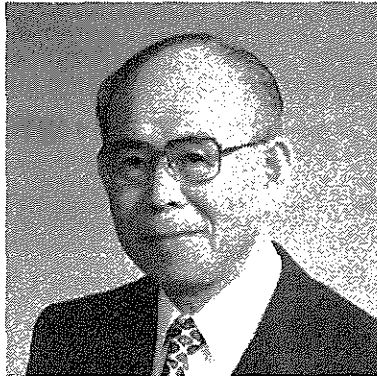
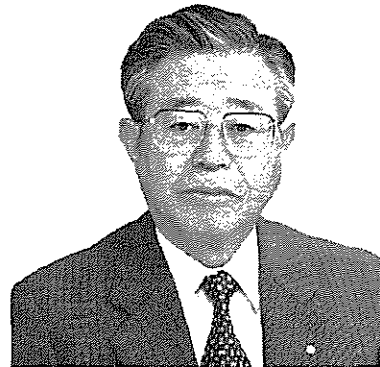


窒化ガリウム系高性能青色発光素子

研究者 赤 崎 勇 名城大学 理工学部 教授
開発企業 堀 籠 登喜雄 豊田合成株式会社 代表取締役社長
(推薦者 飛 田 武 幸 名城大学 理工学部長)



赤 崎 勇 氏



堀 籠 登喜雄氏

1. 技術の背景

発光ダイオード (Light Emitting Diode:LED) は、電子と正孔の再結合により光を放出させる半導体素子であり、小型、軽量、低電圧発光、高速応答、高信頼性等の特長がある (図1)。LED分野においては、光の三原色のうち赤色LED、緑色LEDは約20年前に実用化されている (図2)。特に赤色LEDはその後のめざましい性能改良により既に光度10cd以上が達成されており、エレクトロニクス産業の急速な発展に伴いパイロットランプをはじめ、数字表示素子、スイッチ、プリンタ用光源等のみならず大型LED表示機、信号灯等に広く利用されている。一方、青色LEDは約10年前頃から発光層に炭化珪素 (SiC) やセレン化亜鉛 (ZnSe) を用いたものが開発されてきたが、光度は数10mcd程度にとどまっていたため、赤色LEDに比べ実用化が大きく遅れていた。青色LEDの高輝度化が達成されれば、赤色LED、緑色LEDとあわせてフルカラー化や白色化が可能になり、大型フルカラーディスプレイの実現が期待される。このため、青色LEDの大幅な高輝度化が望まれていた。

2. 技術の概要

本技術は、窒化ガリウム（GaN）系半導体を用いたpn接合型の高輝度青色LEDに関するものである。青色LED用の材料としてはZnSe、SiC、GaNが有望であるとして研究開発が進められてきた。この結果、ZnSeはある程度の輝度は実現されたものの動作寿命の課題が懸念され、SiCは間接遷移型であることから光度は数10mcd程度にとどまっていた。一方、GaNは、直接遷移型であり発光効率が高い等の長所があるため、1960年代後半より青色LED用半導体として研究が進められてきた。しかし、GaNは高融点で高窒素蒸気圧であるとともに、格子定数が類似した適当な基板が存在しないため、ミスマッチの大きいサファイア基板上へのヘテロエピタキシーによらざるを得ず、高品質の単結晶を得ることが困難であった。また、p型導電性を得ることができなかつたため、発光効率の高いpn接合型のLEDが実現できないという問題があった。

本技術は、高品質のGaN単結晶を成長させるとともにp型GaNを得ることにより、高輝度青色LEDを実現したものであり、その詳細は以下の通りである。

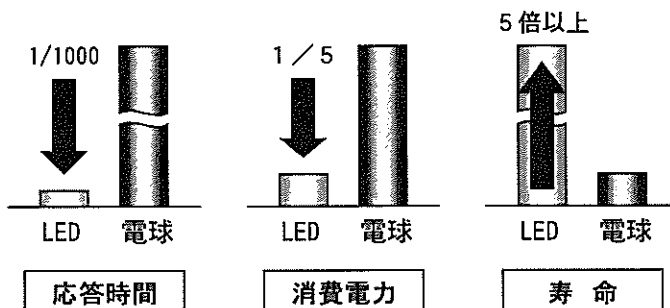


図1 LEDの特長

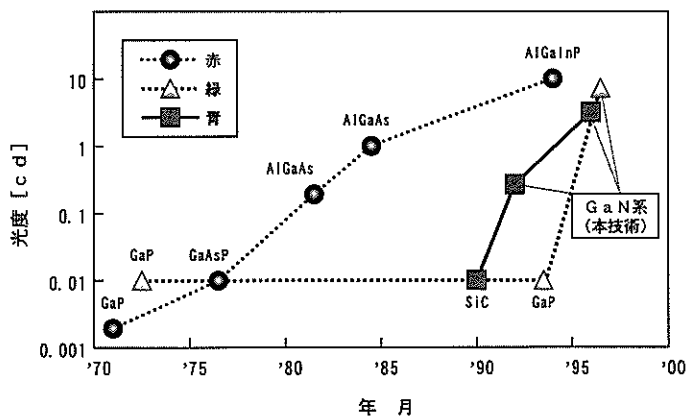
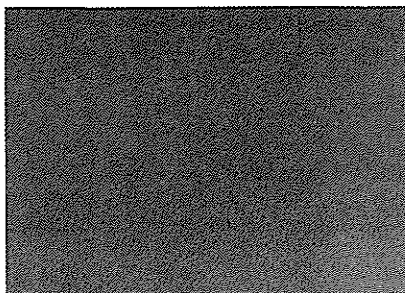


