

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-82587  
(P2011-82587A)

(43) 公開日 平成23年4月21日(2011.4.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 33/22 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 7 2	5 F O 4 1
HO 1 L 33/32 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 8 6	

審査請求 有 請求項の数 33 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2011-13852 (P2011-13852)	(71) 出願人	592130699
(22) 出願日	平成23年1月26日 (2011.1.26)		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
(62) 分割の表示	特願2005-512858 (P2005-512858) の分割		The Regents of The University of Calif ornia
原出願日	平成15年12月9日 (2003.12.9)		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
		(71) 出願人	503360115
			独立行政法人科学技術振興機構
			埼玉県川口市本町四丁目1番8号
		(74) 代理人	100089635
			弁理士 清水 守

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面粗化による高効率窒化ガリウムベースの発光ダイオード

(57) 【要約】

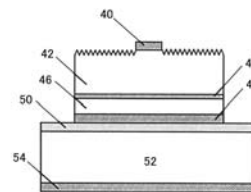
【課題】 GaNベースのLEDの表面を粗くすることによって、光取り出し効率を向上させる手段を提供する

。

【解決手段】

窒化ガリウム (GaN) ベースの発光ダイオード (LED) で、光はLEDの窒素面 (N面) (42) を介して取り出される。また、N面 (42) 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内部で繰り返し起こる光の反射が減り、そのため、より多くの光をLEDから取り出せる。N面 (42) の表面は、異方性エッチングによって粗くされる。この異方性エッチングとしては、乾式エッチング、PECエッチングが挙げられ得る。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも一つの n 型層、発光層、および p 型層からなる (Al, Ga, In) N 発光ダイオード (LED) であって、

該発光層からの光が、該発光ダイオードの窒素面 (N 面) 表面を介して取り出され、該発光ダイオードの該 N 面表面は、該発光ダイオードの N 面表面からの光取り出し効率を増加させるような構造からなることを特徴とする、(Al, Ga, In) N 発光ダイオード (LED)。

## 【請求項 2】

前記発光層からの光は、前記発光ダイオードの前記発光層とは異なる層の N 面表面を介して取り出されることを特徴とする、請求項 1 に記載の発光ダイオード。

10

## 【請求項 3】

前記発光層からの光は、前記発光ダイオードの前記 n 型層の N 面表面を介して取り出されることを特徴とする、請求項 2 に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 4】

前記発光ダイオードは、さらに p 型層上の p 型電極を具備し、該 p 型電極は高反射特性を有し、n 型層の N 面表面へ向かう光反射を増加させることを特徴とする、請求項 3 に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 5】

前記発光ダイオードは、さらに n 型層上の n 型電極と、電流が該 n 型電極の下に集中しないようにし、該 n 型電極下での光放射の吸収を避け、光取り出し効率を増やすために該 n 型電極の下に位置合わせした電流ブロック層を具備することを特徴とする、請求項 3 に記載の発光ダイオード。

20

## 【請求項 6】

前記構造は複数のエッチングされた錐体をからなることを特徴とする、請求項 1 に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 7】

前記エッチングされた錐体は、前記 N 面表面から取り出された光の波長よりも大きいことを特徴とする、請求項 6 に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 8】

前記エッチングされた錐体が、  
 $2 \sin^{-1} (n_{air} / n_s)$   
以下の角度を有する複数の六角形状の錐体であり、ここで、 $n_{air}$  は大気屈折率で、 $n_s$  は N 面表面の屈折率であることを特徴とする、請求項 6 に記載の発光ダイオード。

30

## 【請求項 9】

前記エッチングされた錐体が、  
 $2 \sin^{-1} (n_{enc} / n_s)$   
以下の角度を有する複数の六角形状の錐体からなり、ここで  $n_{enc}$  は前記 N 面表面に堆積されたエポキシの屈折率で、 $n_s$  は N 面表面の屈折率であることを特徴とする、請求項 6 に記載の発光ダイオード。

40

## 【請求項 10】

前記 n 型層、前記発光層および前記 p 型層は、それぞれ (Al, Ga, In) N 合金からなることを特徴とする、請求項 1 に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 11】

前記発光ダイオードの N 面表面からの光取り出し効率の増加が、構造物のない N 面表面に比べて 100% を超えることを特徴とする、請求項 1 に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 12】

