

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2007-521641
(P2007-521641A)

(43) 公表日 平成19年8月2日(2007.8.2)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)
HO 1 L 33/00 (2006.01)		HO 1 L 33/00	C	5FO41
HO 1 L 21/306 (2006.01)		HO 1 L 21/306	B	5FO43

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 20 頁)

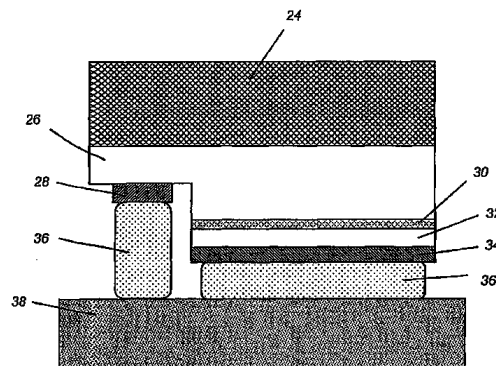
(21) 出願番号 特願2005-512858 (P2005-512858)	(71) 出願人 592130699 ザ・レジエンツ・オブ・ザ・ユニバーシテイ・オブ・カリフォルニア The Regents of The University of California アメリカ合衆国 カリフォルニア州 オークランド フランクリン ストリート 1111 12ス フロア オフィス オブ テクノロジー トランスファー
(86) (22) 出願日 平成15年12月9日 (2003.12.9)	(71) 出願人 503360115 独立行政法人科学技術振興機構 埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(85) 翻訳文提出日 平成18年6月7日 (2006.6.7)	(74) 上記1名の代理人 100089635 弁理士 清水 守
(86) 国際出願番号 PCT/US2003/039211	
(87) 国際公開番号 W02005/064666	
(87) 国際公開日 平成17年7月14日 (2005.7.14)	

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) 【要約】

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。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

窒化ガリウム (Ga N) ベースの発光ダイオード (L E D) であって、光は該 L E D の窒素面 (N 面) を介して取り出され、該 N 面の表面は粗くされる、 L E D。

【請求項 2】

前記 N 面の表面が 1 つ以上の円錐に粗くされる、請求項 1 に記載の G a N L E D。

【請求項 3】

前記粗くされた表面が、前記 L E D 内部で繰り返し起こる光の反射を減らし、これによって、より多くの光を該 L E D から取り出す、請求項 1 に記載の G a N L E D。

【請求項 4】

前記 N 面の前記表面が、異方性エッチングで粗くされる、請求項 1 に記載の G a N L E D。

【請求項 5】

前記異方性エッチングが、乾式エッチングである、請求項 4 に記載の G a N L E D。

【請求項 6】

前記異方性エッチングが、光強化化学 (P E C) エッチングである、請求項 4 に記載の G a N L E D。

【請求項 7】

前記 N 面が、前記 G a N L E D の n 型層である、請求項 1 に記載の G a N L E D。

【請求項 8】

前記 N 面が、レーザーリフトオフ (L L O) 技術によって準備される、請求項 1 に記載の G a N L E D。

【請求項 9】

前記 L E D が、c 平面 G a N ウェハー上に成長され、ガリウム面 (G a 面) が p 型層である、請求項 1 に記載の G a N L E D。

【請求項 10】

前記 L E D が、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、請求項 1 に記載の G a N L E D。

【請求項 11】

前記 n 型層、前記活性領域、および、前記 p 型層が、それぞれ (B , A l , G a , I n) N 合金からなる、請求項 10 に記載の G a N L E D。

【請求項 12】

前記 p 型電極が、高反射率の特性を有し、光の吸収を減らし、前記 n 型層の前記表面に向かう光の反射を増やす、請求項 10 に記載の G a N L E D。

【請求項 13】

前記 L E D 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 10 に記載の G a N L E D。

【請求項 14】

前記 L E D が、発光面積を著しく減らすことなく、該 L E D 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 10 に記載の G a N L E D。

【請求項 15】

前記粗くした表面が、G a N の場合、

【数 1】

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

以下の角度を有する複数の六角形状の円錐からなり、ここで、 n_{air} は空気の屈折率で、 n_s は G a N の屈折率である、請求項 2 に記載の G a N L E D。

【請求項 16】

10

20

30

40

50

前記粗くした表面が、エポキシの場合、

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

以下の角度を有する複数の六角形状の円錐からなり、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、請求項 2 に記載の GaN LED。

