開発」を通じて、2006年に設立されたベンチャー企業だ。

同社が現在最も力を入れて取り組んでいるテーマの1つが、モスアイ構造(\*)によるLED発光の高効率化だ。

### \*モスアイ構造

蛾の眼(Moth-Eye)のような微細な凹凸構造のこと。光の反射が起きない構造として知られ、ゲーム機や携帯電話などのディスプレイで周囲の風景の映り込みを防ぐ、無反射フィルムなどに応用されている。

この構造をLEDの表面、すなわち空気との界面に応用すれば、LED内部の光が空気中に出る際の反射を防ぎ、発光効率のアップにつながるというわけだ(右ページの「LEDモスアイ構造」参照)。前のページに

登場した天野さんのグループによって得られた研究成果をもとに、JST独自のシーズ展開事業・委託開発の制度を利用し、エルシードが実用化に向けて開発を進めてきた。開発課題名は「LEDモスアイ構造製造技術」。最も苦労したのは、最適な形状の凹凸を実現することだったという。

「表面に凹凸を作れば、LED内部からの光がいろいろな角度で表面に当たることになり、光が反射して内側にこもるのをある程度防ぐことができます。透明なアクリル板などで、表面がなめらかでない切断面だけが光って見えるのはそのためです。モスアイ構造が優れているのは、凹凸のパターンによって、光のもつ波動性を利用できるようにしたことです。光の波長と凹凸の周期、屈折率差を最適化し、LEDの光取り出し効率を高めています」

LEDの表面に細工を加えて、最適な凹凸を正確に再現できれば、LEDの光の取り出し効率が飛躍的に上がり、これまで実現できなかった明るさも可能になる。しかし、それは簡単なことではなかった。

「何度やっても、ランダムに凹凸を設けた、既成のLED発光効率を超えられませんでした。開発期間も終わりに近づき、半ばあきらめかけていたときに、ようやく実現できたのです」

加工しない場合と比べて、光出力は1.7倍~2.5倍にも向上した。開発された技術は、既存のさまざまなLED材料に応用可能なものだ。短時間でモスアイパターンの形成が可能のため、高効率・高出力が必要なさまざまなLED製品への応用が期待されている。

## “白色LED”を 太陽の光に近づける

上山さんは名古屋大学工学部の赤崎研究室で、天野さんの2年後輩にあたる。卒業後は企業で研究員を務めた後、名城大学に

### 上山 智

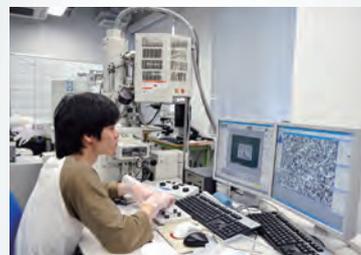
かみやま・さとし

名古屋大学工学部電子工学科卒業。工学博士。松下電器(株)中央研究所研究員などを経て、2011年より名城大学理工学部材料機能工学科教授。JST独自のシーズ展開事業・委託開発の開発課題「LEDモスアイ構造製造技術」の企業化開発委託先であるエルシード(株)の取締役CTOも務める。

2

拠点

## 名城大学 LED共同研究センター



今年3月に建設された名城大学先端技術研究拠点「科学技術創生館」の1階に、世界をリードするLED関連技術に関する企業との共同研究の場として設立された。LEDの作製はもちろん、LED半導体結晶の成長過程をリアルタイムでさまざまな角度から計測できる機器も備え、新たなブレイクスルーが期待される。

移った赤崎教授の誘いを受けて、再びその下で研究に携わることとなった。

現在、「白色LEDの実現」にも、力を注いでいる。携帯電話やパソコンのバックライトや照明など、すでに世の中には白色に輝くLEDがあふれている。しかし、それらはLED自体が白色に光っているわけではない。青色の光に補色である黄色の光を重ねると、光の色は白くなる。これを応用して、青色LEDに黄色の蛍光体をかぶせるなどして、白色の光を実現しているのだ。それで実用化はされている。しかし、現在使われている白

見せかけではない  
“本物の白色”を  
つくりだす!



いLEDで課題となっているのは、「高い演色性(\*\*)の実現」だ。

### \*\*演色性

電球や蛍光灯、LEDなどの光源が、物体を照らしたときの色の見え方。太陽の光に照らされたときを基準として、基準とのずれが数値化され、100に近いほど「演色性がよい」と判断される。

「人間は太陽の光で照らされた色に慣れていきますから、その色とのずれの大きさが、人間の体に影響を及ぼすのです。たとえば黄色など、白色でない電球の部屋に長時間いると、気分が悪くなることがありますよね。白色に見える光でも、太陽の光とは異なる色の成分からできていると演色性が低くなり、同じような影響をもたらすことがあるのです。青色LEDと黄色の蛍光体の組み合わせで得られる白色も、当初は演色性が低かったため、赤色を混ぜることで改善して使えるようになりました。ただし、赤色を混ぜることで発光効率はさらに落ちてしまいます。また、出来上がった製品のなかには演色性が不十分なために、捨てるを得ないものも少なくありません」

