

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5719493号  
(P5719493)

(45) 発行日 平成27年5月20日 (2015. 5. 20)

(24) 登録日 平成27年3月27日 (2015. 3. 27)

(51) Int. Cl. F I  
 HO 1 L 33/32 (2010. 01) HO 1 L 33/00 1 8 6  
 HO 1 L 21/306 (2006. 01) HO 1 L 21/306 B

請求項の数 23 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2005-512858 (P2005-512858)	(73) 特許権者	506115514
(86) (22) 出願日	平成15年12月9日 (2003. 12. 9)		ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシ ティ オブ カリフォルニア
(65) 公表番号	特表2007-521641 (P2007-521641A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 607 オークランド フランクリン ス トリート 1111 トゥエルフス フロ ア
(43) 公表日	平成19年8月2日 (2007. 8. 2)	(73) 特許権者	503360115
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/039211		独立行政法人科学技術振興機構
(87) 国際公開番号	W02005/064666		埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(87) 国際公開日	平成17年7月14日 (2005. 7. 14)	(74) 代理人	100089635
審査請求日	平成18年10月23日 (2006. 10. 23)		弁理士 清水 守
審査番号	不服2012-16282 (P2012-16282/J1)		
審査請求日	平成24年8月22日 (2012. 8. 22)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面粗化による高効率の (B, Al, Ga, In) Nベースの発光ダイオード

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

(Al, Ga, In) N化合物半導体の発光ダイオード(LED)であって、発光層からの光が、基板の除去により露出した該発光ダイオードn型層の窒素面(N面)表面を介して取り出され、該露出したN面表面は複数の錐体に構築され、該露出したN面表面上の錐体のうち少なくともいくつかの錐体の底面のサイズまたは錐体の底面からの高さは該発光ダイオード内の光の波長に近く、発光ダイオード内の光が散乱または回折されることにより、LED内部で繰り返し起こる光の反射を低減し、発光層からN面表面の外への光取出しを増加することを特徴とする、発光ダイオード。

【請求項2】

前記構築されたn型層のN面表面が、異方性エッチングを施されたN面表面である、請求項1に記載の発光ダイオード。

【請求項3】

前記異方性エッチングを施されたN面表面は、ドライエッチングを施されたN面表面である、請求項2に記載の発光ダイオード。

【請求項4】

前記異方性エッチングを施されたN面表面は、フォトエンハンスド化学(PEC)エッチングを施されたN面表面である、請求項2に記載の発光ダイオード。

【請求項5】

前記N面表面が、レーザリフトオフ(LLO)法により露出される、請求項1に記載の

発光ダイオード。

【請求項 6】

前記発光ダイオードは、c 面窒化ガリウム (GaN) ウェハ上で成長し、ガリウム面 (Ga 面) が p 型層の表面である、請求項 1 記載の発光ダイオード。

【請求項 7】

前記発光ダイオードが、n 型電極、n 型層、活性領域、p 型層および p 型電極で構成される、請求項 1 記載の発光ダイオード。

【請求項 8】

前記 n 型層、活性領域および p 型層が、それぞれ (Al, Ga, In) N 化合物半導体からなる、請求項 7 記載の発光ダイオード。

10

【請求項 9】

前記 p 型電極が、高反射特性を有し、光吸収を減らし、前記 n 型層の前記表面に向かう光反射を増やす、請求項 7 に記載の発光ダイオード。

【請求項 10】

前記発光ダイオードが、前記 n 型電極の下に位置合わせされた電流ブロック層を含み、該 n 型電極の下への電流集中の抑制によって、該 n 型電極の下での光放射の吸収防止と、光取り出し効率の増加とを可能とする、請求項 7 に記載の発光ダイオード。

【請求項 11】

前記発光ダイオードが、発光面積を著しく減らすことなく、該発光ダイオードの前記側壁を流れるリーク電流を抑制する、絶縁体から作成された電流閉じ込め枠を含む、請求項 7 に記載の発光ダイオード。

20

【請求項 12】

前記構築された N 面表面が、N 面表面に対して

$$2 \sin^{-1} (n_{\text{air}} / n_s)$$

以下の角度のファセットを有する複数の六角形状の錐体からなり、ここで、 $n_{\text{air}}$  は大気屈折率で、 $n_s$  は前記 (Al, Ga, In) N 化合物半導体の屈折率である、請求項 1 記載の発光ダイオード。

【請求項 13】

前記構築された N 面表面が、エポキシが塗布された N 面表面の場合、N 面に対して

$$2 \sin^{-1} (n_{\text{enc}} / n_s)$$

以下の角度のファセットを有する複数の六角形状の錐体からなり、ここで  $n_{\text{enc}}$  はエポキシの屈折率で、 $n_s$  は前記 (Al, Ga, In) N 化合物半導体の屈折率である、請求項 1 に記載の発光ダイオード。

30

【請求項 14】

(Al, Ga, In) N 化合物半導体発光ダイオード (LED) を作製する方法であって、基板を除去することにより該発光ダイオードの n 型層の窒素面 (N 面) 表面を露出させ、

該露出した n 型層を複数の錐体に構築することを特徴とし、該露出した N 面表面上の錐体のうち少なくともいくつかの錐体の底面のサイズまたは錐体の底面からの高さは該発光ダイオード内の光の波長に近く、発光ダイオード内の発光層からの光が散乱または回折されることにより、発光ダイオード内部で繰り返し起こる光の反射を低減し、前記発光層から N 面表面の外への光取り出しを増加することを特徴とする発光ダイオードの製造方法。

