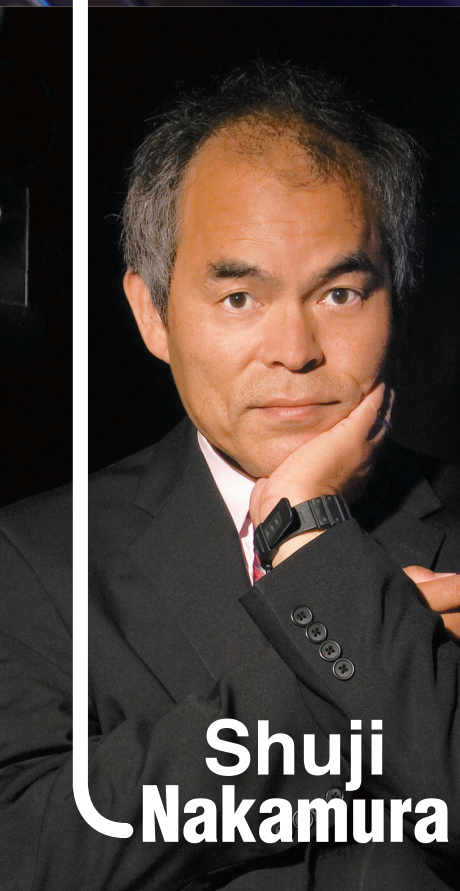


# 祝! 2014年、 ノーベル物理学賞受賞 青色LED 研究とは?

文/斎藤勝司 写真提供/名城大学 アフロ 青柳敏史  
イラスト/有留ハルカ

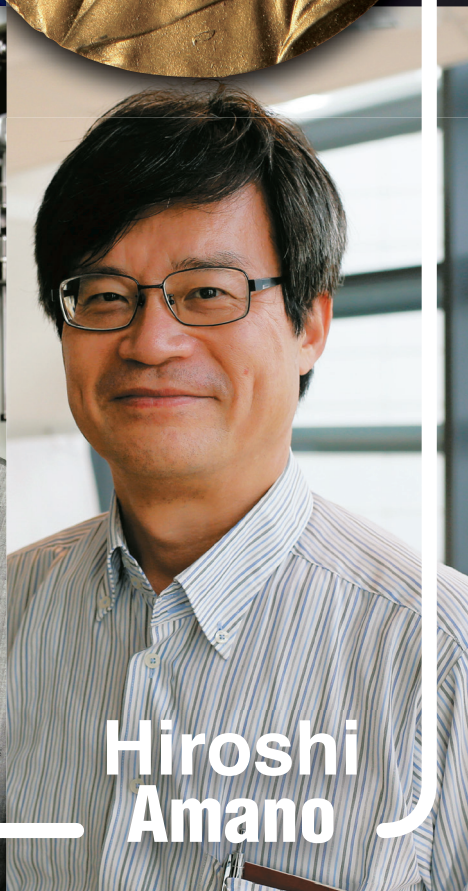
2014年のノーベル賞の受賞者が発表され、青色発光ダイオード(青色LED)を発明した、名城大学大学院理工学研究科の赤崎勇終身教授、名古屋大学大学院工学研究科の天野浩教授、カリフォルニア大学サンタバーバラ校材料物性工学科の中村修二教授(現在はアメリカ国籍)に物理学賞が贈られることになりました。今では幅広く利用されている青色LEDとはいかなるもので、3人の研究者は青色LEDの開発にどのように貢献したのでしょうか。



Shuji  
Nakamura



Isamu  
Akasaki

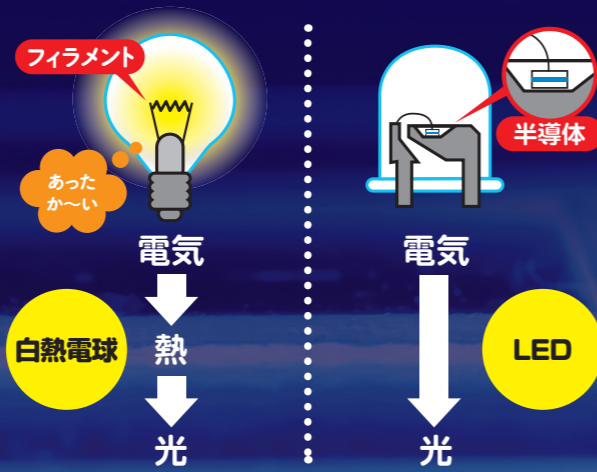


Hiroshi  
Amano

**1879年** にトーマス・エジソンが開発して以来、白熱電球は暗い夜でも私たちの生活空間を明るく照らしていますが、その白熱電球にはさまざまな問題がありました。

白熱電球は電球の中にある金属製のフィラメントに電気を流すことで光っています。しかし、光っているときのフィラメントの温度は2500～3000℃もの高温になるため、電気を流し続けると少しずつ細くなって、いつかは切れてしまいます。そのため白熱電球の寿命は1000～1500時間程度しかなく、定期的に電球を交換する必要がありました。