前記光は、前記発光ダイオードの成長方向に沿って形成される空洞により生じる空洞モード、干渉効果、または縦モードを示さないことを特徴とする、請求項 1 に記載の発光ダイオード。

50

## 【請求項 13】

前記発光ダイオードは、発光面積を著しく減らすことなく、前記発光ダイオードの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ことを特徴とする、請求項 1 に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 14】

前記発光ダイオードは、熱伝導性の高い材料上に設置されることを特徴とする、請求項 1 に記載の発光ダイオード。

## 【請求項 15】

(Al, Ga, In)N 発光ダイオード(LED)を製造する方法であって、  
基板上に該 (Al, Ga, In)N 発光ダイオードの少なくとも一つの n 型層、発光層、および p 型層を作製する工程と、

該層から該基板を除去することにより、該発光ダイオードの窒素面(N面)表面を露出させる工程と、

該露出した発光ダイオードの N 面表面を、該発光ダイオードの N 面表面からの光取り出し効率を増加するように構築する工程とを含むことを特徴とする、(Al, Ga, In)N 発光ダイオードの製造方法。

## 【請求項 16】

前記発光ダイオードの N 面表面は、異方性エッチングを用いて構築されることを特徴とする、請求項 15 に記載の方法。

## 【請求項 17】

前記異方性エッチングがドライエッチングであること特徴とする、請求項 16 に記載の方法。

## 【請求項 18】

前記異方性エッチングがウェットエッチングであることを特徴とする、請求項 16 に記載の方法。

## 【請求項 19】

前記ウェットエッチングがフォトエンハンスト化学(PEC)エッチングであることを特徴とする、請求項 18 に記載の方法。

## 【請求項 20】

前記発光ダイオードの N 面表面が、前記発光ダイオードの N 面表面を粗面化またはパターンニングすることにより構築されることを特徴とする、請求項 15 に記載の方法。

## 【請求項 21】

前記発光層からの光が、前記発光ダイオードの前記発光層とは異なる層の N 面から取り出されることを特徴とする、請求項 15 に記載の方法。

## 【請求項 22】

前記発光層からの光が、前記発光ダイオードの前記 n 型層の前記 N 面表面から取り出されることを特徴とする、請求項 21 に記載の方法。

## 【請求項 23】

前記発光ダイオードはさらに p 型層上の p 型電極を具備し、該 p 型電極は高反射特性を有し、n 型層の N 面表面へ向かう光反射を増加させることを特徴とする、請求項 22 に記載の方法。

## 【請求項 24】

前記発光ダイオードは、さらに n 型層上の n 型電極と、電流が該 n 型電極の下に集中しないようにし、該 n 型電極下での光放射の吸収を避け、光取り出し効率を増やすために該 n 型電極の下に位置合わせした電流ブロック層を具備することを特徴とする、請求項 22 に記載の方法。

## 【請求項 25】

前記構造は複数のエッチングされた錐体をからなることを特徴とする、請求項 15 に記載の方法。

## 【請求項 26】

前記エッチングされた錐体は、前記N面表面から取り出された光の波長よりも大きいことを特徴とする、請求項25に記載の方法。

【請求項27】

前記エッチングされた錐体が、  
 $2 \sin^{-1}(n_{air} / n_s)$

以下の角度を有する複数の六角形状の錐体であり、ここで、 $n_{air}$ は大気の屈折率で、 $n_s$ はN面表面の屈折率であることを特徴とする、請求項25に記載の方法。

【請求項28】

前記エッチングされた錐体が、  
 $2 \sin^{-1}(n_{enc} / n_s)$

以下の角度を有する複数の六角形状の錐体からなり、ここで $n_{enc}$ は前記N面表面に堆積されたエポキシの屈折率で、 $n_s$ はN面表面の屈折率であることを特徴とする、請求項25に記載の方法。

【請求項29】

前記n型層、前記発光層および前記p型層は、それぞれ(A1, Ga, In)N合金からなることを特徴とする、請求項15に記載の方法。

【請求項30】

前記発光ダイオードのN面表面からの光取り出し効率の増加が、構造物のないN面表面に比べて100%を超えることを特徴とする、請求項15に記載の方法。

【請求項31】

前記光は、前記発光ダイオードの成長方向に沿って形成される空洞により生じる空洞モード、干渉効果、または縦モードを示さないことを特徴とする、請求項15に記載の方法。

【請求項32】

前記発光ダイオードは、発光面積を著しく減らすことなく、前記発光ダイオードの側壁を流れるリーク電流を抑制する、絶縁体から作製された電流閉じ込め枠を含むことを特徴とする、請求項15に記載の方法。