40

【請求項 15】

前記構築するステップが、異方性エッチングを用いて実行される、請求項 14 に記載の発光ダイオードの製造方法。

【請求項 16】

前記異方性エッチングがドライエッチングである、請求項 15 に記載の発光ダイオードの製造方法。

【請求項 17】

前記異方性エッチングがウェットエッチングである、請求項 15 に記載の発光ダイオード

50

ドの製造方法。

【請求項 18】

前記ウェットエッチングがフォトエンハスト化学 ( P E C ) エッチングである、請求項 17 に記載の発光ダイオードの製造方法。

【請求項 19】

n 型電極、n 型層、活性領域、p 型層および p 型電極からなる ( A l , G a , I n ) N 化合物半導体の発光ダイオード ( L E D ) の製造方法であって、該 n 型層の窒素面 ( N 面 ) 表面は基板を除去することにより露出され、該露出した N 面表面は、複数の錐体に構築され、該露出した N 面表面上の錐体のうち少なくともいくつかの錐体の底面のサイズまたは錐体の底面からの高さは光の波長に近く、発光ダイオード内の光が散乱または回折されることにより、該発光ダイオード内部で繰り返し起こる光の反射を低減し、それにより、該 n 型層の該構築された N 面表面を介した光の取り出しを増加する、発光ダイオードの製造方法。

10

【請求項 20】

前記 n 型層の窒素面 ( N 面 ) 表面が、異方性エッチングを用いて構築される、請求項 19 に記載の発光ダイオードの製造方法。

【請求項 21】

前記異方性エッチングがドライエッチングである、請求項 20 に記載の発光ダイオードの製造方法。

【請求項 22】

前記異方性エッチングがウェットエッチングである、請求項 20 に記載の発光ダイオードの製造方法。

20

【請求項 23】

前記ウェットエッチングがフォトエンハスト化学 ( P E C ) エッチングである、請求項 22 に記載の発光ダイオードの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

( 1 . 発明の分野 )

本発明は、発光ダイオードに関する。より特定的には、表面粗化による高効率の ( B , A l , G a , I n ) N ベースの発光ダイオードに関する。

30

【背景技術】

【0002】

( 2 . 関連技術の説明 )

( 注 : 本出願は、本明細書全体を通して一つ以上の参照番号で示される、多数の様々な文献を参照する。これら様々な文献は、参照番号順に、リストとして「参考文献」の項目で以下に示される。これらの文献のそれぞれは、本明細書で、参考として援用される ) 。

【0003】

窒化ガリウム ( G a N ) ベースの大きなバンドギャップの半導体発光ダイオード ( L E D ) は、約 10 年前から利用可能になってきた。この L E D 開発の進歩によって、L E D 技術に大きな変化がもたらされ、フルカラー L E D ディスプレイ、L E D 信号機、白色 L E D などを実現されてきた。

40

【0004】

近年、高効率の白色 L E D が、蛍光灯に置き換わる可能性があるものとして、大きな関心を集めている。特に、白色 L E D の効率 ( 74 l m / W ) [ 1 ] ( 非特許文献 1 ) は、普通の蛍光灯 ( 75 l m / W ) に近づきつつある。それにも関わらず、更なる効率改善が望ましい。

【0005】

L E D の効率を改善するためには、主として二つのアプローチがある。第一のアプローチは、内部量子効率 (  $\eta_i$  ) を上げることであり、これは結晶品質やエピタキシャル層の

50

構造によって決定される。一方、第二のアプローチは、光取り出し効率（取り出し）を上げることである。

【0006】

内部量子効率を上げることは、容易にできることではない。典型的な $\eta_i$ 値は、青色LEDでは、約70%を超え[2]（非特許文献2）、低転位GaN基板に成長した紫外線（UV）LEDでは、最近、約80%の $\eta_i$ 値を示している[3]（非特許文献3）。これには改善の余地はほとんどない。

【0007】

その一方、光取り出し効率を改善する余地は、十分にある。内部光の損失を抑えるために、数多くの課題が挙げられている。例えば、高反射鏡、粗い表面などの低反射表面、非常に熱散乱しやすい構造などである。

10

【0008】

例えば、GaN（ $n \sim 2.5$ ）と空気の屈折率を考え[4]（非特許文献4）、光脱出円錐（light escape cone）に対する臨界角が約 $23^\circ$ の場合を考える。光は側壁から発生し、後壁は無視されるものと仮定すると、内部光の約4%のみ取り出されることが期待される。脱出円錐の外の光は、側壁を介して脱出しない限り、基板の中に反射されるか、活性層または電極に繰り返し反射されるか、吸収されるかである。

【0009】

LED構造は、光がどの程度発生されるかに影響を及ぼす。光取り出し効率におけるLED構造の影響は、実施例によって、好適に記載される。以下の実施例で、LED構造の幾つかの種類を記載する。

20

【0010】

図1は、従来型LED構造の模式的な断面図である。この構造はp型パッド電極10、半透明電極12、p型層14、活性領域16、n型層18、n型電極20および基板22を含む。GaNは通常、例えば、サファイアのような絶縁体基板に成長されるため、p型電極10およびn型電極20は同一平面上に製造される必要があり、その結果得られる電極10と20のデバイス構造は、電流の流れを長手方向に拘束してきた。p型GaNは抵抗率が高いため、薄い金属膜が、p型GaNに電流を広げるための半透明電極12として用いられた。半透明電極12の透明性は100%であるべきことが望ましい。しかしながら、GaNベースのLEDで使われている薄い金属電極におけるその値は、せいぜい70%である。さらに、パッド電極10は、ワイヤボンディング用に形成されなくてはならず、そのワイヤボンディングはLED内部から発生される光を暗くする。その結果、光取り出し効率は、極めて低くなることが予想される。

30

【0011】

図2は、フリップチップ型LED構造の模式的な断面図である。この構造は、透明なサファイア基板24、n型層26、n型電極28、活性領域30、p型層32、p型電極34、ハンダ36およびホストサブマウント（host submount）38を含む。外部効率を上げるためには、光はフリップチップ型LED構造の透明なサファイア基板24を介して取り出しされ得る。本方法は、薄い金属膜とパッド電極による光吸収が減少する従来型LEDに比べ、有利である。しかしながら、活性領域から発する光のほとんどは、基板24とn型層26の界面、および、基板24と空気との間の界面で反射される。