しかも、照明器具なのに電気の一部は不必要



### 白熱電球と発光ダイオード(LED)の違い

白熱電球はフィラメントが光るときに熱を発するので、無駄な電気を使ってしまふ。一方、発光ダイオード(LED)は光るときに熱を発することがないので省エネルギーだ。

な熱に変わってしまうため、無駄な電力を使わない省エネルギーが求められている現在、白熱電球を使い続けることはできないでしょう。

そこで、近年、急速に普及しているのが発光ダイオード(LED)です。

**LEDには** フィラメントの代わりに半導体が使われています。半導体は、電気を流すことができる導体と、電気を流すことができない絶縁体の中間の性質を持つ物質で、外部から電圧、磁力などを加えることで、電気を流したり、流せなくしたりすることができます。

LEDに使われる半導体はマイナスの電子が多い「n型半導体」と、電子を受け取るプラスの穴(これを「正孔」といいます)が多い「p型半導体」の2種類をつなげてつくられています。ここに電圧をかけるとマイナスの電子とプラスの穴が動き、衝突して光を放ちます(図参照)。白熱電球のように熱を発することはないので省エネルギーで長持ちします。LEDの寿命は約10万時間ともいわれられており、白熱電球よりも寿命が長い蛍光灯の6000～1万5000時間よりもずっと長寿命です。

**だからこそ、** LEDは急速に普及しているのですが、LEDが発明されたのは意外に古く、1962年にアメリカのゼネラル・エレクトリック社のニック・ホロニアック博士によって発明されました。

だったら、もっと早くに普及してもよさそうなものですが、LEDはなかなか広まりませんでした。その理由は青色の光を発するLEDがずっと開発できなかったからです。

LEDが発する光の色は、マイナスの電子とプラスの穴がぶつかる時のエネルギーによって決まります。

赤、黄色、そして、青へと光の波長が短くなるほど光のエネルギーは高くなり、高いエネルギーの光を発するLEDほど半導体の材料となる結晶は硬くなるため、つくことは難しくなります。

低いエネルギーでも発することができる赤い光のLEDは1962年に開発されていました。その後、1968年には黄緑色のLEDが、1972年には黄色のLEDが開発されましたが、LEDを使ってフルカラーの光をつくり出すには青色LEDが必要でした。

ここで下の図を見てください。これは光の3原色を示しています。赤色と緑色のLEDしかなければ、両者を合わせたときの黄色しか出すことはできません。しかし、青色の光が加わると白を含むほとんどの色を再現できるようになります。

そのため世界中の多くの研究者が青色LEDの開発に取り組んだものの、青色LEDはなかなか実現せず、「20世紀中の実現は不可能」とまでいわれていました。

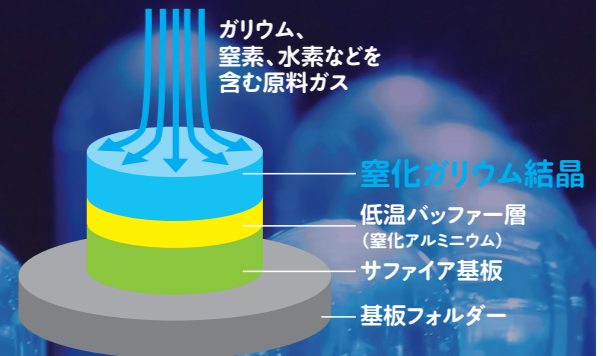


### 光の3原色

赤色、緑色、青色の光を重ね合わせると白色の光をつくることができ、照明に利用できるようになります。

**名城大学の** 赤崎勇終身教授も、青色LEDの開発に取り組んだ研究者の1人でしたが、赤崎教授は他の研究者と違っていました。他の研究者がセレンと亜鉛を結合させたセレン化亜鉛や、炭素とケイ素が結合した炭化ケイ素を材料に青色LEDの開発を進める中、赤崎教授は窒素とガリウムが結合した窒化ガリウムを選んだのです。

しかし、窒化ガリウムには高品質の結晶ができてくれないという大きな問題がありました。LEDの材料となる結晶は、サファイアの基板の上にガス状の材料を吹き付けて作成するのですが、サファイアと窒化ガリウムでは物質を構成する原子の間隔が異なるため、きれいな結晶はできないと考



