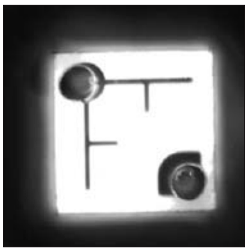

超高輝度赤外LEDの開発

北林弘之*・石原邦亮・川端吉純
松原秀樹・宮原賢一・森下知典
田中　聡

Development of Super High Brightness Infrared LEDs —— by Hiroyuki Kitabayashi, Kuniaki Ishihara, Yoshisumi Kawabata, Hideki Matsubara, Ken-ichi Miyahara, Tomonori Morishita and So Tanaka —— We have developed super high brightness infrared light emitting diodes (LEDs). The LEDs at the wavelength of 870 nm reached record-breaking output power of 9.8 mW, which was more than 1.3 times higher than the evaluated value of the conventional 850 nm LEDs. These super high brightness infrared LEDs can be fabricated without using time and cost consuming wafer bonding technologies, such as metal bonding and glue bonding. They are also free from reliability issues possibly arising from the bonding interfaces. The new super high brightness infrared LEDs are promising as a light source for the future applications such as high sensitivity sensors.

Keywords: infrared light emitting diode, multiple-quantum well

1. 緒　言

発光波長が赤外領域（800～980nm）の赤外発光ダイオード（LED: Light Emitting Diode）はリモコンの光源や、フォトカプラー、IrDA（Infrared Data Association）を初めとした赤外線通信に広く使用されている。

高出力赤外LEDの主な市場を**表1**に示すが、上記の用途に加えて今後大きな市場の拡大が予測されている監視カメラやナンバープレート読み取り用光源、FA（Factory Automation）や煙検知等のセンサ用やデジタルカメラ等の測距用途には、従来以上の高出力のLEDが必要とされている。

これまで当社では、赤外LED向けGaAs系LPE（Liquid Phase Epitaxy）エピに加えて、今後一層の伸びが見込まれる高出力赤外LED用途に向け、発光波長940nmの高出力赤外LEDを開発してきた[1]。先般開発した940nmのLEDは一般的な850nm帯の赤外LEDと比較して、夜間に使用しても赤見えがしない、日中に使用する際に外乱光となる太陽光スペクトルの吸収帯と発光ピーク波長が一致していることから低ノイズのシステムが比較的容易に構築可能である、といった顧客訴求を追求したものであった。

一般に、LEDの高出力化のための課題は大きく以下に分類できる。（1）活性層の改善による内部量子効率の向上、（2）光取り出しの改善による外部量子効率の向上。このうち、（2）の外部量子効率の改善は、具体的には、LED表面にテクスチャーを形成し表面における光の全反射を低減することによる取り出しの改善と、チップ内部における光吸収の低減による改善とに分けられる[2]。

図1に一般的な高出力チップの構造を示す。これらは、Substrate removed double hetero型（DDH型）、金属貼付型（MB型）、樹脂貼付型（GB型）に分類され、それ

表1　高出力赤外LEDの市場

- LED一体型監視カメラ、屋外投光器
- 車載カメラ用光源
- ナイトビジョンシステム
- ナンバープレート読み取り照明
- FA、及び、住宅用各種センサ
- デジカメ、携帯カメラ用測距
- 赤外データ通信

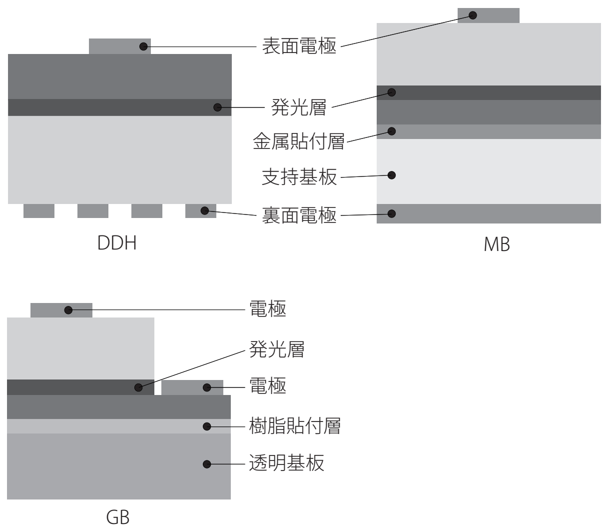

図1　高出力LEDのデバイス構造

表2　各種高出力LED構造の比較

項　目	DDH型	金属貼付	樹脂貼付	新開発
光出力	○	○	◎	◎
デバイスプロセス	○	△ 貼付複雑	△ 貼付複雑	○
信頼性	◎	○	△	◎
軸上輝度	○	◎	○	○
放熱性	○	○	△	○
静電耐圧	○	○	△	○