40

【0012】

サファイア基板からGaN膜を剥がす方法は「レーザリフトオフ」（LLO）技術と呼ばれている。この方法をフリップチップ型GaNベースのLEDに適用することで、サファイア基板のないGaNのLEDが実現され得る。この結果得られるGaN表面は非平面の配向に加工されると仮定すると、光取り出し効率の著しい向上が期待される。

【0013】

光取り出し効率を上げる別のアプローチは、LEDの表面を粗くすることである[5]（特許文献1）。このアプローチは、内部の光反射を弱め、光を上方に散乱させる。しかしながら、表面の粗いLEDは、材料がリン化ガリウム（GaP）系との関連でのみ述べ

50

られてきた。なぜなら、GaNは非常に耐久性ある材料で、通常の湿式エッチング方法では大した効果が出ないからである。このように、光散乱のために半導体表面を粗くしようというアイデアは、1970年代に最初に考えられたにも関わらず、この種のLED構造で製造するのは、困難でコスト高であると信じられてきた。

【0014】

しかしながら、上述のように、典型的なGaNベースのLEDは、サファイアまたは炭化ケイ素(SiC)基板の上に、薄いp-GaN/活性層/n-GaN膜で構成されている。粗い表面を製造するためには、ある程度のGaN厚さが必要である[6](非特許文献5)が、p-GaNは抵抗率が比較的高いため、厚いp-GaNを成長させることは望ましいことではない。そのため、光がp-GaNを介して取り出されるなら、p-GaN表面に半透明なコンタクトが必要である。また、表面を粗くするための乾式エッチング[7](非特許文献6)のような処理は、電気的特性の劣化を招き得る。有機金属化学気相成長法(MOCVD)によって、p側を下にする構造を成長させることも、望ましくない。なぜなら、マグネシウム(Mg)メモリ効果[8](非特許文献7)によって、活性層が劣化するからである。

10

【0015】

最近、レーザーリフトオフ(LLO)方法が、基板に成長したGaN膜から、サファイア基板を剥がすために使われている[9-11](非特許文献8、非特許文献9、非特許文献10)。さらに、LLOはGaNベースのLED製造にも用いられてきている[12、13](非特許文献11、非特許文献12)。しかしながら、この技術が表面形状や光取り出し効率に与える影響についての文献はない。

20

【0016】

一方、本発明において、フリップチップ技術[14](非特許文献13)とLLO方法を利用すると、基板のない窒素(N)側を上とするGaNベースのLED構造が作成できる。その後、異方性エッチングプロセスは、N側を上とするGaNベースのLEDの表面を粗くするために、用いられ得る。この結果得られる六角形状「擬円錐」表面は、光取り出しには優位である。表面を最適に粗くしたLEDの光取り出し効率は、粗くする前のLEDに比べ、100%を越す増加率を示す。

【0017】

かねてから、GaNは異方性エッチングが難しいと考えられていることには注意したい。これは、GaNが他の半導体材料に比べ、化学的に安定な材料だからである。乾式エッチングを用いると、ざらつきある(textured)表面は可能であるが、フォトリソグラフィなどの特殊処理を必要とし、GaN上に細かい擬円錐表面を作ることは不可能である。

30

【0018】

光強化化学(photo-enhanced chemical)(PEC)エッチングは、ガリウム面(Ga面)GaNに用いられ、小さなピットが表面に形成される。このことは、PECエッチングが窒素面(N面)GaNに使われた場合、はっきりとした擬円錐の形態が得られるのと、対照的である。LLO技術を用いて製造したGaNベースのLEDについては、少数の報告がなされているが、本発明は異方性エッチング方法を用いて、GaNベースのLEDのN-面GaN表面上に擬円錐構造を製造する。

40

【特許文献1】米国特許第3,739,217号明細書

【非特許文献1】インターネット<URL: <http://www.cree.com/News/news175.asp>>

【非特許文献2】Y. Kawakami, Y. Narukawa, K. Omae, S. Fujita, および, S. Nakamura, Phys. Stat. Sol. (a) 178, 331 (2000)

【非特許文献3】T. Nishida, H. Saito, および, N. Kobayashi, Appl. Phys. Lett. 79, 711 (2001)

【非特許文献4】A. Billeb, W. Grieshaber, D. Stocker,

50

E. F. Schubert, R. F. Karliceck, Jr., Appl. Phys. Lett. 70, 2790 (1997)

【非特許文献5】Chul Huhら、Appl. Phys. Lett. 93, 9383 (2003)

【非特許文献6】X. A. Cao, S. J. Pearton, A. P. Zhang, G. T. Dang, F. Ren, R. J. Shul, L. Zhang, R. Hickman, および、J. M. Van Hove, Appl. Phys. Lett. 75, 2569 (1999)

【非特許文献7】Y. Ohba, および、A. Hatano, J. Crystal Growth 145, 214 (1994)

【非特許文献8】W. S. Wong, T. Sands, N. W. Cheung, M. Knaisl, D. P. Bour, P. Mei, L. T. Romano, および、N. M. Johnson, Appl. Phys. Lett. 72, 1999 (1998)

【非特許文献9】P. R. Tavernier, および、D. R. Clarke, J. Appl. Phys. 89, 1527 (2001)

【非特許文献10】C. F. Chu, C. C. Yu, H. C. Cheng, C. F. Lin, および、S. C. Wang, Jpn. J. Appl. Phys. 42, L147 (2003)

【非特許文献11】W. S. Wong, T. Sands, N. W. Cheung, M. Knaisl, D. P. Bour, P. Mei, L. T. Romano, N. M. Johnson, 「Fabrication of thin-film InGaN light-emitting diode membranes by laser lift off」、Appl. Phys. Lett., 75(10)1360 (1999)

【非特許文献12】W. S. Wong, T. Sands, N. W. Cheung, M. Knaisl, D. P. Bour, P. Mei, L. T. Romano, N. M. Johnson, 「InXGa1-XN light emitting diodes on Si substrates fabricated by Pd-In metal bonding and laser lift-off」、Appl. Phys. Lett., 77(18)2822 (2000)