【請求項33】

前記発光ダイオードは、熱伝導性の高い材料上に設置されることを特徴とする、請求項15に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

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窒化ガリウムベースの発光ダイオードに関する。

【背景技術】

【0002】

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)。

窒化ガリウム(GaN)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(LED)は、約10年前から利用可能になってきた。このLED開発の進歩によって、LED技術に大きな変化がもたらされ、フルカラーLEDディスプレイ、LED信号機、白色LEDなどが実現されてきた。

【0003】

近年、高効率の白色LED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LEDの効率( $74 \text{ lm/W}$ ) (非特許文献1)は、普通の蛍光灯( $75 \text{ lm/W}$ )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。

10

20

30

40

50

LED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(  $\eta_{out}$  )を上げることである。

#### 【0004】

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(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(非特許文献3)。これには改善の余地はほとんどない。

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。

#### 【0005】

例えば、GaN( $n \sim 2.5$ )と空気の屈折率を考え(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。

#### 【0006】

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。

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。

#### 【0007】

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。

#### 【0008】

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。

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(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、通常のウェットエッチング方法では

10

20

30

40

50

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。

【0009】

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(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ドライエッチング(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(非特許文献7)によって、活性層が劣化するからである。

10

【0010】

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(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構造にも用いられてきている(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

【0011】

一方、本発明において、フリップチップ技術(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%を超す増加率を示す。

【0012】

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)表面波可能であるが、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

【0013】

フォトエンハンスド化学(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、小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

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【特許文献1】米国特許第3,739,217号明細書

【非特許文献】

【0015】

【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) 17

50

8、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、E. F. Schubert、R. F. Karlicek, Jr.、Appl. Phys. Lett. 70、2790(1997)

【非特許文献5】Chul Huh<sup>5</sup>、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)

10

【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. Kneissl、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)

20

【非特許文献11】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)

【非特許文献12】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

【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)

40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0016】

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つ以上の六角形状錐体に粗くされる。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。

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、ドライエッチング、または、フォトエンハンスト化学(PEC)エッチングを含み得る。

50

## 【 0 0 1 7 】

一つの実施形態において、N面Ga<sub>N</sub>は、レーザーリフトオフ（L<sub>0</sub>O）技術で準備される。他の実施形態において、LEDはc平面Ga<sub>N</sub>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。

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。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 8 】

【 図 1 】 図 1 は、従来型LED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LED構造の模式的な断面図である。

【 図 3 】 図 3 は、表面を粗くしたLEDの模式図である。

10

【 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LED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LEDを示し、図 6 ( b ) は、電流閉じ込め枠を有するLED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LLO-LEDの平面顕微鏡写真である。

【 図 8 】 図 8 ( a ) および図 8 ( b ) は、PECエッチング後のGa<sub>N</sub>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。

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

20

【 図 1 0 】 図 1 0 は、室温でのLEDの上向きEL出力 対 DC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。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 1 9 】

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。

## 概要

30

本発明は、Ga<sub>N</sub>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Ga<sub>N</sub>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。

## 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。ドライエッチングまたは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、ドライ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Ga<sub>N</sub>ベースのLEDは、c軸に沿って成長されるべきで、このn型Ga<sub>N</sub>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Ga<sub>N</sub>よりもN面Ga<sub>N</sub>で、より容易に観察され得るからである。

40

## 【 0 0 2 0 】

50



c平面Ga<sub>2</sub>N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Ga<sub>2</sub>Nが一般的には好ましいため、N面Ga<sub>2</sub>N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Ga<sub>2</sub>Nウェハーに成長され得る。

#### 【0021】

表面を粗くしたn型Ga<sub>2</sub>N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Ga<sub>2</sub>N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。

#### 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。

#### 【0022】

ブロック56は、MOCVDによって、c平面サファイア基板の上に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。

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。

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。

#### 【0023】

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。

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°C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。

#### 【0024】

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、LLOプロセスを実行するステップを示す。その結果、GaN/サファイア基板界面で、局所的にGaNが分解する。特に、サンプル上にKrFエキシマレーザスポットをラスタして、GaNベースのLED膜は、Si基板/サブマウントに移される。

