

高出力赤外LEDの開発

北林 弘之*・川端 吉純・松原 秀樹
宮原 賢一・田中 聡

Development of High Optical Output Power Infrared Light Emitting Diode — by Hiroyuki Kitabayashi, Yoshisumi Kawabata, Hideki Matsubara, Ken-ichi Miyahara and So Tanaka — We have developed the world highest optical output power infrared LED at 940 nm. By newly developed an epitaxial layer structure and a p-type electrode, the optical output power was increased to 5.3 mw at 20 mA DC current, which was about 2.5 times higher than that of a conventional 940 nm LED's. Forward voltage was 1.35 V. The FWHM (full width of half maximum) of spectrum wavelength of the device was 25 nm and less than half of that of the conventional one. Acceleration test showed over 10,000-hr lifetime with DC 100 mA at 25°C. This new high output power infrared LED is promising as a light source for the future applications such as high sensitivity sensors.

Keywords: infrared light emitting diode, multi-quantum well, GaAs

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。

上記の用途に加え、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）用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。高出力赤外LEDの市場は2008年時点において全世界で6,000万チップ/月、国内では1,400万チップ/月以上の規模であり、引き続き順調に伸張していくものと予想されている。高出力赤外LEDの主な市場を表1に示す。

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

今回我々は、高出力赤外LED市場で主流となっている波長850nmに対し、940nmのLED開発に成功した。これは以下の応用面での顧客訴求を追求したものである。

一般に人の目に視認される可視光の波長範囲は380nm

～780nm程度と言われている。しかし市販の波長850nmの高出力LEDでは点灯時に赤く発光して見える。これは、レーザと比較してLEDでは発光波長スペクトル幅が広いため人の目に視認されてしまうことが原因である。そのため、防犯用途では単体で用いることができず、フィルタと併用して使用せざるを得ないという問題がある。従って、より長波の目に見えない940nm帯の領域で高出力のLEDが実現できれば、部品点数の削減によるシステムの簡略化等といった利点が存在する。

また、940nm帯のLEDは、信号検出の観点からは、以下の点で優位である。屋外及び日中に使用する際には外乱光となる太陽光スペクトルは、940nm付近に水蒸気の吸収を起因とする吸収帯を有している。そのためスペクトル強度が850nm付近に比べて低下するという特徴がある。従って、センサ光源の中心波長をその940nmに合わせることで低ノイズ、かつ設計の容易な検出システムを構築することが可能となる。

また、大気中では光の波長の4乗に反比例して散乱が小さくなる（レイリー散乱）ため、この点からも長波長の光源の方が光の直線性の点で有利なことが知られている。

中心波長850nmの現状の高出力LEDと比較した940nmの赤外LEDの特徴を表2にまとめる。

一方、エビ製造技術面からは以下の着眼点から開発を行った。現在主流のDH（Double Hetero）構造を用いたGaAs系の940nmの高出力LEDでは、高濃度に不純物ドーピングした両性のドーパントであるSiのバンドテリング効果を利用することにより、GaAs本来のバンドギャップである870nmより長波での発光を実現している⁽¹⁾。その

表2 850nmと940nmの赤外LED特徴比較

項目	850nm 高出力品	940nm 従来品	940nm 新製品
光出力 (IF = 20mA)	5mW ○	2mW △	5mW ○
視認性 (赤く見えない)	×	○	○
太陽外乱光への 耐ノイズ特性	×	○	○
光の直進性による 耐散乱性	△	○	○
応答特性	△	×	○

ため、高純度の不純物ドーピングによる結晶性の乱れによって発光が阻害され本質的に高出力LEDの実現が困難である。

当社はGaAs基板からエピウェハまで一貫した生産体制を持つメーカーとして化合物半導体の優れた技術力を有し、かつ、グローバルな販売網を構築することにより、世界トップのシェアを有している。特に、赤外LEDの市場では高品質、低コストのエピ製品により50%超のシェアを有している。これら、長年にわたって培ったエピ成長技術、特に赤外、赤色レーザ製品での多重量子井戸(MQW: Multi Quantum Well) 活性層構造の成長技術⁽²⁾を活用することにより、世界最高出力の940nm赤外LEDの開発に成功した。今回開発した新製品の特徴を表3にまとめる。

