発光強度分布の均一な点光源 LEDの開発

曽根豪紀^{*}, 坂 貴^{*}, 加藤俊宏^{*}, 水野義之^{*}, 廣谷真澄^{*}

Pin-point Light Emitting Diodes with Uniform Brightness

Hidetoshi Sone, Takashi Saka, Toshihiro Kato, Yoshiyuki Mizuno and
Masumi Hirotani

Synopsis

Pin-point light emitting diodes of uniform brightness have been developed. The uniformity is realized by constructing a protrusive conductive region, the protrusion being in the center of the aperture and close to the active region. The uniformity of brightness was improved so that the deviation changed from $\pm 20\%$ to $\pm 10\%$. Output power of 2.2 mW was obtained at

【 1 . 緒 言 】

光を利用した計測機器において,その光源には,レーザーダイオード(Laser Diode:LD)や発光ダイオード(Light Emitting Diode:LED)などの半導体光デバイスが広く使用されている.代表的な計測機器である光センサや光学式エンコーダでは,高分解能品にはLDが,比較的低分解能品にはLEDが使用されている.その理由は,LDはLEDに比較し,発光出力が大きく,小さく絞られた発光ビームが容易に得られることによる.しかし,LDは温度変化による特性の変化が大きい,静電破壊しやすい,駆動回路が複雑である,あるいは高価格であるなどの問題がある.このため,高分解能品に使用可能なLEDとして,発光部が小さく(点光源LED),高出力で発光部の発光強度分布が均一なLEDの開発が望まれている.以前,著者らは,電流狭窄構造のLEDに半導体多層膜反射鏡(Distributed Bragg Reflector:DBR)を用いることによって高出力の点光源

LEDを開発した¹⁾.今回,発光部の発光強度分布を均一にするため,LED内部構造および製造プロセスを工夫することによって発光強度分布の改善を行ったので報告する.

【 2 . 構造設計 】

LEDの発光強度分布は,活性層に注入されるキャリア密度分布に支配され,LED内部の電流密度分布によって決まる.点光源LEDは,内部に電流を制限する領域を形成し,発光窓直下の活性層にのみキャリアを注入するいわゆる電流狭窄構造を有しており,発光窓から放射される光の強度分布は,ほぼその直下の活性層部分の電流密度分布を反映すると考えられる.既に報告した点光源LED¹⁾では,電流狭窄構造を次のように形成した.すなわち,活性層上部のpクラッド層の上に設けられたnブロック層を発光窓部分のみ選択的にエッチオフし,その後Znを全面拡散して発光窓直下の活性層上部に高電気伝導領域を形

1996年8月8日受付

^{*} 大同特殊鋼(株)技術開発研究所(Research & Development Lab., Daido Steel Co., Ltd.)

成した。その結果、発光窓周辺に設けられた電極より注入される電流は発光窓部以外ではn/p逆バイアスによりブロックされ、さらにブロック層上に形成されたZn拡散領域を通じ、高伝導領域に集中する。しかし、この高伝導領域の厚さが一般的な構造では、発光窓の中心部分と周縁部分で電極からの距離が異なるため発光窓直下の活性層に流れる電流が均一に分布せず、発光窓の光強度分布が均一とならない。そこで発光窓直下の高電気伝導領域を2段にし、窓中心部で活性層との距離が小さくなるように形成することによって、活性層の電流分布均一化を図り、光強度分布を均一化することを検討した。

実験に先立ち、その効果を確認するため、簡単なシミュレーションを行った。計算はLEDを単純な抵抗体とみなし、その内部の電流分布を有限要素法を用いて行い、構造設計の参考とした。シミュレーターはCRC社製の電磁場解析用ソフト“MAGNA”を用い、モデルは簡単のため2次元円筒形とし、pnおよびヘテロ接合によるエネルギー障壁を考慮しない、単純な抵抗体とした。計算に用いた構造をFig.1に示す。Fig.1(a)は電流分布均一化を狙った2段

Fig. 1. The structure of LED for simulation of current distribution.
(a) Structure of the present LED with the protrusive high-conductive region.
(b) Structure of a LED with the conventional flat high-conductive region.

