

(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2008-514031

(P2008-514031A)

(43) 公表日 平成20年5月1日 (2008. 5. 1)

(51) Int. Cl.
H01L 33/00 (2006.01)F I
H01L 33/00テーマコード (参考)
5 F04 I

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2007-533557 (P2007-533557)
 (86) (22) 出願日 平成17年9月15日 (2005. 9. 15)
 (85) 翻訳文提出日 平成19年5月17日 (2007. 5. 17)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2005/033239
 (87) 国際公開番号 W02006/036604
 (87) 国際公開日 平成18年4月6日 (2006. 4. 6)
 (31) 優先権主張番号 10/951, 042
 (32) 優先日 平成16年9月22日 (2004. 9. 22)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 11/037, 965
 (32) 優先日 平成17年1月18日 (2005. 1. 18)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 11/082, 470
 (32) 優先日 平成17年3月17日 (2005. 3. 17)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

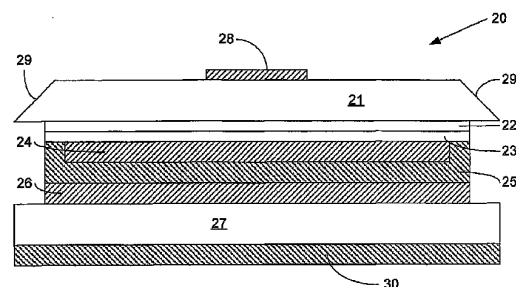
(71) 出願人 592054856
 クリー インコーポレイテッド
 CREE INC.
 アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2
 7703 ダラム シリコン ドライブ
 4600
 (74) 代理人 100089705
 弁理士 社本 一夫
 (74) 代理人 100140109
 弁理士 小野 新次郎
 (74) 代理人 100075270
 弁理士 小林 泰
 (74) 代理人 100080137
 弁理士 千葉 昭男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高出力 III 族発光ダイオード

(57) 【要約】

炭化珪素基板と、この基板上に III 窒化物材料系で形成された発光構造を含む発光ダイオードを開示する。このダイオードは、100,000平方ミクロン未満の面積を有し、390及び540ナノメートルの間のその主波長において、20ミリアンペアの電流で少なくとも29ミリワットの放射束を有する。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

100,000平方マイクロンよりも広い面積と、約390及び540ナノメートルの間にある主波長において、20ミリアンペアの電流で少なくとも29ミリワットの放射束とを有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 2】

請求項1記載の発光ダイオードにおいて、約450及び460ナノメートルの間にある主波長において、20ミリアンペアの電流で少なくとも29ミリワットの放射束を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 3】

請求項1記載の発光ダイオードにおいて、約453ナノメートルにおける主波長において、20ミリアンペアの電流で少なくとも30ミリワットの放射束を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 4】

請求項2記載の発光ダイオードにおいて、約200,000平方マイクロンの面積を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 5】

請求項1記載の発光ダイオードにおいて、約520及び540ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも12ミリワットの放射束を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 6】

請求項1記載の発光ダイオードにおいて、約524及び535ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも13ミリワットの放射束を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 7】

請求項1記載の発光ダイオードにおいて、約524及び527ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも15ミリワットの放射束を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 8】

少なくとも100,000平方マイクロンの面積と、約390及び540ナノメートルの間にある主波長において、20ミリアンペアの電流で50パーセントよりも高い外部量子化効率とを有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 9】

請求項8記載の発光ダイオードにおいて、約450及び460ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも53パーセントの外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 10】

請求項8記載の発光ダイオードにおいて、453ナノメートルにおける主波長において、少なくとも57パーセントの外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 11】

請求項1又は8記載の発光ダイオードにおいて、III族窒化物材料系で形成した発光構造を備えていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 12】

請求項11記載の発光ダイオードにおいて、炭化珪素単結晶基板を備えていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 13】

請求項8記載の発光ダイオードにおいて、440及び470ナノメートルの間に主波長を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 14】