### 赤崎教授が開発した窒化ガリウム結晶の製造法

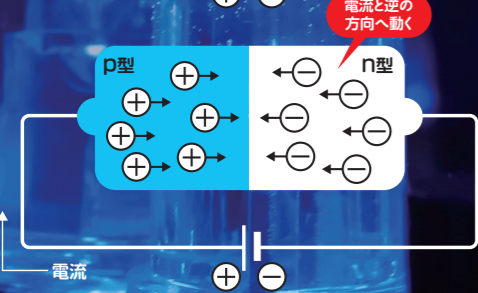
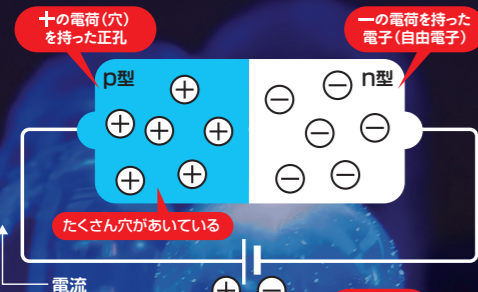
サファイア基板の上に窒化アルミニウムの薄膜をつくり、その上からガリウムや窒素などを含む原料ガスを吹き付けることで、赤崎教授は窒化ガリウムの結晶をつくることに成功しました。

えられていました。実際、サファイア基板の上で窒化ガリウムの結晶をつくと、表面に数多くの亀裂が入り、小さな穴ができてしまいました。

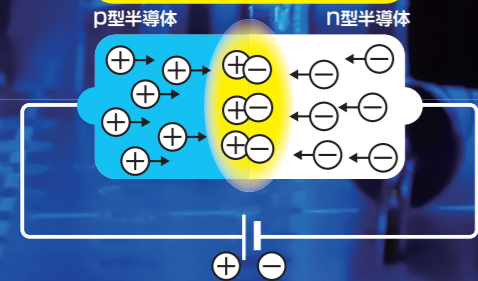
それでも赤崎教授が窒化ガリウムにこだわったのには理由がありました。1964年から17年間在籍した松下電器産業(現在のパナソニック)で、赤崎教授はガリウムにリンやヒ素を結合させたリン化ガリウム、ヒ化ガリウムの結晶をつくることに成功していたからです。

とはいえ、サファイア基板に結晶をつくる限り、原子の間隔の違いが問題になります。名古屋大学工学部に移籍した赤崎教授は、別の研究で開発していた「低温堆積バッファ層技術」を、窒化ガリウムの結晶づくりに活用することを思いつきま

### LEDチップの基本構造



### LED発光のしくみ



### 発光ダイオード(LED)が光るしくみ

発光ダイオード(LED)はn型半導体とp型半導体をつなげてつくられています。LEDに電圧をかけると、n型半導体のマイナスの電子、p型半導体のプラスの穴がそれぞれ動いて、衝突すると光を発します。

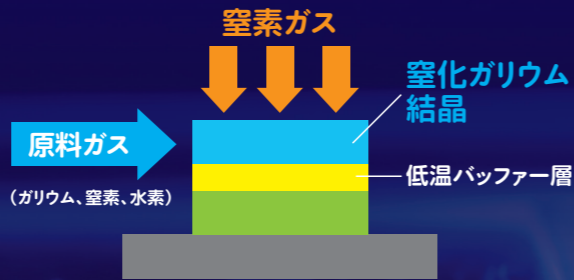
した。これは基板と結晶の間に両者の性質の違いを和らげる物質を置く技術で、窒化ガリウムの結晶ができるときに生じるひずみを少しでも抑えられないかと考えました。

そこで、サファイア基板の上に、まず窒化アルミニウムの薄い膜をつくることになり、この実験を、当時、赤崎教授の研究室で大学院生をしていた天野浩教授が担当しました。天野教授が薄膜をつくった後、ガリウム、窒素などを含むガスを吹き付けると、窒化アルミニウム被膜の上に表面がなめらかで無色透明の結晶が出来上がりました（前ページ図参照）。

この結晶はp型半導体であったため、微量のマグネシウムを加えることで、1989年にn型半導体をつくることにも成功。両者をつなげて電気を流すと青い光を放しました。ついに青色LEDが出来上がったのです。

**ただし、**青色LEDを広く普及させるためには、大量生産する技術が必要不可欠です。窒化ガリウムの結晶をつくることは、赤崎教授、天野教授の研究グループが成功したわけですが、結晶をつくり続けているとサファイア基板が熱くなって上向きの対流が発生し、ガスを吹き付けても結晶ができなくなってしまいました。これでは安定して窒化ガリウムの結晶を製造することはできないでしょう。

この問題をいち早く解決したのが、当時、日本の日亜化学工業に勤めていた、カリフォルニア大学サンタバーバラ校の中村修二教授でした。中村教授は上から窒素ガスを吹き付ける一方、半導体の材料となるガリウム、窒素などを含むガスを横から吹き付ける「ツーフロー方式」を考案しました（右上図参照）。この方式によりサファイ