の高伝導領域を有する構造 (b) は既報告の点光源LEDの構造をモデル化したものでそれぞれ直径50 μm の発光窓の中心を軸として回転した円筒形とみなしている。

Fig. 2にp電極に+1Vのバイアス電圧を印加した場合に得られた、発光窓近傍の電流密度分布の計算結果を示す。

Fig. 2. The simulation of current distribution in the LEDs.
(a) Simulation of the present LED with the protrusive high-conductive region.
(b) Simulation of a LED with the conventional flat high-conductive region.

電流密度は、発光窓の段差部分で最も高く、発光窓の中心方向に向かって徐々に低くなっている。また Fig. 3は、活性層における電流密度を、発光窓中心からの距離に対してプロットしたものである。Fig. 2およびFig. 3からわか

Fig. 3. The current distribution of active layer in LEDs.
(a) Current distribution of the present LED with the protrusive high-conductive region.
(b) Current distribution of a LED with the conventional flat high-conductive region.

るように、発光窓中心部付近の電流密度の低下は (a) の方が (b) に比べて小さく、発光強度の均一化が期待される。

3. LEDの製作

3.1 構造

Fig.4に試作したLEDチップの外観を示す。チップは縦

Fig. 4. The SEM photograph of the present LED chip. The etched area is the aperture, whose shape is like track, the size being $160\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$.

400 × 横600 × 厚さ250 μm で、2段の凹部を有する長円形トラック状の発光窓が形成されている。凹部の寸法は、外側が160 × 50 μm 、内側が100 × 30 μm で、段差はそれぞれ1 μm および0.5 μm となっている。チップの断面はFig.5に示すごとく、n-GaAs基板の上にブラッグ反射鏡 (DBR) $\text{Al}_{0.45}\text{GaAs}/\text{GaAs}$ ダブルヘテロ構造、p- $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ コンダクティ

Fig. 5. Cross sectional view of the LED. After removing the n-blocking layer stepwise, Zn was diffused. The high-conductivity region with the protrusion close

ブ層、n- $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 電流ブロック層、およびn- $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ エッチング層を順次積層した構造となっており、エッチング層中にエッチング停止層が2層挿入されている。DBRは、30周期の $\text{AlAs}/\text{Al}_{0.2}\text{GaAs}$ で構成されるチャープ構造

DBRで、これにより活性層から基板方向に放射される光を効率的に光取り出し面側に反射し、発光窓から放射される光の強度を大幅に増大させる^{2)・5)}。電流狭窄構造は、後述のプロセスにより、選択エッチングで2段の凹部を形成した後、電流ブロック層を貫通する深さまでZnを拡散し、活性層の発光窓部直下の部分にのみ電流が流れるように作製されている。

3.2 製作プロセス

Fig.6にLEDの製作プロセスを示す。結晶成長は、常圧、

Fig. 6. Processing sequence for the fabrication of the

縦形の有機金属気相成長 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD) 装置を用い、トリメチルガリウム (TMG)、トリメチルアルミニウム (TMA) および水素希釈10%アルシンを原料として行った。p型およびn型のドーパントはそれぞれジエチル亜鉛および水素希釈した20ppmセレン化水素を用いた。成長後、LED用多層膜をホトリソグラフとケミカルエッチングを繰り返すことによって発光窓の部分に2段の凹部を形成した。その工程の詳細は次の通りである。まず、表面全面をホトレジストでコーティングした後、内側の凹部に相当する部分を露光、現像により開口し、その部分の $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 層を $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液でエッチングする。同溶液はよく知られるように、 AlGaAs の組成によりエッチングレートが異なる、いわゆる選択エッチャントであるため、表面側の $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 層直下の $\text{Al}_{0.45}\text{GaAs}$ 第1エッチング停止層でエッチングが停止する。その後、第1エッチング停止層を $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ 溶液で除去した後、同様にホトリソグラフと選択エ