#### 【0025】

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。

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。

ブロック72は、Siドープした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。

#### 【0026】

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。

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、非特許文献14に詳細に記載されている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 7 】

ブロック 7 8 は、ドライエッチング、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。

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 8 0、Ga N ベースの LED 膜 8 2、サファイア基板 8 4、ハンダ金属 8 6、サブマウント ( キャリア ) 8 8、および、n 型電極 9 0 を含む。特定的には、図 5 ( a ) は、p 型電極 8 0 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 8 8 条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 8 4 が L L O で除去された後の結果を示す。図 5 ( d ) は、n 型電極 9 0 が堆積後の結果を示す。図 5 ( e ) は、Ga N 表面 8 2 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。

10

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。

## 【 0 0 2 8 】

図 6 ( a ) は、電流ブロック層を有する LED を示し、図 6 ( a ) 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 9 2、n 型層 9 4、活性層 9 6、p 型層 9 8、p 型電極 1 0 0、電流ブロック層 1 0 2、および、電流閉じ込め枠 1 0 4 を含む。

図 6 ( a ) において、LED は n 型電極 9 2 の下に位置合わせした電流ブロック層 1 0 2 を有する。この電流ブロック層 1 0 2 は、電流が n 型電極 9 2 の下に集中しないようにする。これは、電極 9 2 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。Si O<sub>2</sub> のような絶縁体が p 型 Ga N 層 9 8 上に置かれるのは、適切である。なぜなら、p 型 Ga N 層 9 8 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。

20

## 【 0 0 2 9 】

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 1 0 4 を有する。デバイス分離に、ドライ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 1 0 4 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。

30

## 【 0 0 3 0 】

L L O 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、Si C、ダイヤモンド、Al N などの他の基板、あるいは、Cu W 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。

現在のところ、Ga N デバイスは、Si C や Si 基板に直接成長させることができる。Ga N ベースの LED が、Si C または Si に成長されるなら、従来のドライエッチングまたはウェットエッチングで基板を除去し得る。バルクの Ga N 基板を使うと、L L O プロセスは省略され得る。

40

## 【 0 0 3 1 】

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 Ga N の抵抗率は、p 型 Ga N 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。

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、M O C V D により、c 平面サファイア基板の上に成長させた。構造は、4 μ m 厚のアンドープおよび Si ドープの Ga N 層、5 ピリオドの Ga N / I n G a N の多重量子井戸 ( M Q W )、2 0 n m 厚の Mg ドープ Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 層、および、0 . 3 μ m 厚の Mg ドープ Ga N であった。

50

MOCVD後、サンプルをp型活性化のためにアニールし、ついで、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、HCl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、XeHg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の高さにセットされたSi検出器で測定した。

10

20

30

40

50

#### 【0032】

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。

#### 【0033】

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GaN表面は、複数の六角形状錐体を含む。これは、Youtseyら(非特許文献15)によって報告されているものと全く異なる。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、六角形状錐体のファセットも明確になってくる。

#### 【0034】

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、GaN結晶の青色LEDの波長は、約200nmである。円錐形状のサイズが、その波長の値より随分小さければ、光はその粗さによる影響を受けないこともあり得る。一方、円錐形状のサイズが、その値に近ければ、光は散乱または回折され得る。

#### 【0035】

実験結果において、GaNの場合、粗くした表面は、

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

以下の角度を有する多数の六角形状の錐体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、粗くした表面は

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

以下の角度を有する多数の六角形状の錐体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。

#### 【0036】

表面は、円錐状を有する必要がないことも可能であり、格子構造やフォトニック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、フォトニック結晶の製造には、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。

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、光りは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 3 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 $25\text{ A / cm}^2$ 、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 3 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 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、粗面化処理を行なった場合、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 3 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。

30

#### 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。

40

#### 【 0 0 4 0 】

M O C V D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。

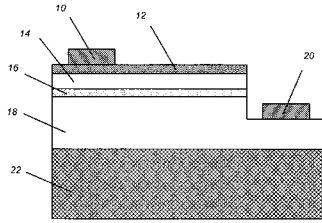
さらに、サファイアまたは炭化ケイ素以外の基板も用いられ得る。

また、異なるL E D構造も作成され得る。例えば、共振空洞L E D ( R C L E D ) または微小空洞L E D ( M C L E D ) も同様に作成され得る。