【非特許文献13】J. J. Wierer, D. A. Steigerwald, M. R. Krames, J. J. O'Shea, M. J. Ludowise, N. F. Gardner, R. S. Kern, および、S. A. Stockman, Appl. Phys. Lett. 78, 3379 (2001)

【非特許文献14】M. S. Minsky, M. White, および、E. L. Hu, Appl. Phys. Lett. 68, 1531 (1996)

【非特許文献15】C. Youtsey, L. T. Romano, および、I. Adesida, Appl. Phys. Lett. 73, 797 (1998)

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0019】

(発明の概要)

本発明は、窒化ガリウム(GaN)ベースの発光ダイオード(LED)について述べる。ここで、光はLEDの窒素面(N面)を介して取り出され、N面の表面は1つ以上の六角形状円錐に粗くされる。表面を粗くすると、LED内で繰り返し起こる光反射が減少するため、LEDからより多くの光を取り出せる。

【0020】

N面の表面は、異方性エッチングにより粗くされる。異方性エッチングは、乾式エッチング、または、光強化化学(PEC)エッチングを含み得る。

【0021】

一つの実施形態において、N面GaNは、レーザリフトオフ(LOO)技術で準備され

10

20

30

40

50

る。他の実施形態において、LEDはc平面GaNウェハー上に成長され、p型層の表面は、ガリウム面(Ga面)であり、n型層の表面は窒素面(N面)である。

【0022】

図面について述べると、同じ参照番号は、全体を通じて、対応するものを示す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

(発明の詳細な説明)

好ましい実施形態の以下の説明において、実施形態の一部として、添付図面が参照される。この中で、本発明が実行され得る特定の実施形態が例示として示される。本発明の範囲から逸脱することなく、他の実施形態も用いられ得ること、および、構造上の変化もなされ得ることは、理解されるべきである。

10

【0024】

(概要)

本発明は、GaNベースのLEDの表面を粗くすることによって、光取り出し効率を向上させる手段を提供する。特に、N面c平面GaN表面に異方性PECエッチング方法を適用し、その結果、円錐形状の表面形態を製造する。このように表面を粗くすると、光の反射がLED内で繰り返し起こり、こうして、LEDから、より多くの光を取り出すことができる。さらに、本発明の方法は、シンプルで、繰り返し可能であり、材料に損傷を与えない。これは、表面を粗くする他の方法においては、材料の品質と妥協し得るのとは対照的である。これら全てのことから、本発明はLED製造をより適切なものとする。

20

【0025】

(LED構造)

図3は、表面を粗くしたLEDの模式図である。このLEDは、n型電極40、n型層42、活性領域44、p型層46、および、p型電極48を含む。p型電極48は、n型電極54を含むシリコン(Si)サブマウント52に、ハンダ層50を介して、フリップチップボンディングされている。n型層42、活性領域44、および、p型層46は、(B、Al、Ga、In)N合金から成る。乾式エッチングまたはPECエッチング方法が、n型層42の表面を粗くするために用いられる。望ましい表面を得るためには、乾式エッチングではプラズマ化学やプラズマパワーなどの条件を、また、PECエッチングでは電解質やランプパワーなどの条件を適切に設定することが必要である。このGaNベースのLEDは、c軸に沿って成長されるべきで、このn型GaN表面はN面であるべきことは重要である。なぜなら、異方性エッチングは、Ga面GaNよりもN面GaNで、より容易に観察され得るからである。

30

【0026】

c平面GaNは、この平面がGa原子のみを含む構造であって、N原子のみを含む平面は、交互に積み重ねられるか、積み上げられることに、注意すべきである。一方の表面がGa面であれば、他方の表面はN面である。結晶成長とデバイス性能の観点から、Ga面c平面GaNが一般的には好ましいため、N面GaNはLLO技術によって準備される必要があるか、あるいは、LED構造がc平面バルクのGaNウェハーに成長され得る。

【0027】

表面を粗くしたn型GaN表面42へ向かって活性領域44から発生する光は、表面によって散乱される。これは、活性領域に光を戻すような反射にはならない。p型電極48は反射率が高い特性を有することが望ましい。それは、光吸収を減らし、n型GaN表面42に向けての光反射を増やすためである。実験結果から、本発明によって、表面を粗くしたLEDの上向きの光出力は、平坦な表面のLEDに比べ、2倍から3倍増加することが分かった。

40

【0028】

(処理ステップ)

図4は、本発明の好ましい実施形態で用いられる処理ステップを示す流れ図である。

【0029】

50

ブロック56は、MOCVDによって、c平面サファイア基板上にGa面エピタキシャル層を成長させ、サンプルを作成するステップを示す。

【0030】

ブロック58は、MOCVD後、p型活性化のために、サンプルをアニールするステップを示す。

【0031】

ブロック60は、高い反射率のp-GaNコンタクトを作成するために、サンプル上にp型メタル化処理を実行するステップを示す。メタル化は、銀(Ag)またはアルミ(Al)を含むが、これらには限定されない。

【0032】

ブロック62は、サンプル上に厚い金(Au)層を堆積し、次いで、熱エバポレータの中で、スズ(Sn)蒸着によるハンダ金属として、スズ(Sn)層を堆積するステップを示す。

【0033】

ブロック64は、サンプルを上下逆にし、それをAuでコーティングしたSi基板/サブマウントに、280を超える温度で、ボンディングするステップを示す。ここで、Au/Sn合金が形成され、この合金がSi基板へのサンプル接着に寄与する。

【0034】

ブロック66は、サンプルの透明サファイア基板を、フッ化クリプトン(KrF)エキシマレーザ光(248nm)を用い、そのサファイア基板の裏側を介して照射して、LL

10

20

【0035】

ブロック68は、サンプル上にKrFレーザをラスタした後に、サンプルからサファイア基板のボンディングを外すステップを示す。

【0036】

ブロック70は、塩酸(HCl)溶液を用いて、サンプルのGaNが剥がされた表面に、残されたGa小滴(droplet)を除去するステップを示す。

【0037】

ブロック72は、SiドーブしたN面GaNがサンプルに露出されるまで、移されたGaNを薄くするステップを示す。

【0038】

ブロック74は、サンプルの露出したN面GaN上にn型コンタクトまたはn型電極として、チタン/アルミ/チタン/金(Ti/Al/Ti/Au)電極を堆積するステップを示す。