エッチングで外側の凹部を形成する。その際、内側の凹部の表面は、エッチング停止層が除去されているため、内部の第2エッチング停止層までエッチングが進行して、Fig.6の2nd etching後の図に示されるような2段の凹部が形成される。 $\text{Al}_{0.45}\text{GaAs}$ 層の $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液によるエッチング速度は $\text{Al}_{0.1}\text{GaAs}$ 層の場合の約1/10であるため、ほぼ完全に設計通りにエッチング停止が行え、均一かつ再現性よくこの形状を作製することができる。発光窓部形成後、封管法により、Znを全面に拡散した。その際、温度を590℃、時間を20Hrとして、発光窓部においてZnがブロック層を貫通し、かつ活性層に到達しないように拡散深さを制御した。発光窓部分が2段の凹型となっているため、窓中心部分では周縁部分より、より深くZnが拡散され、Fig.5に示すような下向きに凸型の高伝導領域が形成される。その後、表面にAuZn/Au電極、裏面にAuGe/Ni/Au電極を形成した後、ダイシングによってLEDチップを作製した。なお、比較のため同様のプロセスで、発光窓部が1段のLEDチップも作製した。特性評価は主としてチップをTO18ステムにマウントし、樹脂モールドしないベアチップの状態で行ったが、発光出力は透明樹脂をポッティングしてレンズを形成した状態でも測定した。

4. 実験結果および考察

4.1 発光強度分布

Fig.7に、50 mA通電したときの発光近視野像(Near Field Pattern:NFP)を示す。(a)は2段の高伝導領域を有するチップの場合、(b)は1段の場合である。それぞれの図中に示される輝度分布曲線から(a)の場合の方が(b)に比べ発光窓中心付近での輝度低下が小さく、均一に発光していることが判る。これは(a)の場合、発光窓部の活性層へ流れる電流の分布が、下向きに凸型の高伝導領域によって均一化されたためと考えられる。

Fig.8に、50 mA通電したときの(a)のチップの発光遠視野像(Far Field Pattern:FFP)を示す。放射光の強度分布は発光窓に形成された段差の影響を受けず、ほぼランバート分布に近いパターンを示した。

4.2 電気光学特性

Fig.9に電流光出力特性、Fig.10に電流電圧特性を示す。低電流領域における電流光出力特性の直線性が良いことから、非発光再結合の少ない、高品質のLEDチップが作製されたと考えられる。50mAで駆動した際の光出力はベア

Fig. 7. Near field pattern of LEDs at the condition of 50 mA forward current.

(a) Brightness of the present LED with the protrusive high-conductive region.

(b) Brightness of a LED with the conventional flat high-conductive region.

チップの場合2.2mWで、3.1%の外部量子効率であり、レンズを装着することによって、それぞれ10mWおよび14.2%となった。また、その時の駆動電圧は、1.78Vであった。

4.3 信頼性

Fig.11に10個のサンプルについて、周囲温度60℃、駆動電流100 mAの条件で1000時間の連続通電試験を行なった時の光出力の変化を示す。通電時の電流密度は $1.3\text{kA}/\text{cm}^2$ と高いにもかかわらず、1000時間後の光出力変化は5%以内であり、実用に耐えうる信頼性を保持している。

Fig. 8. Far field pattern of the present LED at the condition of 50 mA forward current.

Fig. 9. The forward current-output power(I-L) characteristics of the present LED. The output power of 2.2 mW has been obtained for the chips without mold-

5 . 結 言

点光源LEDにおいて、活性層上部に下向きに凸型の高伝導領域を形成することにより、発光強度分布の均一化が図れた。これは、簡単なモデルによる計算結果から、この構造により発光窓部の活性層に流れる電流密度の均一化が図れたためと推測される。開発されたLEDは信頼性も高く、これまでLDが使用されてきた高分解能のセンサなどの用途への適用が期待される。

(文献)

1) 曾根, 加藤, 坂, 廣谷: 電気製鋼, 66(1995), 90

Fig. 10. The current-voltage(I-V) characteristics of the present LED. The forward voltage of 1.78V has been obtained at the condition of 50 mA forward

Fig. 11. The relative change of output power of the LED

2) T. Kato, H. Susawa, M. Hirotsu, T. Saka, Y. Ohashi, E. Shichi and S. Shibata: J. Crys. Growth, 107(1991), 832

3) T. Saka, M. Hirotsu, T. Kato, H. Susawa and N. Yamauchi: J. Appl. Phys., 73(1993), 380

4) 加藤, 廣谷, 坂, 山内: 信学技報, 5(1993), 73

5) 廣谷, 坂, 加藤, 諏澤, 山内: 電気製鋼, 63(1992), 192