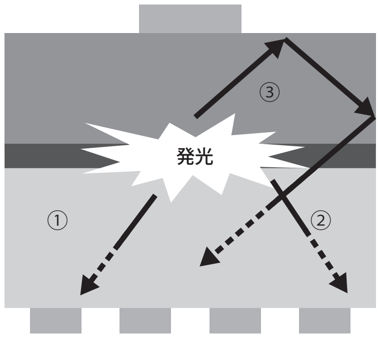

図2　LEDの発光と吸収機構

ぞれ**表2**に示すような特徴を有している。中でもGB型LEDは、発光波長に対する基板による吸収を極限まで抑えることが可能な透明絶縁性基板を用いることができることから、最も高出力のLEDの実現が期待できる構造であり、AlGaInP系の赤色LEDにおいて、実際に高出力のLEDが実現されている[(3)]。しかしながら、樹脂貼付に起因する長期信頼性の問題や、絶縁性基板を用いることからLEDの静電破壊耐圧が十分でないといった問題点を有しており、赤外LEDの分野においては、未だ十分に実用化されていないのが実情である。

そこで当社では、樹脂貼付を用いずにGB型チップと同等の高出力を実現することができ、貼付に起因する信頼性の問題やチップの静電破壊の問題を改善できる赤外LEDを開発し、従来MB型製品比1.3倍以上の光出力特性を達成することに成功した。これは、信頼性問題で実用化前のGB型と比較しても出力は同等以上、かつ、信頼性十分な優位性をもったデバイスである。本稿では、第2章において今回開発したエピ構造の概要、第3章においてそのエピを用いて作製した超高輝度赤外LEDの特性評価結果、最後に第4章でまとめを述べる。

2.　赤外LED用エピによるLEDの出力向上方法

LEDの光出力を大きくするには、活性層における発光効率そのもの（内部量子効率）を高くする方法と、活性層で発光した光を最大限に取り出す方法がある。

図2に示すように、LEDチップは活性層において注入された電子とホールが再結合する際に光を放出するが、この発光の効率である内部量子効率はエピタキシャル層の成膜技術と構造の最適化によって既に十分なレベルに達している。発光のチップ外部への取り出しを阻害する要因としては、①活性層以外の半導体層におけるバンド端吸収、②半導体基板の伝導電子や正孔によるフリーキャリア吸収、③チップ表面における全反射、が考えられる。

我々は今回、貼付工程を必要としない高出力赤外LED用途のAlGaAs透明半導体厚膜エピの開発を行ったが、その際に解決すべき問題となるのは上記の①と②であった。それらの問題を解決するため、発光波長に応じたAlGaAs透明エピタキシャル層のAl組成とキャリア密度を深さ方向に対して構造設計し、AlGaAs半導体層のバンド端吸収とフリーキャリア吸収を低減することにより透明度の向上を実現し、それと同時にデバイスの電気特性をも両立するエピ構造の開発に成功した。上記のエピ構造の最適化は、個別の必要LED特性に合わせて自由に構造設計することが可能である。

3.　870nm赤外LED特性評価結果

3－1　赤外LED用エピ構造　　今回開発した赤外LED用AlGaAsエピの構造を**図3**に示す。基板の直径は50mmで、n型GaAs基板上にAlGaAs透明エピ層を100～150um積層し、その上にMOVPE（Metalorganic Vapor Phase Epitaxy）エピタキシャル成長法を用いて多重量子井戸（MQW: Multi Quantum Well）活性層を成長した。

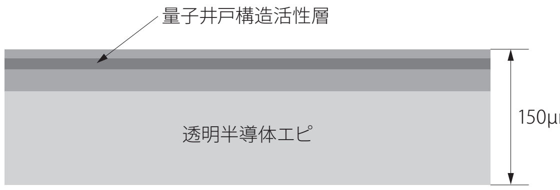

図3　新開発高輝度赤外LED用AlGaAsエピ構造

3－2　デバイス構造　　**図4**に、今回開発した基板を用いて作製した赤外LEDの構造を示す。形成したLEDエピ構造上にはp型の全面透明電極とワイヤボンディング用のパッド電極を形成している。透明導電膜の組成コントロールにより、p型GaAs系半導体上へのオーミック型接触と透明導電膜自体の低抵抗化を実現し、必要電気特性と発光波長に対する透明性を兼ね備えた電極となっている。エピタキシャル層の一部分をエッチングし、エッチングにより