請求項8記載の発光ダイオードにおいて、約520及び540ナノメートルの間にある主

10

20

30

40

50

波長において、30パーセントよりも高い外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項15】

請求項8記載の発光ダイオードにおいて、約520及び530ナノメートルの間にある主波長において、30パーセントよりも高い外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項16】

請求項8記載の発光ダイオードにおいて、約524及び535ナノメートルの間にある主波長において、32パーセントよりも高い外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

10

【請求項17】

請求項8記載の発光ダイオードにおいて、約524及び527ナノメートルの間にある主波長において、33パーセントよりも高い外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項18】

少なくとも100,000平方ミクロンの面積と、約450及び460ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも50パーセントの外部量子化効率とを有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項19】

請求項18記載の発光ダイオードにおいて、III族窒化物材料系で形成した発光構造を備えていることを特徴とする発光ダイオード。

20

【請求項20】

請求項19記載の発光ダイオードにおいて、炭化珪素単結晶基板を備えていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項21】

請求項1、8、又は18記載の発光ダイオードにおいて、長さが少なくとも400ミクロンである少なくとも1つの辺を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項22】

請求項18記載の発光ダイオードにおいて、520及び540ナノメートルの間にある主波長において、20パーセントよりも高い光パワー効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

30

【請求項23】

請求項18記載の発光ダイオードにおいて、524及び535ナノメートルの間にある主波長において、21パーセントよりも高い光パワー効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項24】

請求項18記載の発光ダイオードにおいて、524及び527ナノメートルの間にある主波長において、23パーセントよりも高い光パワー効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項25】

請求項12又は20記載の発光ダイオードにおいて、前記炭化珪素基板上に少なくとも1つのパuffa層を含み、該パuffa層がIII族窒化物材料系で形成されていることを特徴とする発光ダイオード。

40

【請求項26】

請求項12又は25記載の発光ダイオードにおいて、供給される電流の下における再結合及び発光のためのキャリアを供給するために、III族窒化物材料系で形成された逆導電型の少なくとも2つの層を含むことを特徴とする発光ダイオード。

【請求項27】

請求項26記載の発光ダイオードにおいて、前記発光構造は、少なくとも1つの窒化インジウム・ガリウムの層を含むことを特徴とする発光ダイオード。

50

【請求項 28】

請求項 12 又は 20 記載の発光ダイオードにおいて、前記炭化珪素基板及び前記 III 族発光構造に対してそれぞれオーミック・コンタクトを備えていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 29】

請求項 12 又は 20 記載の発光ダイオードにおいて、前記炭化珪素基板は n 型であり、炭化珪素の 3C、4H、6H、及び 15R プロトタイプから選択したプロトタイプを有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 30】

請求項 1 又は 8 又は 18 記載の発光ダイオードにおいて、150,000 平方ミクロンよりも大きな面積を有することを特徴とする発光ダイオード。

10

【請求項 31】

請求項 1、8、又は 18 記載の発光ダイオードにおいて、175,000 平方ミクロンよりも大きな面積を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 32】

請求項 1、8、又は 18 記載の発光ダイオードにおいて、約 100,000 及び約 200,000 平方ミクロンの間の面積を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 33】

請求項 1、8、又は 18 記載の発光ダイオードにおいて、3.1 ボルト未満の順方向電圧を有することを特徴とする発光ダイオード。

20

【請求項 34】

請求項 1 又は 8 又は 18 記載の発光ダイオードにおいて、3.0 ボルトの順方向電圧を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 35】