### 中村教授が開発したツーフロー方式

加熱されたサファイア基板には上向きの対流が生じるため、窒化ガリウムの結晶を大量生産することはできませんでした。中村教授は窒素ガスを上から吹き付けて上向きの対流を抑えるとともに、ガリウム、窒素などを含む原料ガスを横から吹き付けることで、安定して窒化ガリウムを製造するツーフロー方式を開発しました。

ア基板に生じる上向きの対流は抑えられ、安定して窒化ガリウムの結晶をつくり出すことができるようになりました。中村教授が所属していた日亜化学工業が1993年に青色LEDを製品化。これで本格的にLED照明の普及の道が拓かれたのです。

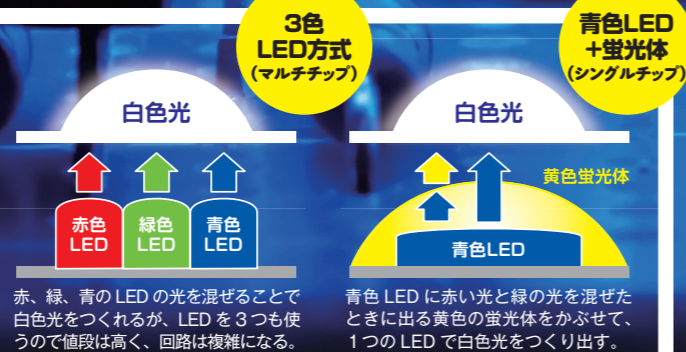
その後、LEDは照明器具として利用されるだけでなく、以前は蛍光灯が使われていた液晶テレビのバックライトにもLEDが使われています。現在、私たちが便利なスマートフォンを使うことができるのも、バックライトにLEDが採用されたからだといっても過言ではないでしょう。

しかし、LEDの開発が終わったわけではありません。結晶の品質を高めることで、さらなる省エネルギーの実現が目指されていますし、サファイア基板が高価であることに着目して窒化ガリウムそのものを基板にする技術の開発も進められています。

日本人研究者によって開発された青色LEDはさらなる技術革新によって未来を照らす光を放しようとしているのです。

### 現在、LEDで白い光をつくる代表的な方法

赤、緑、青のLEDの光を混ぜて白色光をつくる方法は「3色LED方式（マルチチップ）」と呼ばれている。ただし、LEDを3つも使い値段が高くなるため、1つのLEDで白色光を出す「シングルチップ」が考案された。青色LEDを使う場合、黄色の蛍光体をかぶせることで白色光を出すことができる。



# KoKa 読者にメッセージ 「研究者を目指すキミへ」

受賞発表直後の超お忙しい中、KoKa読者のためにコメントを寄せてくださったゾ。研究者にあこがれているキミへ、ノーベル賞研究者からメッセージだ!

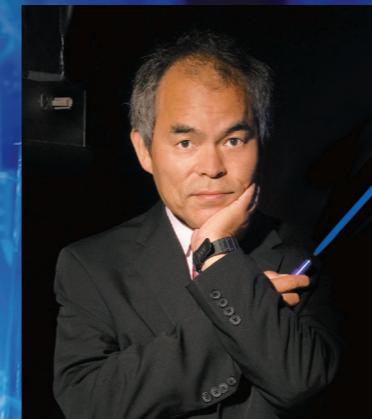
## from 赤崎 勇先生

子供のころから鉱物や大木を見るのが好きでした。研究中、何年も成果が出ない日々も、実験で得た結晶を顕微鏡で眺めながら、自分の好奇心を信じてやり続けました。信念を持ち続けた結果がこの発明につながったと思います。みなさんもまずは自分の好きなことを見つけて育ててください。好奇心からしか、ひらめきや発見は生まれません。好奇心を大切にしましょう。



## from 中村修二先生

自分の好きなこと、あるいは夢を見つけて、それに向かって、頑張るって、勉強してください。



## from 天野 浩先生

自分自身、小学校5、6年のころはソフトボールとサッカーに明け暮れ、研究者のことはまったく考えたこともなかった。皆さんのことを本当に頼もしく思います。研究者というのは探求心が大切です。興味を持ったことはとことん自分で調べ、自分で考えてみましょう。我々よりもっと大きな貢献をする人が、これからたくさん生まれることを期待しております。

次号予告!

2015年1月号にてノーベル賞を受賞された天野浩先生に特別インタビュー掲載決定!

どんな少年時代を過ごしていたか、研究でくじけそうになったときどうしていたか、などなどいろいろ話していただいたゾ。乞うご期待。