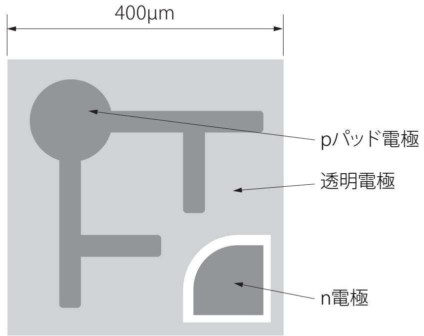

図4　新開発赤外LED構造

露出したn型エピ上にn電極を形成した、上面2電極構造となっている。

チップサイズは400μm角でチップ厚みは150μmである。pパッド電極径は100μmøとなっている。チップの裏面と側面にはチップ内部からの光取出しを向上させる目的で粗面化処理を施している。

3－3　DC特性　**図5**に発光波長870nmと940nmの試作デバイスの電流−光出力特性を示す。評価はTO－18タイプのステムにベアチップ状態のLEDを実装することで行っている。光出力の評価は積分球を用いて実施した。図には、従来の金属貼付（MB型）850nm高輝度赤外LEDチップの光出力特性も同時に示している。今回開発した870nmのLEDの光出力は20mAの電流値に対して9.8mWであり、比較のMB型チップ（光出力：7.4mW）の1.3倍以上の高輝度を実現することに成功している。また、940nmのLEDの出力は8.4mWであり、こちらも以前に報告[(1)]のLEDの出力を1.5倍以上上回る高輝度を実現している。

直流順方向電流20mAにおける順方向電圧はそれぞれ、1.43V（870nm）と1.47V（940nm）であり、実用上十分な特性を示している。尚、デバイス電圧に関しては、AlGaAsエピの構造、また、p側パッド電極パターンの最適化により更なる低減が可能である。

870nmのデバイスの発光スペクトルを**図6**に示す。発光波長873.6nm、発光スペクトルの半値幅は19.5nmのシャープな発光が得られている。

870nmのデバイスを用いて、指向角30度の砲弾型ランプを作製した。エポキシ透明樹脂を用いて封止しておりサイズは5mmøである。その電流−光出力特性を**図7**に示す。20mAにおける光出力は13.3mWであり、超高輝度の砲弾型ランプを実現できている。

このように、今回開発したAlGaAs系LEDエピを用いて、バンド端吸収と自由キャリア吸収をコントロールすることで、超高輝度の赤外LEDを実現できることを実証することができた。