本稿では、今回開発した赤外LEDの要素技術、デバイス特性の概要、及び、今後の更なる高出力化に向けた検討について報告する。

表3 940nm高出力LED特徴

- ・従来構造デバイス比2.5倍以上の高出力
- ・低視認性(赤く見えない)
- ・屋外使用時の高S/N比(設計容易性)
- ・光の直進性が高く耐散乱性に優れる
- ・大電流用途に適した電流-光出力特性の直線性
- ・優れた高速応答性
- ・高信頼性

2. 940nm赤外LED構造

今回報告する940nm赤外LEDの構造を図1に示す。AlGaAsを材質とするn型半導体透明エピ上にMQW構造からなる活性層を形成したLEDエピ構造の上に、p型の透明全面電極とワイヤボンディング用のパッド電極を形成、半導体透明エピの裏面には光の反射の活用を考慮してドット形状のn型オーミック電極が形成されている⁽³⁾。

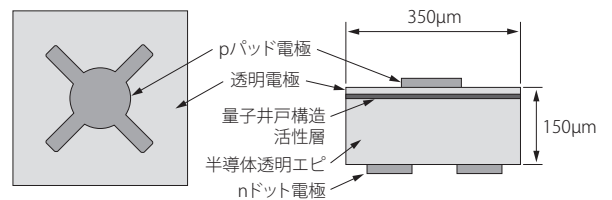


図1 940nm赤外LED構造

また、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の形成に成功している。

チップサイズは350μm□(14mil)でチップ厚みは150μmである。pパッド電極径は120μmφとなっている。なお、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. 940nm LED特性

3-1 DC特性 図2にデバイスの電流-光出力特性を示す。評価は金属製TO-18タイプのステムにLEDチップを実装することでを行っている。光出力は積分球を用いた評価を実施している。なお、ベアチップ状態での評価である。図には、940nm従来製法高出力LEDチップの光出力特性も同時に示している。光出力は直流20mAの電流値に対して5.3mWであり、従来構造チップの社内評価値である2.0mWに対して約2.5倍の高出力を実現している。