【0039】

ブロック76は、サンプルを水酸化カリウム(KOH)の電解質溶液に浸し、キセノン/水銀(Xe/Hg)ランプを用いてN面GaN表面を照射することで、PECエッチングを行うステップを示す。このようにして、上部表面は粗くされる。PECエッチングの詳細は、[15]に詳細に記載されている。

40

【0040】

ブロック78は、乾式エッチング、ダイシング、劈開の方法を用いて、サンプルのSi基板上の各デバイスを分離するステップを示す。

【0041】

図5(a)~(f)は、表面を粗くしたLEDの製造ステップをさらに示す。ここで、LED構造は、p型電極80、GaNベースのLED膜82、サファイア基板84、ハンダ金属86、サブマウント(キャリア)88、および、n型電極90を含む。特定的には、図5(a)は、p型電極80の堆積後の結果を示す。図5(b)は、LEDがホストサブマウント88上にボンディングされた後の結果を示す。図5(c)は、サファイア基板

50



84がLLOで除去された後の結果を示す。図5(d)は、n型電極90が堆積後の結果を示す。図5(e)は、GaN表面82を粗くした後の結果を示す。図5(f)は、デバイスをアイソレーションさせた後の結果を示す。

【0042】

(可能な変更)

基本的な構造は上述したが、数多くの変更やバリエーションも可能である。

【0043】

図6(a)は、電流ブロック層を有するLEDを示し、図6(b)は、電流閉じ込め枠を有するLEDを示す。ここで、LEDはn型電極92、n型層94、活性層96、p型層98、p型電極100、電流ブロック層102、および、電流閉じ込め枠104を含む。

10

【0044】

図6(a)において、LEDはn型電極92の下に位置合わせした電流ブロック層102を有する。この電流ブロック層102は、電流がn型電極92の下に集中しないようにする。これは、電極92下での光放射の吸収を避け得、光取り出し効率を増やし得るためである。SiO<sub>2</sub>のような絶縁体がp型GaN層98上に置かれるのは、適切である。なぜなら、p型GaN層98は抵抗があるため、電流波及がほとんど起こらないからである。

【0045】

図6(b)において、LEDは絶縁体から作られた電流閉じ込め枠104を有する。デバイス分離に、乾式エッチングまたはダイシング方法が使われた場合、表面が損傷すれば、デバイスの側壁を伝わってリーク電流が流れ得る。このようなリーク電流は、LEDの効率と寿命の双方を悪化させる。電流閉じ込め枠104は、LEDの側壁からのリーク電流の抑制に寄与し、その枠の幅が適切に選ばれば、発光面積を著しく減らすこともない。

20

【0046】

LLOプロセスにおけるホストマウントとしては、Si基板が上述されてきたが、代替の基板材料も、本発明の実施に使われ得る。Siは、サファイアよりも安価で、高い熱伝導性を有する。しかし、SiC、ダイヤモンド、AlNなどの他の基板、あるいは、CuWなどの様々な金属も、熱伝導性の観点から利用に適し得る。

30

【0047】

現在のところ、GaNデバイスは、SiCやSi基板に直接成長させることができる。GaNベースのLEDが、SiCまたはSiに成長されるなら、従来の乾式エッチングまたは湿式エッチングで基板を除去し得る。バルクのGaN基板を使うと、LLOプロセスは省略され得る。

【0048】

サンプルサイズも、LED製造で重要なポイントである。今日では、大きなサイズのLEDも、高出力LEDの要望を満たすために、注目を集めている。n型GaNの抵抗率は、p型GaNの抵抗率よりも低いとはいえ、電流波及の上で、n型電極の幾何学的条件に影響をサイズが及ぼす。

40

【0049】

(実験結果)

発明者によってなされた実験において、Ga面エピタキシャル層は、MOCVDにより、c平面サファイア基板上に成長させた。構造は、4μm厚のアンドープおよびSiドープのGaN層、5ピリオドのGaN/InGaNの多重量子井戸(MQW)、20nm厚のMgドープAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層、および、0.3μm厚のMgドープGaNであった。MOCVD後、サンプルをp型活性化のためにアニールし、次いで、p型メタル化処理を実行した。Agベースの電極を、高反射率のp型GaNコンタクトとして採用した。厚いAuをサンプル上に堆積し、次いで、熱エバポレータ内で、Sn蒸着した。ウェハーを上下逆にし、AuコーティングされたSiサブマウントに、280℃でボンディング

50

した。その結果、AuとSnの合金が得られ、この合金がウェハーにサブマウントがしっ  
かりと接着するのに寄与した。KrFレーザ(248nm)をLLOプロセスに用いた。  
ここで、レーザを、透明なサファイア基板を介して、照射した。その結果、GaNとサ  
ファイアの境界で、GaNの局所的分解が生じた。サンプル上にKrFをラスタした後、サ  
ファイア基板はボンディングを外された。移されたGaN表面に残留したGa小滴を、H  
Cl溶液で除去した。次いで、移されたGaNを、SiドープのGaNが露出されるまで  
、薄くした。nコンタクトは、露出したN面n型GaNに形成され、各デバイスを、反応  
性イオンエッチング(RIE)によって、その隣接デバイスから分離した。最後に、表面  
の上部を粗くするため、PECエッチングを用いた。KOH溶液を電解質として、Xe/  
Hgランプを光源として、用いた。LEDの出力を、LEDチップの上方7mmの高さに  
10

【0050】

図7(a)と図7(b)は、十字型n電極を有するLLO-LEDの平面顕微鏡写真で  
ある。ここで、LEDはSi基板にボンディングされている。図7(a)は、粗くする前  
の表面を示し、図7(b)は、粗くした後の表面を示す。PECエッチングの間、n電極  
が紫外線をブロックするので、n電極の下にあるGaNはエッチングされず、電極は粗く  
した後もGaNの上に残る。インジウムスズ酸化物(ITO)のような透明な電極も、電  
流波及電極として、使われ得る。