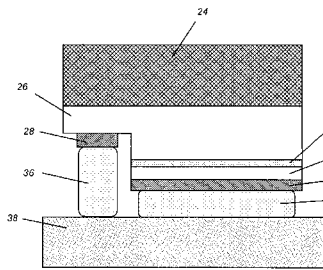
本発明の1つ以上の実施形態に関する以上の記述は、例示と説明の目的のために紹介してきた。網羅的に記載することも、本発明をここに開示した細かい形式に限定することも意図していない。上述の教示を考慮すると、多数の変更やバリエーションも可能である。本発明の範囲は、詳細な説明に限定されるものではなく、むしろ、添付の特許請求の範囲によって限定されることを意図している。

50

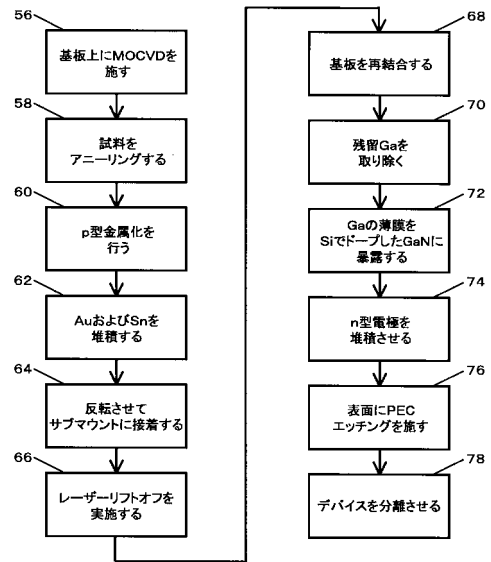
【図1】



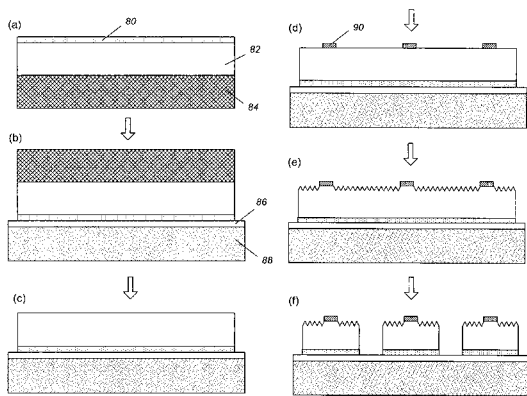
【図2】



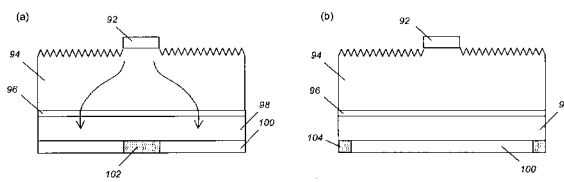
【図4】



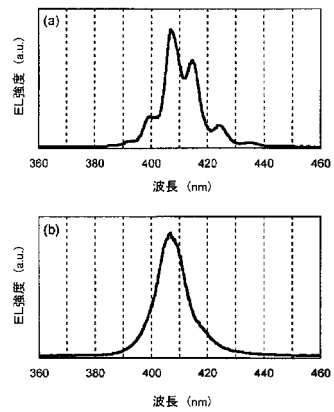
【図5】



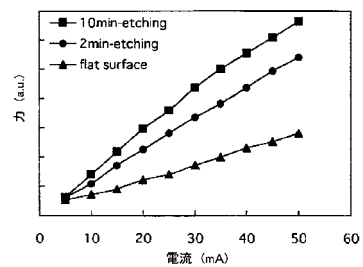
【図6】



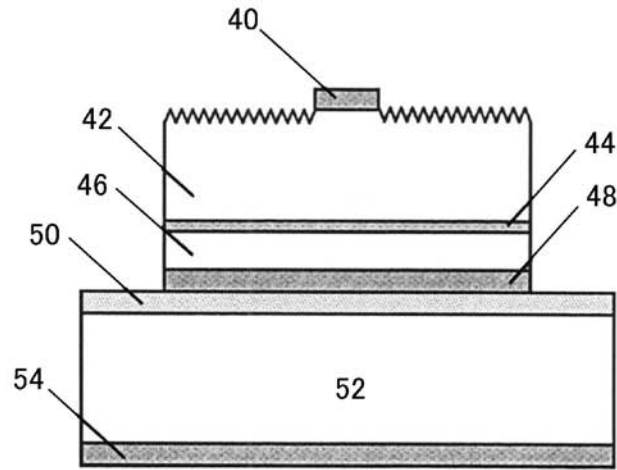
【図9】