【請求項 17】

窒化ガリウム (GaN) ベースの発光ダイオード (LED) を作成する方法であって、光が該 LED の窒素面 (N 面) を介して取り出され、該方法は、該 N 面の表面を 1 つ以上の円錐に粗くすることを包含する、方法。

【請求項 18】

n 型電極、n 型層、活性領域、p 型層、および、p 型電極からなる発光ダイオード (LED) であって、該 n 型層の表面は異方性エッチングによって 1 つ以上の円錐に粗くされ、光は該 n 型層の該粗くされた表面を介して取り出される、LED。

10

【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】

(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)。

20

【0003】

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 技術に大きな変化をもたらされ、フルカラー LED ディスプレイ、LED 信号機、白色 LED などを実現されてきた。

【0004】

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 lm/W) [1] (非特許文献 1) は、普通の蛍光灯 (75 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。

30

【0005】

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 (η_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 ($\eta_{\text{取り出し}}$) 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 η_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 η_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。

40

【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。

【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

50

円錐 (light escape cone) に対する臨界角が約 23° 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。

【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。

10

20

【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。

【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。

30

【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。

40

【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

50

。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。

【 0 0 1 5 】

最近、レーザリフトオフ (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 - 1 1] (非特許文献 8、非特許文献 9、非特許文献 1 0)。さらに、LLO は GaN ベースの LED 製造にも用いられてきている [1 2、1 3] (非特許文献 1 1、非特許文献 1 2)。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。

【 0 0 1 6 】

一方、本発明において、フリップチップ技術 [1 4] (非特許文献 1 3) 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、1 0 0 % を超す増加率を示す。

10

【 0 0 1 7 】

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。

20

【 0 0 1 8 】

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。

【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>>

30

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

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

40

【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. Kniesl, D. P. Bour, P. Mei, L. T. Romano, および、N. M. Johnson, Appl. Phys. Lett. 72, 1999 (1998)

50

【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. 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) 10

【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、「InGa1-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) 20

【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. A. 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。 30

【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】 40

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。

【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。

【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。

10

20

【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。

30

【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】

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。

【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。

40

【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。

50

【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、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トして、GaNベースのLED膜は、Si基板/サブマウントに移される。

10

【0035】

ブロック68は、サンプル上にKrFレーザをラストした後に、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。

20

【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。

【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

30

【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。

40

【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。

【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10

50

2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。SiO₂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れば、発光面積を著しく減らすこともない。

10

【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。

【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。

20

【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。

【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、4 μ m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_{0.2}Ga_{0.8}N層、および、0.3 μ m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 $^{\circ}$ C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、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の高さにセットされたSi検出器で測定した。

30

40

【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

50

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GaN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なってくる。

10

【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、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。

【0053】

実験結果において、GaNの場合、粗くした表面は、

20

【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、粗くした表面は、

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

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_{epox} はエポキシの屈折率で、 n_s はGaNの屈折率である。

30

【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グラフィ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、フォトリソグラフィ結晶の製造には、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】

PEC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、GaN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/GaN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。GaNの裏側に反射率の高い金属があれば、光はGaNの中を通過し、再び外に出て、粗くなった表面で散乱する。

40

【0057】

表面が平坦なLEDからのエレクトロルミネセンス(EL)スペクトルと、表面を粗くしたLEDからのEL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DC電流密度 25 A/cm^2 、室温(RT)で行った。平坦な表面のLED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、GaN/金属とGaN/空気とで形成された鏡の間に挟まれた縦方向のGaN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LEDにおいては、縦モードは観察されなかった。これ

50

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。

【 0 0 5 8 】

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得る。いずれの L - I 曲線も 5 0 m A 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 1 0 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。

10

【 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、1 0 0 % 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。

20

【 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).
4. A. Billeb, W. Grieshaber, D. Stocker, E. F. Schubert, R. F. Karliceck, Jr., Appl. Phys. Lett. 70, 2790 (1997). 10
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。