【0051】

図8(a)および図8(b)は、PECエッチング後のGaNのN面の走査電子顕微鏡  
(SEM)像で、エッチング時間が異なるものである。PECエッチングされたN面Ga  
N表面は、複数の六角形状円錐を含む。これは、Youtseyら[16]によって報告  
されているもの全く異なる。この差は、GaNの表面極性によるものと考えられる。図8  
(a)の表面を2分間エッチングしたものと、図8(b)の表面を10分間エッチングし  
たものを比べると、フィーチャサイズは大きくなり、六角形状円錐のファセットも明確に  
20

【0052】

円錐状表面は、LEDからの光の取り出しに非常に効率が良いように思われる。さらに  
、実験結果が示唆することは、円錐形状は、より多くの光を取り出し得る。例えば、Ga  
N結晶の青色LEDの波長は、約200nmである。円錐形状のサイズが、その波長の値  
30

【0053】

実験結果において、GaNの場合、粗くした表面は、

【0054】

【数2】

$$2 \sin^{-1}(n_{air} / n_s) \approx 47.2^\circ$$

以下の角度を有する多数の六角形状の円錐からなることが分かった。ここで、 $n_{air}$ は  
空気の屈折率で、 $n_s$ はGaNの屈折率である。同様に、エポキシの場合、粗くした表面  
40

$$2 \sin^{-1}(n_{enc} / n_s)$$

以下の角度を有する多数の六角形状の円錐からなることが分かった。ここで、 $n_{enc}$ は  
エポキシの屈折率で、 $n_s$ はGaNの屈折率である。

【0055】

表面は、円錐状を有する必要がないことも可能であり、格子構造やフォトリソ結晶も  
考えられるべきである。これらは、光取り出しのためには、より良い構造である。しかし  
ながら、フォトリソ結晶の製造には、精密な設計と処理が必要で、円錐状の表面粗さを  
製造するよりも、コスト高である。

【0056】

P E Cエッチング前に表面が「鏡面状」であれば、エッチング時間が長くなるにつれ、退色する。反射率の高い金属が、G a N膜の他の面に堆積されると、表面は白色が現れるか、さもなければ、より暗くなる。これは、空気 / G a N境界で拘束された光反射によるものであると、考えられる。G a Nの裏側に反射率の高い金属があれば、光はG a Nの中を通過し、再び外に出て、粗くなった表面で散乱する。

【 0 0 5 7 】

表面が平坦なL E Dからのエレクトロルミネセンス ( E L ) スペクトルと、表面を粗くしたL E DからのE Lスペクトルとを、それぞれ図9 ( a ) と図9 ( b ) に示す。測定は、順方向のD C電流密度 $25 \text{ A} / \text{cm}^2$ 、室温 ( R T ) で行った。平坦な表面のL E Dのスペクトルは、図9 ( a ) に示されるように、複数のピーク発光を有した。これは、活性領域からの発生した光が、G a N / 金属とG a N / 空気とで形成された鏡の間に挟まれた縦方向のG a N空洞と干渉されたことを示唆している。これとは対照的に、図9 ( b ) に示されるように、表面を粗くしたL E Dにおいては、縦モードは観察されなかった。これは、粗くされたG a N / 空気界面は光を散乱するので、その結果、共振を抑制することを意味する。

10

【 0 0 5 8 】

図10は、室温でのL E Dの上向きE L出力 対 D C注入電流 ( L - I ) 特性のグラフで、エッチング時間が異なるものである。これらのデータは、P E Cエッチングの前後で、同じデバイスから得られたことから、表面形状以外から生じる要因は一切排除される。いずれのL - I曲線も $50 \text{ mA}$ まではリニアな特性を示した。S iの熱伝導性はサファイアの熱伝導性に比べ比較的高いので、これらのデバイスは、高出力での動作には有利である。どの電流値においても、出力はP E Cエッチング時間の増加とともに増加した。平坦な表面のL E Dと10分間エッチングした表面のL E Dを比較すると、この粗面化処理の結果、出力は2 . 3のファクターで増加した。別のデバイスでの他の測定からも、粗面化処理を行った後、出力は2 ~ 3倍の増加を示した。平坦な表面のL E Dは表面を粗くしたL E Dより、L E Dチップの側壁から、より多くの光を発生する傾向がある。これは、光の長手方向への伝播によるものである。出力の差は、出力の全てを積分球で測定すれば、より小さくなる。それにも関わらず、異方性エッチングによる光取り出し効率の強化は、著しい改善が見られる。

20

【 0 0 5 9 】

結論として、異方性エッチング方法が、光取り出し効率を増加させる目的で、G a NベースのL E Dに適用されてきた。L E D出力テストの結果は、おそらくはG a N膜での光伝播の減少によって、粗くした外観と光取り出し効率との間には、相関があるということを示した。全体の総合的な光学的出力は測定しなかったが、光取り出し効率の最大の増加は、100%を超えるものであった。本明細書に記載された技術はシンプルで、複雑な処理を要しないことは、注目に値する。これは、表面を粗くしたG a NベースのL E D製造に適した技術であることを示している。