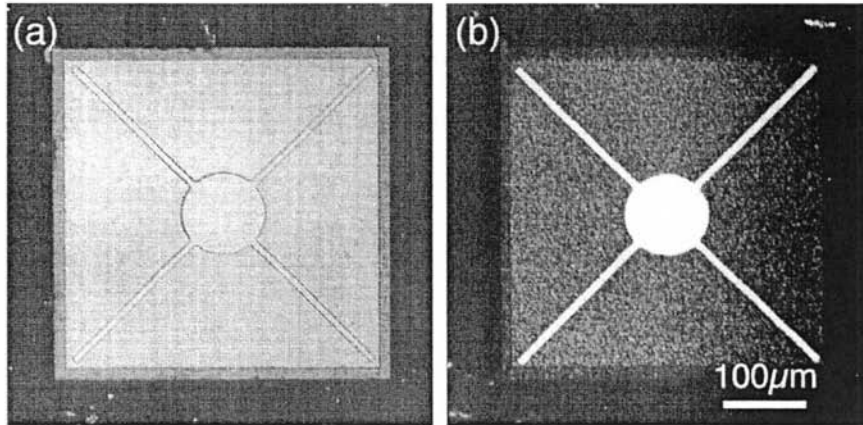
【図10】



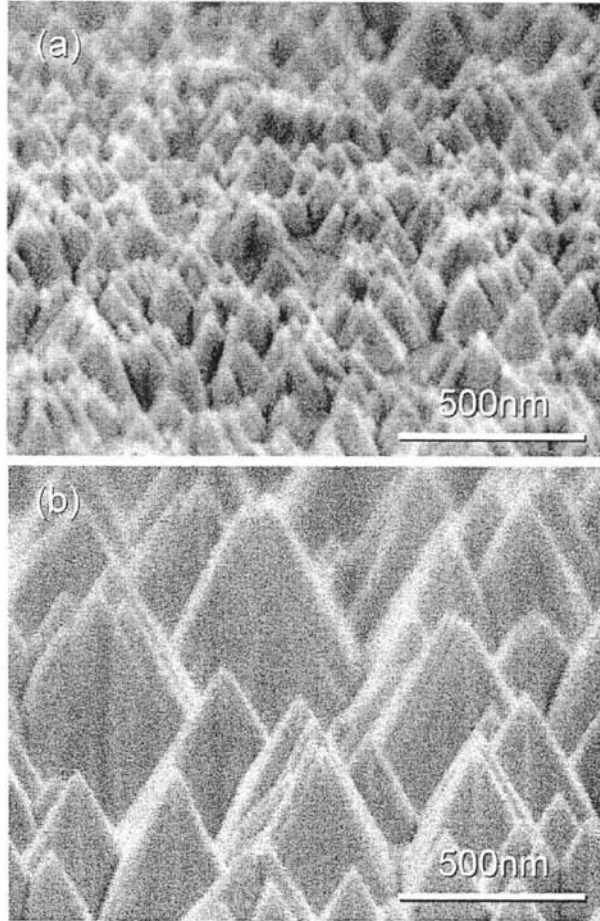
【 図 3 】



【 図 7 】



【 図 8 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 藤井 哲雄

米国、カリフォルニア州 9 3 1 1 7、ゴレタ、ダンベンポート ロード 7 2 4 0、ナンバー 1  
0 4

(72)発明者 ヤン・ガオ

米国、カリフォルニア州 9 3 1 1 7、ゴレタ、ボルトン ウォーク 7 0 5、ナンバー 1 0 2

(72)発明者 イーブリン・エル・フー

米国、カリフォルニア州 9 3 1 1 7、ゴレタ、ノースフェアビュー アベニュー 1 1 6 0

(72)発明者 シュウジ・ナカムラ

米国、カリフォルニア州 9 3 1 6 0、サンタ バーバラ、ピー・オー・ボックス 6 1 6 5 6

Fターム(参考) 5F041 AA03 CA05 CA23 CA34 CA40 CA49 CA57 CA65 CA73 CA74

CA77 CA83 CA88 CA92 CB04 CB11 DA03 DA09