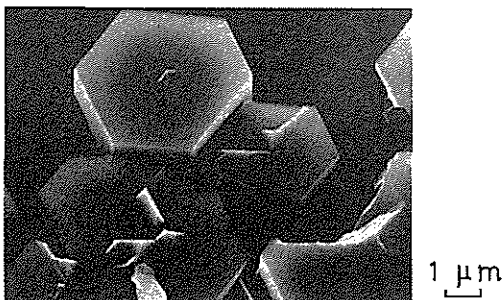
図2 LED実用化の歴史

- ① サファイア基板上有機金属化合物気相結晶成長 (MOVPE) 法により低温で堆積させた薄い窒化アルミニウム (AlN) をバッファ層とすることにより、高品質の GaN 単結晶を得た。サファイア基板に直接 GaN を成長させた場合、六角形の島状の結晶が不均一に成長するため、表面の凹凸が激しく、多数のクラックが存在する GaN しか得られない。バッファ層として AlN 層を挿入することにより、GaN 結晶の核が均一に発生し、平坦で高品質な GaN を成長させることができた (写真 1)。
- ② マグネシウム (Mg) をドーピングし、さらに電子線を照射することで p 型 GaN を得た。また、シリコン (Si) をドーピングすることにより n 型 GaN の導電率の制御性を高めた。これにより pn 接合の実現に成功し、あわせて高輝度化を達成した。GaN に Mg をドーピングするだけでは絶縁性を示すが、研究者等は電子線照射することにより活性化して p 型導電性を示すことを見出した (図 3)。

図 4 は本技術による青色 LED の構造である。n 型 GaN から電子が、p 型 GaN から正孔がそれぞれ発光層に注入され、再結合して発光する。発光層を多重量子井戸構造 (GaNN/GaN MQW (Multiple Quantum Well)) にする等の構造の最適化により光度 3 cd (発光効率 12%) の青色 LED を得ている (写真 2)。



(a) AlN バッファ層あり



(b) AlN バッファ層なし

写真 1 AlN バッファ層の効果

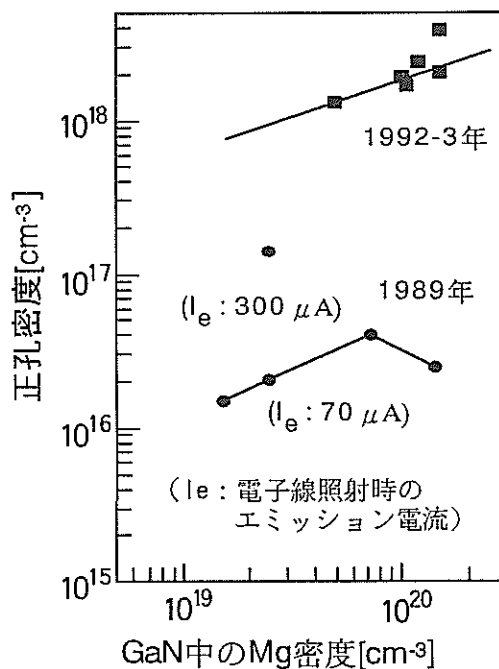


図 3 電子線照射による p 型 GaN の実現

3. 効果

本技術による青色LEDは4V弱の駆動電圧で世界最高水準の光度3cd以上を達成し、また、本技術を応用した緑色LEDも開発され光度8cd以上が得られており、信号灯など種々の表示用素子として利用されている(写真3)。赤色LEDに加え、高輝度の青色LED、緑色LEDが実現されたことにより、LEDによるフルカラーディスプレイや白色LEDが市場に登場しており、今後、街頭や野球場等での大型ディスプレイや交通案内表示板等に普及していくものと考えられている(写真4)。これらの表示デバイスは、低消費電力で、明るい屋外でも見やすく、有害物質を含まない等のことから、地球温暖化防止等の環境保全や安全の向上等に寄与することが期待される。

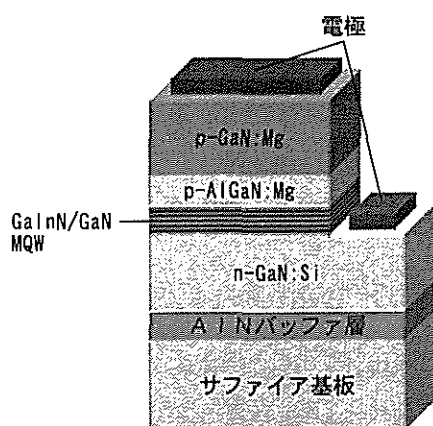


図4 青色LEDの構造

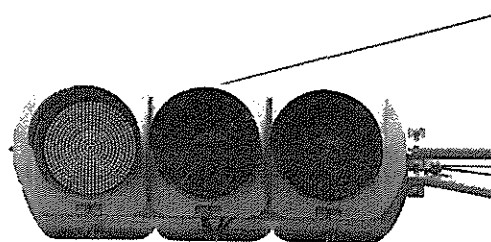


写真3 LED信号機

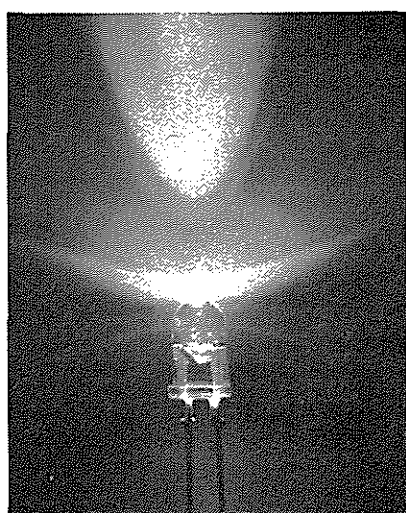


写真2 高輝度青色LED



写真4 大型フルカラーLEDディスプレイ