30

【 0 0 6 0 】

## 【数 3】

**参考文献**

以下の参考文献は、本明細書に参考として援用される

1. <http://www.cree.com/News/news175.asp>
2. Y. Kawakami, Y. Narukawa, K. Omae, S. Fujita, and S. Nakamura, Phys. Stat. Sol. (a) 178, 331 (2000).
3. T. Nishida, H. Saito, and N. Kobayashi, Appl. Phys. Lett. 79, 711(2001). 10
4. A. Billeb, W. Grieshaber, D. Stocker, E. F. Schubert, R. F. Karlicek, Jr., Appl. Phys. Lett. 70, 2790 (1997).
5. A. A. Bergh, M. Hill, R. H. Saul, and S. Plains, U.S. Patent No. 3,739,217 (1973), タイトル“Surface Roughening Of Electroluminescent Diodes.”
6. Chul Huh et al., Appl. Phys. Lett. 93, 9383 (2003).
7. X. A. Cao, S. J. Pearton, A. P. Zhang, G. T. Dang, F. Ren, R. J. Shul, L. Zhang, R. Hickman, and J. M. Van Hove, Appl. Phys. Lett. 75, 2569 (1999).
8. Y. Ohba and A. Hatano, J. Crystal. Growth 145, 214 (1994).
9. W. S. Wong, T. Sands, N.W. Cheung, M. Kneissl, D. P. Bour, P. Mei, L. T. Romano, and N. M. Johnson, Appl. Phys. Lett. 72, 1999 (1998). 20
10. P. R. Tavernier and D. R. Clarke, J. Appl. Phys. 89, 1527 (2001).
11. C. F. Chu, C. C. Yu, H. C. Cheng, C. F. Lin, and S. C. Wang, Jpn. J. Appl. Phys. 42, L147 (2003).
12. W.S. Wong, T. Sands, N. W. Cheung, M. Kneissl, D. P. Bour, P. Mei, L. T. Romano, N. M. Johnson, “Fabrication of thin-film InGaN light-emitting diode membranes by laser lift off,” Appl. Phys. Lett., 75 (10) 1360 (1999).
13. W.S. Wong, T. Sands, N. W. Cheung, M. Kneissl, D. P. Bour, P. Mei, L. T. Romano, N. M. Johnson, “InXGa1-XN light emitting diodes on Si substrates fabricated by Pd-In metal bonding and laser lift-off,” Appl. Phys. Lett., 77 (18) 2822 (2000). 30
14. J. J. Wierer, D. A. Steigerwald, M. R. Krames, J. J. O’Shea, M. J. Ludowise, N. F. Gardner, R. S. Kern, and S. A. Stockman, Appl. Phys. Lett. 78, 3379 (2001).
15. M. S. Minsky, M. White, and E. L. Hu, Appl. Phys. Lett. 68, 1531 (1996).
16. C. Youtsey, L. T. Romano, and I. Adesida, Appl. Phys. Lett. 73, 797 (1998). 40

(結論)

これは、本発明の好ましい実施形態の記述を結論付けるものである。以下は、本発明を実行する幾つかの代替的な実施形態を述べる。

【0061】

MOCVD以外にも多数の異なる結晶成長方法が、本発明には用いられ得る。

【0062】

さらに、サファイアまたは炭化ケイ素以外の基板も用いられ得る。

【0063】

また、異なるLED構造も作成され得る。例えば、共振空洞LED(RCLED)または微小空洞LED(MCLED)も同様に作成され得る。 50

## 【 0 0 6 4 】

本発明の1つ以上の実施形態に関する以上の記述は、例示と説明の目的のために紹介してきた。網羅的に記載することも、本発明をここに開示した細かい形式に限定することも意図していない。上述の教示を考慮すると、多数の変更やバリエーションも可能である。本発明の範囲は、詳細な説明に限定されるものでなく、むしろ、添付の特許請求の範囲によって限定されることを意図している。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 6 5 】

【 図 1 】 図 1 は、従来型 L E D 構造の模式的な断面図である。

【 図 2 】 図 2 は、フリップチップ型 L E D 構造の模式的な断面図である。

10

【 図 3 】 図 3 は、表面を粗くした L E D の模式図である。

【 図 4 】 図 4 は、本発明の好ましい実施形態で用いられる処理ステップを示す流れ図である。

【 図 5 】 図 5 ( a ) ~ ( f ) は、表面を粗くした L E D の製造ステップをさらに示す。

【 図 6 】 図 6 ( a ) は、電流ブロック層を有する L E D を示し、図 6 ( b ) は、電流閉じ込め枠を有する L E D を示す。

【 図 7 】 図 7 ( a ) および図 7 ( b ) は、十字型 n 電極を有する L L O - L E D の平面顕微鏡写真である。

【 図 8 】 図 8 ( a ) および図 8 ( b ) は、P E C エッチング後の G a N の N 面の走査電子顕微鏡 ( S E M ) 像で、エッチング時間が異なるものである。

20

【 図 9 】 図 9 ( a ) は、表面が平坦な L E D からのエレクトロルミネセンス ( E L ) スペクトルを、図 9 ( b ) は、表面を粗くした L E D からの E L スペクトルを示す。

【 図 1 0 】 図 1 0 は、室温での L E D の上向き E L 出力 対 D C 注入電流 ( L - I ) 特性で、エッチング時間が異なるものである。

