

## 過酷な環境で威力を発揮するダイヤモンド深紫外線発光ダイオードを開発

### ■ ポイント ■

- ・ダイヤモンドで波長 235 nm の深紫外線の発光を実現
- ・400 °Cを越える高温でも発光強度が増加し続ける
- ・2000 A/cm<sup>2</sup>を越える高密度の電流注入でも発光効率が增加し続ける
- ・小型・長寿命・高出力・冷却フリーの深紫外線光源の実用へ向けて一步前進

### ■ 概要 ■

独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 吉川 弘之】(以下「産総研」という) ナノテクノロジー研究部門【研究部門長 南 信次】高温量子エレクトロニクスグループ 牧野 俊晴 特別研究員、山崎 聡 研究グループ長らは、ダイヤモンド<sup>[1]</sup>半導体<sup>[2]</sup>ダイオードの構造を改良することにより、400 °Cを越える高温でも、2000 A/cm<sup>2</sup>を越える高い電流密度でも劣化しない、むしろ発光強度が増加し続ける、波長 235 nm (ナノメートル: ナノは10億分の1) の深紫外線<sup>[3]</sup>発光ダイオード (以下「LED」という<sup>[4]</sup>) を開発した。

波長が 360nm 以下の紫外光源は、殺菌・浄水、高密度光記録用光源・蛍光分析等の各種情報センシング、医療・バイオ分野、等への幅広い応用用途がある。このため、小型軽量化が可能な紫外線 LED の実現が必要とされている。現在は主に AlGaN 系半導体<sup>[5]</sup>材料で精力的に研究が進められているが、高い電流密度でのデバイスの自己発熱<sup>[6]</sup>による発光特性の劣化などの問題を抱えている。一方、ダイヤモンドは物質中で最高の熱伝導度を持ち、それ自体が高効率で熱を放散するヒートシンク (放熱) 材料である。また、非常に高い硬度・透明性・絶縁破壊電界・移動度などの優れた半導体としての物性を併せ持っており、光デバイス・電子デバイスなどへの応用が期待されている。LED への応用では、小型・長寿命ばかりでなく、高電流密度・高温動作などの高性能化が期待できる。しかし、半導体材料としての高品質な薄膜を作製できず、これまで実用に耐え得るような性能を持つ半導体デバイスの開発は遅れていた。

産総研ではこれまで行ってきたダイヤモンド薄膜の作製技術の高度化、発光機構に関する研究を基に、新たにデバイス構造を設計し、高出力 (高電流密度、高温) 領域でも発光特性が劣化しないダイヤモンド半導体 LED の試作に成功した。この LED は電子と正孔の対である“励起子<sup>[7]</sup>”と呼ばれる状態を用いた新しい原理で発光する深紫外線 LED (発光波長: 235 nm、出力 30 μW) であり、室温から 420 °C という高温にしても発光強度が劣化せず、むしろ増加し続けることが検証された。また、この LED は電流密度が 2000 A/cm<sup>2</sup> (電極面積は直径 120 μm) を越えても発光効率が飽和せず、増加し続ける性質を示した。これらのデータは、既存の GaN 系半導体<sup>[5]</sup>LED の許容動作温度 (~100 °C 以下) や研究開発中の AlGaN 系半導体 LED の最大動作電流密度 (~500 A/cm<sup>2</sup> 以下) を大きく上回る。ダイヤモンド深紫外線 LED は、このような過酷な環境下においても、冷却用のヒートシンクなしで安定に動作する、小型・長寿命・高出力の深紫外線光源として幅広い応用展開が可能である。

本研究における LED 開発は、主に独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構ナノテク・先端部材実用化研究開発「深紫外線発光ダイオードの研究開発」プロジェクトの下、独立行政法人 物質材料研究機構、株式会社 神戸製鋼所、ローム 株式会社との共同研究により実施された。また高温における動作確認実験は、独立行政法人 科学技術振興機構の産学共同シーズイノベーション事業頭在化ステージ「自動車動力系利用のための高温動作光素子開発」プロジェクトの下、株式会社 日産自動車との共同研究により実施された。本研究成果は 2009 年 3 月 30 日~4 月 2 日に茨城県つくば市で開催される応用物理学会で発表される。

■ 用語説明 ■

<sup>1</sup>[ダイヤモンド] 産業用に使用されるダイヤモンドはほとんどが人工的に大量生産されたものである。主な合成方法には、高温（約 1500℃）・高圧（約 5 万気圧）で作る高温高圧合成法と、低圧（約 0.1 気圧）のメタンと水素からなる原料ガスをプラズマ等で反応させる気相合成法との 2 種類がある。気相合成法は大面積・薄膜形成、不純物制御、等の他の方法では実現できない技術に適用が可能で、ダイヤモンド LED もこの方法により作製している。