また、直流順方向電流20mAにおける順方向電圧は1.35Vであり、実用上十分な特性を有している。

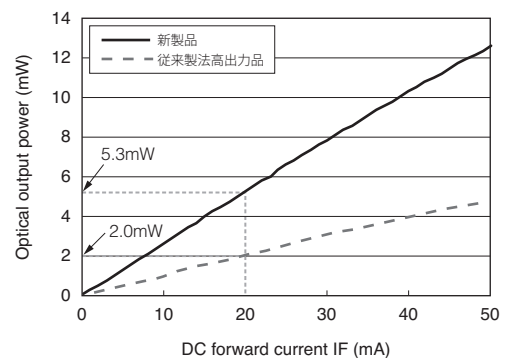


図2 940nm赤外LEDの電流-光出力特性

本デバイスを用いて、エポキシ透明樹脂封止した5mmφの砲弾型ランプを作製した。砲弾ランプの指向角は30度である。電流-光出力特性を図3に示すように、20mAに

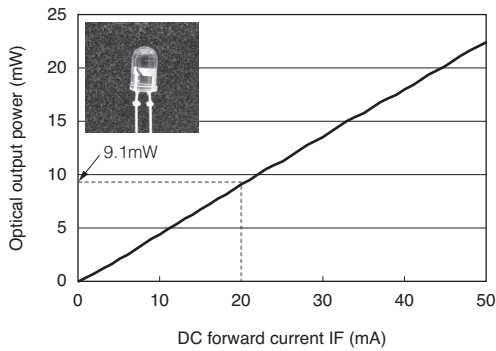


図3 5mmφの砲弾型ランプの電流-光出力特性

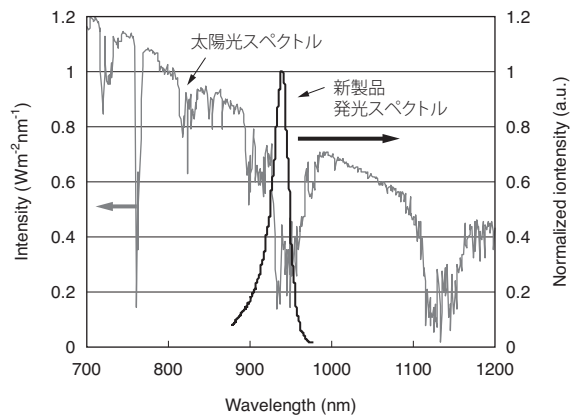


図5 940nm 赤外LEDの発光スペクトルと太陽光スペクトルの相関

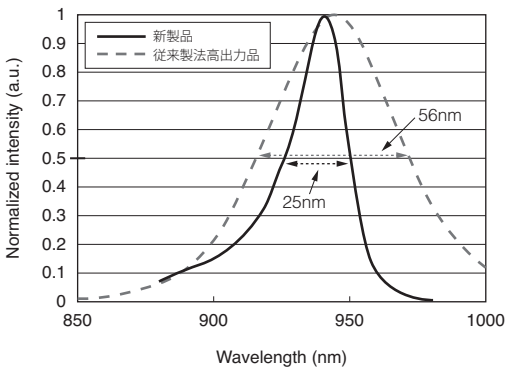


図4 940nm 赤外LEDの発光スペクトル

おける光出力が9.1mWの高出力の砲弾型ランプが得られている。20mAにおけるデバイス電圧は1.37Vである。

TO-18タイプのシステム上に実装したチップの発光スペクトルの比較を図4に示す。この図から発光スペクトルの半値幅は25nmであり、MQW構造活性層を採用することでDH構造デバイスの半値幅である56nmの半分以下の純度の高い発光スペクトルを実現できていることがわかる。

一般にSi製PD (Photo Detector) の検出感度は、赤外の長波長領域に向けて急激に低下する特性を有しており、従来構造のLEDと比較して長波長領域におけるスペクトル幅が狭くなっている本デバイスは、同一光出力であってもより検出容易な光源となり得ることが実証された。

また、940nmの太陽光スペクトルの吸収帯と発光波長を合わせることで外乱光ノイズへの耐性が高くなることにより、設計容易なシステムを構築可能となることが確認できた(図5)。

なお、今回採用したMQW活性層は井戸層の微調整が可能であり、容易に発光中心波長の調整が可能であるという利点も存在する。

3-2 パルス特性 高出力のLEDが必要とされるナンバー読み取りや監視用の投光器用途等では、主にパルス

大電流印加条件下での使用が想定される。こういった用途では、大電流印加時に十分な低電圧であることと、大電流領域で発光効率が低下しないこと(電流-光出力特性の直線性)が要求される。

パルス幅：1μ sec、Duty比：0.1%のパルス電流を印加し、LEDからの発熱の影響を排除した状態におけるデバイス電圧を評価した結果、パルス電流1Aにおけるデバイス電圧は3.5Vであり実用に十分に堪える値であることが確認できた。

電流-光出力特性の直線性に関してはMQW活性層の構造を改良し、キャリアの閉じ込め効果を改善することにより、大電流領域では対従来製法高出力品比3倍以上の高出力を実現している。

3-3 応答特性 本デバイスの応答特性を評価した。立上り時間(Tr)と立下り時間(Tf)は、それぞれ10n secと7n secであった。これらは、一般的な従来構造デバイスの数百n secのTr、Tf時間と比較して1/10以下の値を示しており、40MHz程度の高速応答を実現していることがわかった。