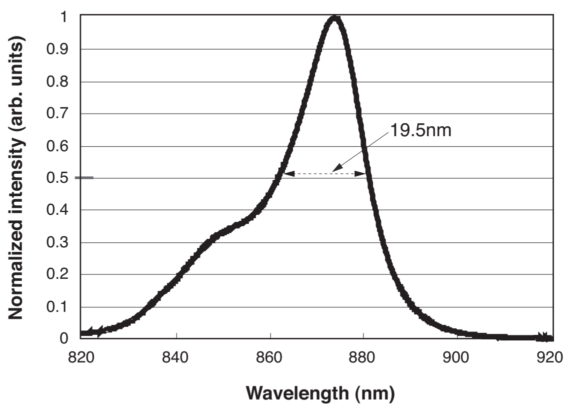

図6　新開発870nm赤外LEDの発光スペクトル

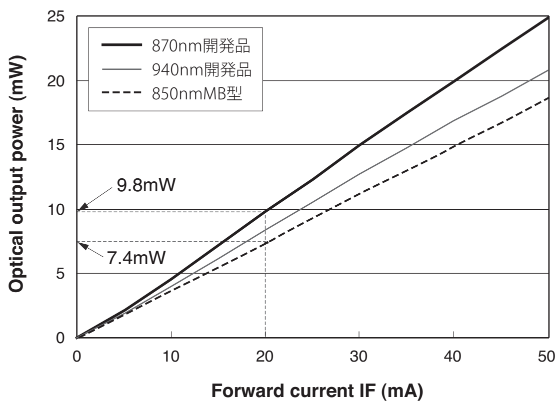

図5　新開発赤外LEDの電流ー光出力特性

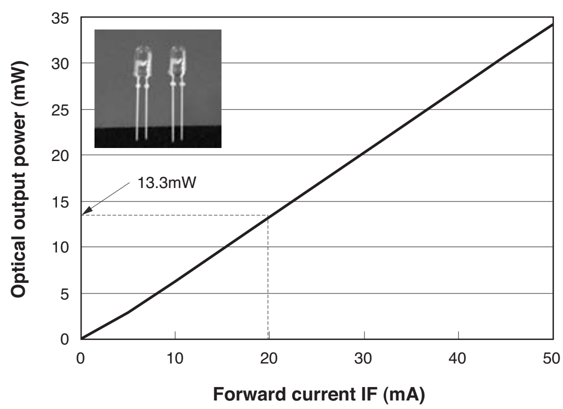

図7　新開発870nm赤外LEDを用いて作製した5mmøの砲弾型ランプの電流ー光出力特性

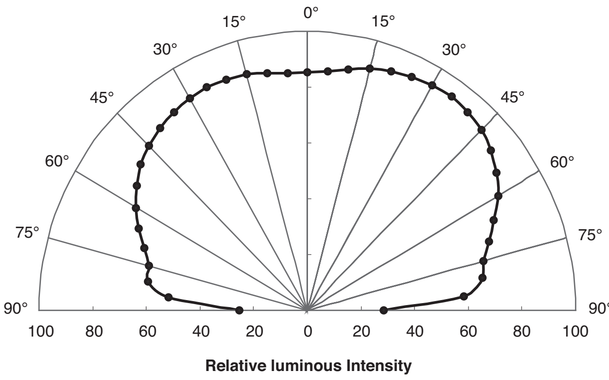

図8　870nm赤外LEDの指向特性

3－4　指向角評価　870nmのLEDの指向角の評価結果を**図8**に示す。評価は、TO－18タイプのステムにベアチップ実装したデバイスを用いて行っている。図は電流値20mAにおける評価結果である。指向角は158°であり、反射MB型薄膜タイプチップの指向角である124°よりは大きな値となり、この点については改善の余地がある。

3－5　静電破壊評価　今回作製したLEDの静電破壊（ESD: Electro-Static Discharge）試験を実施した。測定モデルとしては人体モデル（100pF、直接負荷抵抗1.5kΩ）を用い、＋700V、－700Vの電圧を5回ずつ印加し、逆方向耐圧Vrの変化の有無を確認した。結果、デバイスは十分な静電破壊耐性を示すことが確認された。絶縁基板上のGB型LEDや、絶縁サファイア基板上のGaN系LEDでは、一般に静電破壊耐圧が不十分であることが知られており、LED単体ではなくツェナーダイオード（Zener diode）とともに用いられることが多い。今回開発のLEDは、静電破壊耐性の観点からもGB型LEDに対して優位な特性を示すことが明らかになった。

4. 結　　言

当社が培ってきたGaAs系化合物半導体高性能エピ成長技術とエピ構造の最適化により超高輝度赤外LEDの開発に成功した。870nmの赤外LEDでは、従来の850nm赤外LED比1.3倍以上の性能を達成した。

今回開発したエピは、850nm帯から940nm帯の波長域の赤外LEDに適応可能であり、デバイス作製プロセスが複雑となり時間やコストのかかる貼付技術を必要としないばかりでなく、基板の構造設計の自由度により、各種の従来型LEDの特性を上回るデバイスを実現することが可能である。

今後は各種の所望のLED特性に応じて、超高輝度赤外LEDエピの構造最適化を実施し、更なる超高輝度LEDの実現を計画している。

用語集

※1　LPE
Liquid Phase Epitaxy：溶液原料を用いた半導体結晶の液層成長方法。

※2　内部量子効率
電流によって発生した電子と正孔の対のうち、目的波長の発光に寄与する割合。

※3　外部量子効率
注入された電気エネルギーのうち、外部に取り出される光エネルギーの割合。

※4　静電破壊
電子部品が静電気の影響によって破壊される現象。

※5　バンド端吸収
バンドギャップ以上のエネルギーの光を半導体が吸収する現象。

※6　フリーキャリア吸収
半導体内部の自由に移動できる電子と正孔（フリーキャリア）による光の吸収現象。

※7　MOCVD
Metalorganic Vapor Phase Epitaxy：有機金属原料を用いた半導体結晶の気相成長方法。

※8　MQW
Multiple-Quantum Well：異なるバンドギャップをもつ2種類以上の材料からなり、バンドギャップの小さい薄膜（井戸層）とバンドギャップの大きな薄膜（障壁層）を複数周期積層した構造。

参　考　文　献

(1) 北林 他、SEIテクニカルレビュー第176号、80（2010）
(2) E. F. Schubert, Light-Emitting Diodes, Cambridge University Press, Cambridge（2003）
(3) Tzer-Perng Chen and Min-Hsun Hsieh, "Novel Layers enhance red-LED extraction efficiency," Compound Semiconductor, Vol.14, No.2, pp.14-15（2008）

執　筆　者

北林　弘之*：パワーデバイス開発室　主席　Ph.D.
半導体デバイスの技術開発に従事

石原　邦亮　：半導体事業部開発部　博士（工学）
川端　吉純　：パワーデバイス開発室
松原　秀樹　：半導体事業部開発部　主席
宮原　賢一　：住電半導体材料㈱　製造部　主査
森下　知典　：住電半導体材料㈱　製造部　主席
田中　　聡　：パワーデバイス開発室　主席　Ph.D.

＊主執筆者