<sup>2</sup>[半導体] 周囲の電場や温度によって電気をどの程度通すかを変化させることができる材料。

<sup>3</sup>[深紫外線] 紫外線の中でも波長が短く、エネルギーが強い 200 nm から 350 nm 付近の光を深紫外線という。

<sup>4</sup>[発光ダイオード] LED とも呼ばれる。電気エネルギーを光エネルギーに変換する半導体デバイス。p 型半導体と n 型半導体の接合構造が基本構造である。LED に電圧を印加すると、p 型半導体中を正孔が伝導し、n 型半導体中を電子が伝導し、その接合付近で正孔と電子が再結合する。この時生じるエネルギーに対応した波長で発光する。

<sup>5</sup>[AlGaIn 系半導体、GaIn 系半導体] GaIn（窒化ガリウム）系半導体は窒化物半導体材料の 1 種で、現在市販されている高輝度青色 LED の材料である。AlGaIn 系半導体も窒化物半導体材料の 1 種で、最もバンドギャップの大きい半導体材料である AlN（窒化アルミニウム）と GaIn の混晶である。

<sup>6</sup>[自己発熱] LED に電圧をかけると電流が流れ、LED の抵抗と相まって LED 自体が発熱する。LED は熱に弱く、放熱の必要性は白熱球や蛍光灯よりむしろ高い。ヒートシンクなどで適切に放熱しないと効率の低下や寿命の短縮につながる。現在、市販されている GaIn 系半導体 LED では、動作温度の最大定格は 80~100℃となっている。

<sup>7</sup>[励起子] 光などの励起によって半導体や絶縁体中に生成された電子（負の電荷を持つ）と正孔（正の電荷を持つ）は、クーロン引力によって引き合いペアを組んだ状態になることがある。この電子と正孔のペアは、あたかも一つの粒子として取り扱うことができ、この状態を励起子という。エキシトンとも呼ばれる。

■ 図 ■

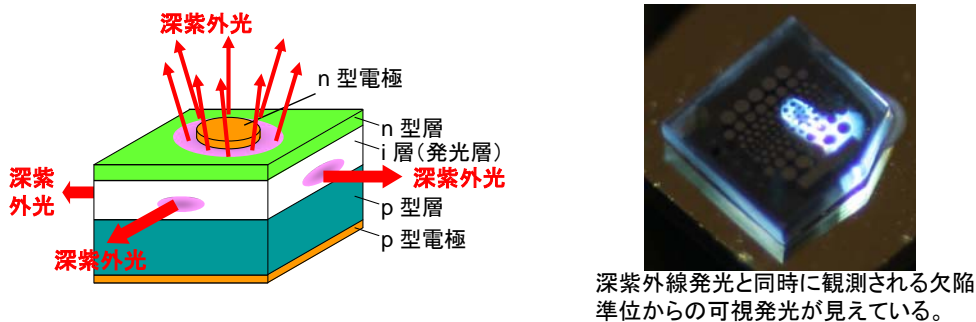


図1 試作したダイヤモンド深紫外線LEDの構造と発光の様子。

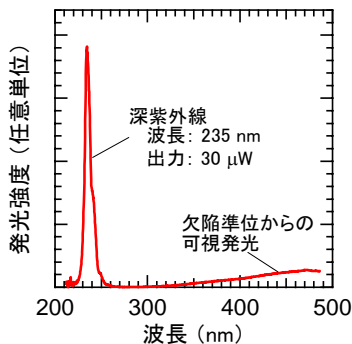


図2 室温・パルス動作での発光スペクトル（注入電流は320mA）。鋭い深紫外線発光ピークが観測される。

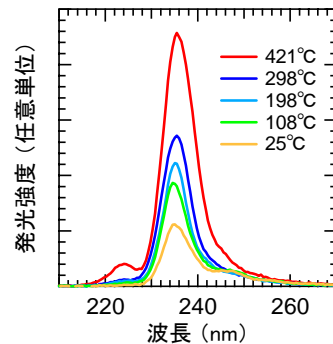


図3 深紫外線発光スペクトルの環境温度依存性（注入電流は50mA）。421℃の高温でも発光強度は増加し続ける。

■ 問い合わせ先 ■

独立行政法人 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門

主幹研究員 山崎 聡 TEL: 029-861-2632, FAX: 029-861-2773, E-mail: s-yamasaki@aist.go.jp

特別研究員 牧野 俊晴 TEL: 029-861-5080 (55366), FAX: 029-861-2773, E-mail: toshiharu-makino@aist.go.jp