【 0 0 6 1 】

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。

【 0 0 6 2 】

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。

【 0 0 6 3 】

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。

【 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。

【 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 】

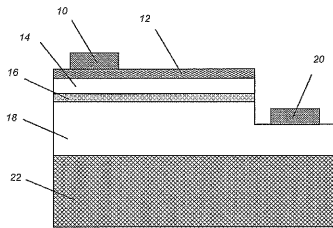


FIG. 1

【 図 2 】

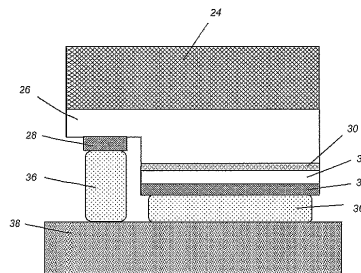


FIG. 2

【 図 3 】

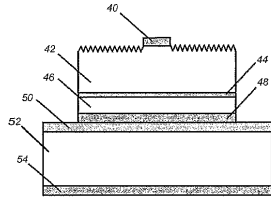


FIG. 3

【 図 4 】

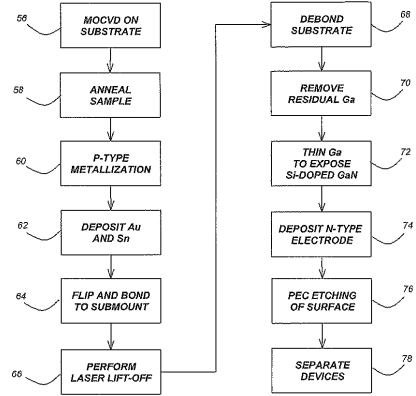


FIG. 4

【 図 5 】

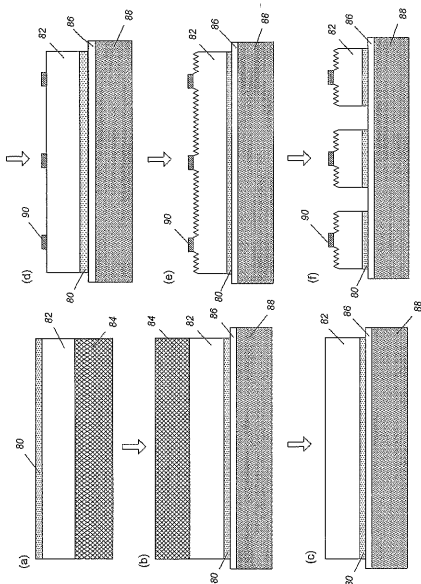


FIG. 5

【 図 6 】

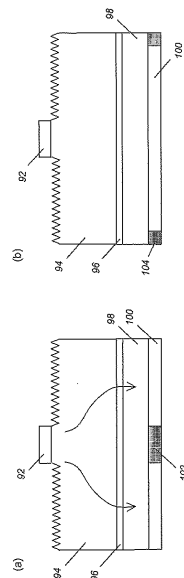


FIG. 6

【 図 7 】

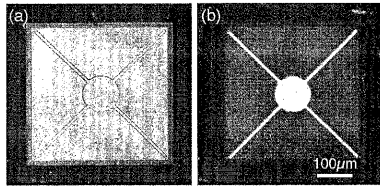


FIG. 7

【 図 8 】

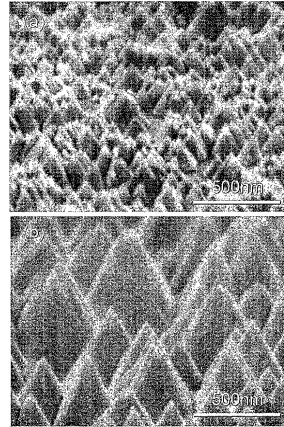


FIG. 8

【 図 9 】

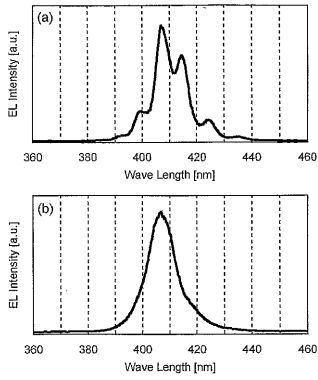


FIG. 9

【 図 10 】

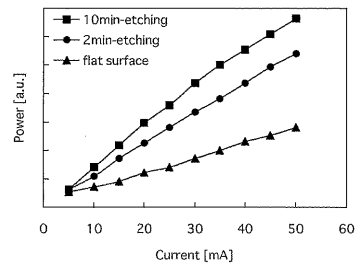


FIG. 10

【手続補正書】

【提出日】平成18年6月13日(2006.6.13)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

(B, Al, Ga, In)Nベースの発光ダイオード(LED)であって、光は該LEDの窒素面(N面)を介して取り出され、該N面の表面は粗くされる、LED。

【請求項2】

前記N面の表面が1つ以上の円錐に粗くされる、請求項1に記載のLED。

【請求項3】

前記粗くされた表面が、前記LED内部で繰り返し起こる光の反射を減らし、これによって、より多くの光を該LEDから取り出す、請求項1に記載のLED。

【請求項4】

前記N面の前記表面が、異方性エッチングで粗くされる、請求項1に記載のLED。

【請求項5】

前記異方性エッチングが、乾式エッチングである、請求項4に記載のLED。

【請求項6】

前記異方性エッチングが、光強化化学(PEC)エッチングである、請求項4に記載のLED。

【請求項7】

前記N面が、前記LEDのn型層である、請求項1に記載のLED。

【請求項8】

前記N面が、レーザリフトオフ(LLO)技術によって準備される、請求項1に記載のLED。

【請求項9】

前記LEDが、c平面窒化ガリウム(GaN)ウェハ－上に成長され、ガリウム面(Ga面)がp型層である、請求項1に記載のLED。

【請求項10】

前記LEDが、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、請求項1に記載のLED。

【請求項11】

前記n型層、前記活性領域、および、前記p型層が、それぞれ(B, Al, Ga, In)N合金からなる、請求項10に記載のLED。

【請求項12】

前記p型電極が、高反射率の特性を有し、光の吸収を減らし、前記n型層の前記表面に向かう光の反射を増やす、請求項10に記載のLED。

【請求項13】

前記LED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10に記載のLED。

【請求項14】

前記LEDが、発光面積を著しく減らすことなく、該LED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10に記載のLED。

【請求項15】

前記粗くした表面が、窒化ガリウム(GaN)LEDの場合、

【数 1】

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

以下の角度を有する複数の六角形状の円錐からなり、ここで、 n_{air} は空気の屈折率で、 n_s は GaN の屈折率である、請求項 2 に記載の LED。

【請求項 16】

前記粗くした表面が、エポキシの場合、

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

以下の角度を有する複数の六角形状の円錐からなり、ここで、 n_{enc} はエポキシの屈折率で、 n_s は前記 LED の屈折率である、請求項 2 に記載の LED。