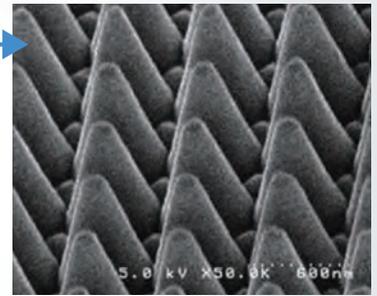
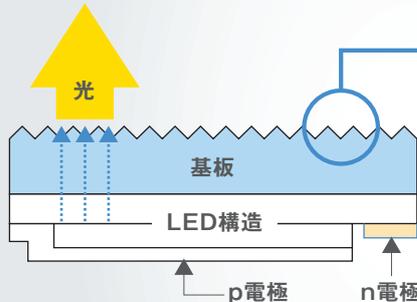
光にはさまざまな波長があり、その違いによって人間は物の色を見分けている。含まれる光の波長の強さをグラフに示すと、太陽光は可視光の波長がまんべんなく含まれていることがわかる。ところが、現在のLEDの白色の場合は、青色の波長の光が極端に強く、蛍光体の黄色や補正のために混ぜられた赤色の強さが突出した、いびつなグラフになってしまうのだ。

上山さんは、そんな見せかけの白色ではなく、本物の、つまり太陽光に近い白色の光を実現しようとしているのだ。

「青色LEDを用いた現在の白色の演色性は80くらいです。それでも実用化には問題ないとされているのですが、私たちはある不純物を混ぜることで、演色性を95まで高めることができました。さらにモスアイ加工をすれば、光の取り出し効率も改善できます」

消費電力が少なくて寿命の長いLEDは、エコの時代にふさわしい照明だといえる。光の取り出し効率、演色性とコストという欠点を改善できれば、世の中の照明は一気にLEDへと転換するだろう。

## ● LEDモスアイ構造



LEDは、サファイアなどの基板と、窒化ガリウムなどの半導体素子からなり、半導体素子の光が基板を通して外部に放たれる。基板と空気との界面で起こる光の反射により、光の一部が内部にこもるが、基板表面に光の波長に合った凹凸(モスアイ構造)をつくることでこれを防げる。

### 師から学んだ常識外れの発想を新しい2つの研究拠点で

上山さんが大学の研究者でありながらベンチャー企業を立ち上げた背景には、企業での研究員という経験があるからこそ感じられる、日本の研究開発の現状に対する危機感がある。

「企業は以前、基礎研究に非常に力を入れており、それが力の源になっていました。何十年間地道に研究を続けて得られた成果が製品化につながり、大きな利益をもたらすことになった例も間近で見ました。しかし、「失われた10年」を経て、企業はすぐに解決しなければならない研究開発だけしか取り組まなくなってしまいました」

一方、以前の大学は、企業に比べて見劣りする装置しかなく、開発費も十分とはいえない環境に置かれていたが、近年は大きな開発費を得る機会も増え、「逆に企業からうやましがられるような環境が整いつつある」と上山さん。さまざまな研究成果が上がってはいるが、企業の側に、それをシーズの段階から引き取り、育てるだけの力がなくなっているのだ。これでは、せっかくの成果も埋もれてしまう。

「だからこそ、実用化の一手手前、プロトタイプの開発までを進めて、企業への橋渡しをしたい。そのためにベンチャー企業を立ち上げようと考えたのです」

JSTの事業を通じてその思いを実現し、モスアイ構造の企業化開発に成功という成果

を上げた。そんな動きをさらに加速し、大学と企業とがともに研究を進めるためのLED共同研究センターの設置にも尽力した。そして、さらに白色LEDという道に進もうとしているなか、青色LEDの道を切り開いた赤崎先生の姿勢を改めて思い起こす。

「赤崎研究室を出て企業の研究所に勤め始めたばかりの頃、基板の上に半導体結晶を成長させる際には、互いの結晶格子の大きさや角度が大きく違うことなど“あってはならない”と、はっきり指導されました。そこで思い出したのが、当時、赤崎研究室で取り組んでいた窒化ガリウムの結晶です。基板となるサファイアと窒化ガリウムとでは、結晶の格子が大きく異なっているのです。赤崎先生のやろうとしていることはあまりに常識外れだから、実用化などできないと思っていました。ところが、赤崎先生は見事にそんな常識を破って実用化への道を開いたのです。まさしく革命です。しかも、先生は最初からその道筋をイメージしていたと聞き、驚きました。私自身、白色LEDを実用化するまでには、赤崎先生のような常識外れな発想が必要だろうと思っています」

赤崎記念研究館と名城大学LED共同研究センターという、名古屋にある2つのLED研究拠点では、赤崎先生のDNAを受け継いだ天野さんや上山さんの指導のもとで、大勢の若手研究者たちが大きなブレイクスルーを目指して“強く、明るく、新しい光”を放ち続けている。■