3-4 信頼性評価 チップの高温加速試験の評価結果を図6に示す。図は85℃雰囲気下DC順方向電流

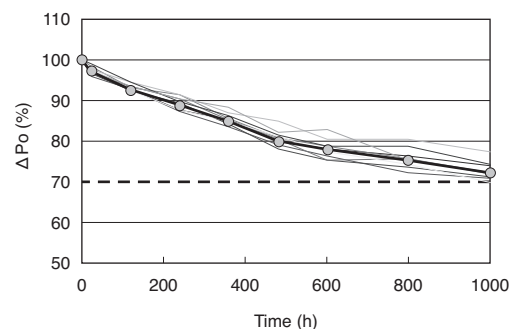


図6 940nm 赤外LEDチップの高温加速試験評価結果

100mA の条件下で行った高温加速劣化試験の結果を示している。図6は12個のチップに対する評価結果を示している。また、全測定チップの平均のデータ点を丸印で示している。出力劣化率30%となるデバイス寿命が1,000時間以上という評価結果を得ている。

寿命の温度依存性、および、電流値依存性評価を実施し、評価結果より25℃、DC100mAにおける推定寿命、および、85℃、DC20mAにおける推定寿命がともに10,000時間以上であった。以上のように、デバイス寿命の点からも実用上十分な高信頼特性を有するデバイスの開発に成功した。

4. 今後の展開

今回開発したLEDは発光波長940nmにおいて世界最高出力の光出力実現に成功した。現在は今後のより一層の高出力化を目指して800～980nmの赤外領域における超高出力LEDの実現に向けた検討を進めている。

赤色4元系LEDの高出力化の技術進展においては、基板貼付技術を用いることでデバイスの高出力化が実現されてきており^{(4)、(5)}、赤外の波長領域でも同様の技術進展が見込まれる。当社では今回開発した高性能エビ技術と社内固有の材料技術とを組み合わせ、独自構造の基板貼付LEDの技術開発も進めており、これらの検討結果に関する特許を出願している。

また、本デバイスは40MHz程度の高速応答を実現しているが、今後エビ構造の最適化により更に応答特性を改善し、高速通信用途への展開を目指した開発も進めていく。

5. 結 言

当社が培ってきたGaAs系化合物半導体高性能エビ成長技術により940nmの赤外LEDを開発し、従来構造高出力デバイス出力比2.5倍の世界最高出力の高出力赤外LEDの開発に成功した。

視認性が低く外乱光の影響の少ない940nmにおける高出力LEDは防犯用途では必須であり、検出器の設計も容易になるといった利点を有することから、新規用途のみならず既存の850nmの高出力LED置き換え用途が想定され、既に一部の顧客への出荷を開始している。

また、高性能MQW構造を活性層に用いた本デバイスはスペクトル幅が狭く検出が容易であることや、発光波長の微調整が容易であるといった特徴を有している。大電流動作時の電流-光出力特性の直線性に優れ、高速応答性にも優れていることから、今後の様々な用途の高出力光源として極めて有望である。

参 考 文 献

- (1) E. F. Schubert, Light-Emitting Diodes, Cambridge University Press, Cambridge (2003)
- (2) 「DVD・CD用レーザーエビウエハを開発・発売」、SEI テクニカルレビュー、Vol.168、p.112 (2006)
- (3) T. C. Shen, G. B. Gao and H. Morkoç, "Recent developments in ohmic contacts for III-V compound semiconductors", J. Vac. Sci. Technol. B, Vol.10, No.5, pp.2113-2132 (1992)
- (4) M. Alexe and U. Gösele, ed., "Wafer Bonding", Springer, Berlin (2004)
- (5) R. H. Horng, S.H. Huang, D.S. Wu and Y. Z. Jiang "Characterization of Large-Area AlGaInP/Mirror/Si Light-Emitting Diodes Fabricated by Wafer Bonding", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 43, No.5A, pp.2510-2514 (2004)

執 筆 者

北林 弘之* : エレクトロニクス・材料研究所
エレクトロニクス接続技術研究部
主席 Ph.D.
高輝度赤外LEDのデバイス技術
開発に従事



川端 吉純 : エレクトロニクス・材料研究所
エレクトロニクス接続技術研究部

松原 秀樹 : エレクトロニクス・材料研究所
エレクトロニクス接続技術研究部 グループ長

宮原 賢一 : 住電半導体材料(株) 製造部

田中 聡 : 住電半導体材料(株) 技術部 主席 Ph.D.

*主執筆者