100,000 平方ミクロンの面積と、100 ルーメン/ワットよりも高い発光効率とを有することを特徴とする緑色発光ダイオード。

【請求項 36】

請求項 35 記載の緑色発光ダイオードにおいて、III 族窒化物材料系で形成した発光構造を備えていることを特徴とする緑色発光ダイオード。

【請求項 37】

請求項 36 記載の緑色発光ダイオードにおいて、導電性炭化珪素基板を備えていることを特徴とする緑色発光ダイオード。

30

【請求項 38】

請求項 35 記載の緑色発光ダイオードにおいて、約 520 及び 540 ナノメートルの間に主波長を有することを特徴とする緑色発光ダイオード。

【請求項 39】

少なくとも 100,000 平方ミクロンの面積と、15 ルーメン/ワットよりも高い発光効率とを有することを特徴とする青色発光ダイオード。

【請求項 40】

請求項 39 記載の青色発光ダイオードにおいて、約 450 及び 460 ナノメートルの間に主波長を有することを特徴とする青色発光ダイオード。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、発光ダイオード（「LED」）に関し、特に、炭化珪素基板上において III 族窒化物アクティブ構造で形成された発光ダイオードに関する。

【背景技術】

【0002】

導電性炭化珪素基板を用い、III 族窒化物材料系を基本とした発光ダイオードの出力が、近年著しい向上を示している。これらには、単位面積当たりの明度が高い発光ダイオー

50

ドが含まれる。

発光ダイオード（LED）は、順方向にバイアスすると光子を放出するpn接合部間半導体ダイオードである。つまり、発光ダイオードは、半導体材料における電子の移動に基づいて光を生成する。したがって、LEDは蒸気も燐光体も不要である（しかし、これらと共に用いることはできる）。これらは、殆どの半導体系デバイスの望ましい特性を共有しており、その中には、高効率（その発光は殆ど又は全く熱を含まない）、高信頼性、及び超寿命が含まれる。例えば、典型的なLEDの平均稼働時間は、約100,000及び1,000,000時間の間であり、これは、LEDの半減期は控えめでも50,000時間程度であることを意味する。

【0003】

10

具体的には、LEDが放出する光の周波数は、材料における許容エネルギー・レベル間のエネルギー差、即ち、バンドギャップと呼ばれている特性に基づく（一方、周波数は、周知の物理法則にしたがって波長及び色に直接関係する）。バンドギャップは、半導体材料及びそのドーピングの基礎的な固有性(property)である。このため、シリコン（Si、バンドギャップは1.12電子ボルト（eV））は、スペクトルの赤外線部分（しかし、可視ではない）にエネルギー遷移を有する。シリコン系ダイオードは、したがって、人の目に対する可視性が重要でないか、又は特別に望まれない低コスト・センサのような品目に用いられる。ガリウム砒素（バンドギャップは1.42 eV）に形成されたLED、又は最も広く用いられているシリコン系砒化アルミニウム・ガリウム（AlGaAs）に形成されたLEDは、スペクトルの可視部分で発光するが、赤外線や赤色及び黄色光を生成するような低い周波数帯である。

20

【0004】

一方、緑、青、及び紫外線（UV）の光子は、可視スペクトル以内（及びこれを超える）高い周波数の色（ $E = h\nu$ ）を表すので、これらは、バンドギャップが少なくとも約2.2 eVのLEDでなければ生成できない。このような材料は、ダイヤモンド（5.47 eV）、炭化珪素（2.99 eV）、及びGaN（3.4 eV）のようなIII族窒化物を含む。緑、青、又は紫外線光自体を生成することに加えて、バンドギャップが広いLEDを赤色LED及び緑色LEDと組み合わせ、白色を生成することができ、燐光体と組み合わせ、青色光又はUV光あるいは双方によって励起させると白色光を生成することができる。

30

【0005】

様々な理由のために、III族窒化物化合物（即ち、周期表のIII族）、特に、GaN、AlGaN、InGaN、及びAlInGaNは、特に、スペクトルの紫外線（UV）から緑色部分までにおいて発光するLEDに有用である。1つの利点は、これらは「直接」バンドギャップ材料であることであり、これが意味するのは、電子遷移がバンドギャップを横切って発生すると、エネルギーの多くが光として放出されるということである。それに比べて、「間接」材料（炭化珪素のような）は、そのエネルギーを部分的に光（光子）として放出し、主に振動エネルギー（光子）として放出する。このように、III族窒化物は、間接遷移材料に対して効率上で有利である。III族窒化物のことを、ここではIII族窒化物材料系とも呼ぶことにする。