## 【 図 1 】

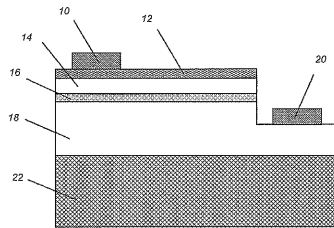


FIG. 1

## 【 図 2 】

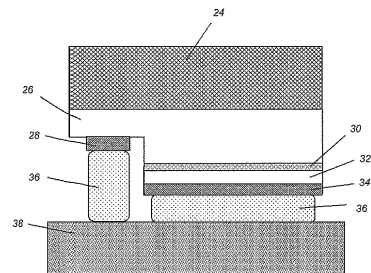


FIG. 2

【図3】

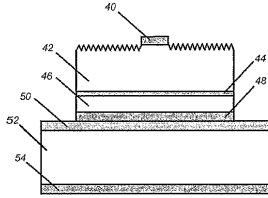


FIG. 3

【図4】

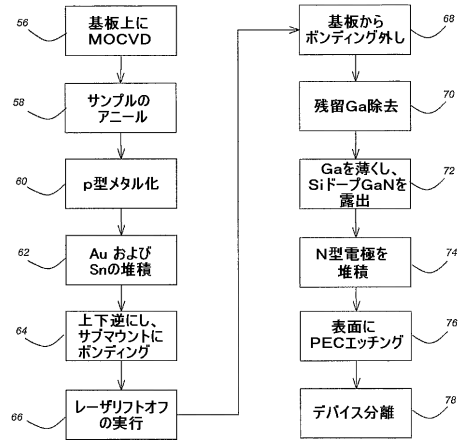


FIG. 4

【図5】

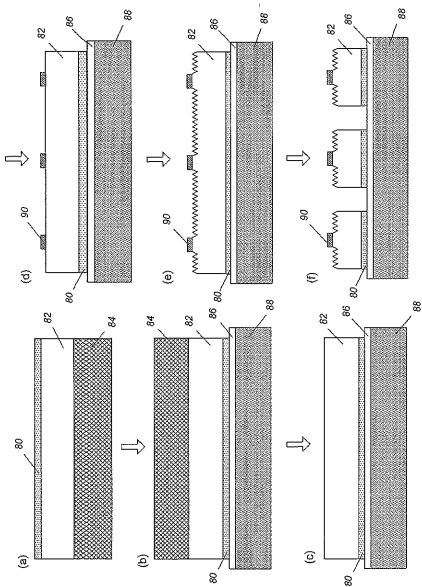


FIG. 5

【図6】

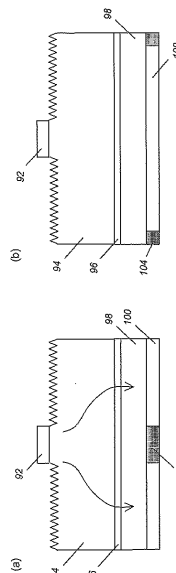


FIG. 6

【 図 7 】

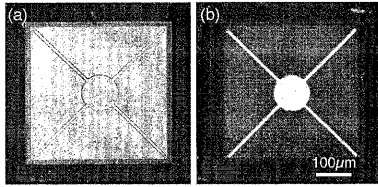


FIG. 7

【 図 8 】

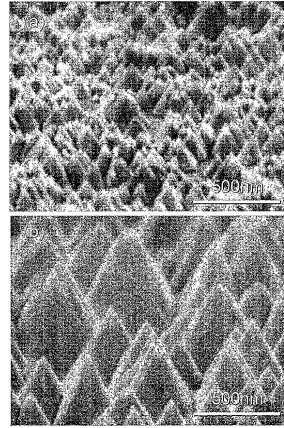


FIG. 8

【 図 9 】

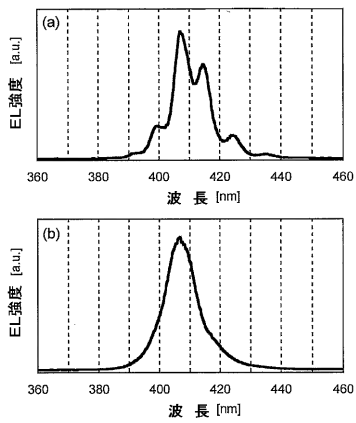


FIG. 9

【 図 10 】

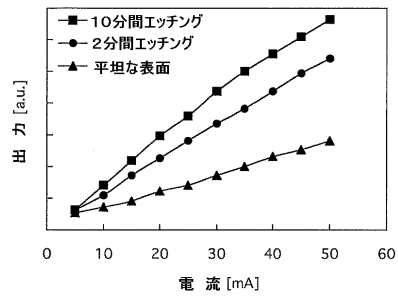


FIG. 10

## フロントページの続き

- (72)発明者 藤井 哲雄  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 93117, ゴレタ, ダベンポート ロード 7240,  
ナンバー104
- (72)発明者 ガオ, ヤン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 93117, ゴレタ, ボルトン ウォーク 705, ナ  
ンバー102
- (72)発明者 フー, イーブリン エル.  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 93117, ゴレタ, ノース フェアビュー アベニュー  
1160
- (72)発明者 中村 修二  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 93160, サンタ バーバラ, ピー.オー. ボックス  
61656

## 合議体

審判長 黒瀬 雅一  
審判官 藤本 義仁  
審判官 吉野 公夫

- (56)参考文献 特表2003-532298(JP,A)  
特開2003-183100(JP,A)  
特開2003-277195(JP,A)  
特開2003-174191(JP,A)  
米国特許出願公開第2003/0222263(US,A1)  
国際公開第01/41225(WO,A1)  
特開平6-177432(JP,A)  
特開2003-218383(JP,A)  
特開2002-170993(JP,A)  
特開平9-8403(JP,A)  
国際公開第01/41219(WO,A1)  
S. Tripathy et al., Characterization of indu  
ctively coupled plasma etched surface of Ga  
N using Cl<sub>2</sub>/BCl<sub>3</sub> chemistry, Journal of Vacuu  
m Science and Technology A, American Vacuum  
Society, 2001年 9月, Volume 19, Issue 5, pp. 252  
2-2532  
Hock M. Ng et al., GaN nanotip pyramids form  
ed by anisotropic etching, Journal of Applie  
d Physics, 米国, American Institute of Physics  
, 2003年 7月 1日, vol. 94, pp. 650-653  
田口常正, 白色LED照明システムの高輝度・高効率・長寿命化技術, 日本, 技術情報協会, 2  
003年 3月27日, 第19頁  
M. S. Minsky, M. White and E. L. Hu, Applied  
Physics Letters, 米国, 1996. 発行, 68, 1531  
C. Youtsey, L.T. Romano, and I. Adesida, App  
l. Phys. Lett., 米国, 1998. 発行, 73, 797  
W. S. Wong, T. Sands, N.W. Cheung, M. Kneissl, D. P. B  
our, P. Mei, L.T. Romano and N.M. Johnson, Appl.  
Phys. Lett., 米国, 1998. 掲載, 72, 1999



P. R. Tavernier, and D. R. Clarke, J. Appl. Phys.,  
米国, 2001. 発行, 89, 1527

C. F. Chu, C. C. Yu, H. C. Cheng, C. F. Lin, and, S. C. Wang,  
Jpn. J. Appl. Phys., 日本, 2003. 発行, 42, L147

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/302,21/306-21/308,21/461,21/465-21/467,33/00

H01S 5/00-5/50