【請求項 17】

(B, Al, Ga, In)N ベースの発光ダイオード (LED) を作成する方法であって、光が該 LED の窒素面 (N 面) を介して取り出され、該方法は、該 N 面の表面を 1 つ以上の円錐に粗くすることを包含する、方法。

【請求項 18】

前記粗くされるステップが、異方性エッチングを用いて実行される、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

前記異方性エッチングが乾式エッチングである、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

前記異方性エッチングが湿式エッチングである、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 21】

前記湿式エッチングが光強化化学 (PEC) エッチングである、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

n 型電極、n 型層、活性領域、p 型層、および、p 型電極からなる発光ダイオード (LED) であって、該 n 型層の窒素面 (N 面) 表面は異方性エッチングによって 1 つ以上の円錐に粗くされ、光は該 n 型層の該粗くされた表面を介して取り出される、LED。

【請求項 23】

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粗くされる、請求項 22 に記載の方法。

【請求項 24】

前記異方性エッチングが乾式エッチングである、請求項 23 に記載の方法。

【請求項 25】

前記異方性エッチングが湿式エッチングである、請求項 24 に記載の方法。

【請求項 26】

前記湿式エッチングが光強化化学 (PEC) エッチングである、請求項 25 に記載の方法。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

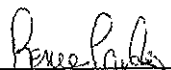
【補正の内容】

【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, Al, Ga, In)N ベースの発光ダイオードに関する。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US03/39211
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC(7) : H01L 21/465, 29/06, 29/20, 33/00 US CL : 257/98, 103; 438/43, 47 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 257/98, 103; 438/43, 47		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched NONE		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Please See Continuation Sheet		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6,091,085 A (LESTER) 18 July 2000 (18.07.2000), see entire document.	1-18
A	US 6,441,403 B1 (CHANGE et al) 27 August 2002 (27.08.2002), see entire document.	1-18
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 13 May 2004 (13.05.2004)		Date of mailing of the international search report 26 MAY 2004
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703) 305-3230		Authorized officer Jerome Jackson Telephone No. (571) 272-1730 

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/US03/39211

Continuation of B. FIELDS SEARCHED Item 3:
EAST
search terms: GaN

フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(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

Fターム(参考) 5F041 AA03 CA05 CA40 CA65 CA74 CA77

5F043 AA16 BB06 DD08 FF10 GG04