40

【0006】

別の利点として、三元及び四元III族材料（例えば、AlGaN、InGaN、AlInGaN）は、含まれるIII族元素の原子分率によって変化することをあげることができる。つまり、発光の波長（色）は、三元又は四元窒化物における各III族元素の原子分率を制御することにより、（制限範囲内で）自由に選ぶことができる。

【0007】

しかしながら、広バンドギャップ半導体は、以前から、ガリウム砒素又は燐化ガリウム（GaP）よりも、生産及び加工が困難であった。その結果、UV発光LEDは、GaP系LEDよりも市場への登場が遅れている。例えば、炭化珪素は、物理的に非常に硬質であり、溶解相がなく、エピタキシャル又は昇華成長のためには高温が必要となる（約15

50

00~2000 程度)。III族窒化物は、その融点において、比較的高い窒素蒸気圧を有し、このため溶融物から成長することが同様に困難又は不可能である。加えて、p型窒化ガリウム（及びその他のIII族窒化物）を得ることが困難であることが、長年にわたってダイオードの生産に対する障壁となっていた。このため、青色LED及び白色発光LEDが市販されるようになったのは、GaP系及びGaAs系LEDの対応する市販よりも最近のことである。

【0008】

比較及びその他の関連目的のために言及すれば、照明は通常その出力で定量化されている。典型的な測定単位は1つにルーメンがあり、1カンデラ(c d)強度の均一点光源によって単位立体角で放出された光に等しい光束の単位と定義されている。一方、カンデラは、国際単位系における光強度の基本単位であり、周波数 540×10^{12} の単色光線を放出する光源の所与の方向における光強度に等しく、その方向に単位立体角当たり $1/683$ の放射強度を有する。

10

【0009】

ルーメンを測定単位として用いると、1200~1800ルーメンの強度は、白熱電球に典型的であり、1000~6000ルーメン（状況によって異なる）は、自然の白昼光において典型的である。しかしながら、発光ダイオードは強度が遥かに小さく、例えば、約10~100ルーメン程度である。理由の1つに、そのサイズが小さいことがあげられる。このため、単一（又は小集団）のLEDに適した用途は、以前より、照明（読むためのランプ）ではなく、指示（例えば、ハンドヘルド計算機のレジスタ）に重点が置かれていた。青色LED及び対応する白色発光デバイスが利用可能となって、照明の目的のためのこのようなLEDの市場入手可能性が広がったが、所望の出力を得るためには、数個（又はそれ以上）のLEDを纏めているのが一般的である。

20

【0010】

LEDは、その典型的なサイズ及び構造のために、ルーメン以外の単位で出力を測定する場合が多い。加えて、LEDの出力は、供給される電流にも左右され、一方供給される電流はダイオード間に印加される電位差によって左右される。このため、LEDの出力は、その放射束(R_f)と呼ばれることが多く、標準的な20ミリアンペア(mA)の駆動電流におけるミリワット(mW)単位で表される。

【0011】

特に、青色LEDは、増々消費者用電子デバイス、特に小型ディスプレイに含まれる頻度が高くなってきている。広く普及している例には、コンピュータ画面、パーソナル・デジタル・アシスタント（「PDA」）、及びセルラ・フォンが含まれる。一方、これらの小型デバイスのために、サイズ（「フットプリント」）を縮小したLEDが求められている。しかしながら、このようなLEDであっても、低順方向電圧(V_f)及び高光出力で動作しなければならないことに変わりはない。あいにく今日まで、III族窒化物デバイスのサイズを縮小すると、その順方向電圧が増大し、その放射束が減少する傾向があった。

30

【0012】

先に注記したように、'965出願に開示したLEDは、小さいサイズでありながら、明度向上（先に記した標準的なパラメータを用いる）及び順方向電圧低下において、著しい改善が見られる。

40

【0013】

小型で比較的薄いLEDは、（セルラ・フォンのディスプレイのような）小型デバイスには有利であるが、LEDをそれらよりも大きなデバイスに組み込むには、別の課題がある。例えば、デバイスが大きい程、用いる小型ダイオードの数が増えるためにエネルギー変換が低下し、電力消費が増大する。これにより、製造業者が購入し、組み立て、維持する構成部品の数も増える可能性がある。構成部品が小さくその数が増える程、重量、サイズ、及び必要な電気接続の数も増える可能性がある。統計的に、構成部品が小さくその数が増える程、それらに含まれる欠陥の絶対数も多くなり、製造業者は、所与の信頼性を維持

50

する又は高めるために、在庫量を増やして維持しなければならない場合もある。

【 0 0 1 4 】

一例として、オシロスコープ、テレビジョン、及びコンピュータ・モニタのような電子視覚ディスプレイは、過去においては陰極線管（「C R T」）が基本であった。しかしながら、近年、「フラット・パネル」ディスプレイとして分類される種々の技術における進歩によって、多くの目的のための陰極線管、特にテレビジョンやパーソナル・コンピュータ用モニタのような民生用の陰極線管が急速に姿を消している。

加えて、これら及び他の技術が、消費者又はその他の個人的使用のためのディスプレイの一層の大型化に拍車をかけている。その例には、プラズマ系及び液晶（「L C D」）テレビジョン画面が含まれ、従来の技術と比較すると、画面が非常に大きくなっている。即ち、46インチのフラット・パネル・テレビジョンが21インチのC R T系テレビジョンに取って代わっている。

【 0 0 1 5 】

即ち、液晶ディスプレイは、液晶の配向を変化させる、したがって、しかるべき電氣的制御を用いて、その外観を変化させることによって動作する。しかしながら、液晶は光を放出しないので、テレビジョンのようなL C Dディスプレイには、何らかの追加光源によって、バック・ライトを当てなければならない。競争力のある価格で大量の「R G B」（赤、緑、及び青）又は白色発光ダイオードが入手可能になったことにより、このような適したバック・ライト光源が提供されるようになった。

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 6 】

しかしながら、大型ディスプレイは、大量の発光ダイオードを必要とする。一方、個々のダイオードは、物理的に支持され、機能的に電子回路に組み込まなければならない。更に、発光ダイオードは、白熱照明と比較すれば高効率であるが、それでもなお有限量のエネルギーを熱として発生する。このため、数百又は数千個の発光ダイオードを大きな製品に組み込むと、これに対応して、特に室内で使用する場合、かなりの量又は危険な量の熱さえも発生し、別の技術的課題が生ずる。

【 0 0 1 7 】

複雑性及び熱の双方が典型的な問題であり、L E Dを組み込む電子機器（大型フラット・パネル・ディスプレイを含む）を設計し使用する際には、これらの問題に取り組まなければならないので、発光ダイオードの効率を向上させて出力を増大させる必要性が増々高まり、それに対応する便益が望まれている。この要望には、燐光体を組み込むことにより、又は青色発光ダイオードを赤色及び緑色L E Dと組み合わせることにより、白色光を青色発光ダイオードから生成する発光ダイオードに対する要求も含まれる。

したがって、III族窒化物炭化珪素材料系において形成される小型L E Dの出力を連続的に高めることが求められている。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 8 】

一態様において、本発明は、炭化珪素単結晶基板と、単結晶基板上にIII族窒化物材料系で形成された発光構造とを備えた発光ダイオードであり、このダイオードは100,000平方ミクロンよりも広い面積を有し、多くの例では、少なくとも1辺の長さが400ミクロンである。このダイオードは、390及び540ナノメートルの間にあるその主波長において、20アンペアの電流で少なくとも29ミリワットの放射束を有する。

【 0 0 1 9 】

別の態様では、本発明は、量子化効率と、炭化珪素単結晶基板と、単結晶基板上にIII族窒化物材料系で形成された発光構造とを備えた発光ダイオードであり、この発光ダイオードは少なくとも100,000平方ミクロンの面積を有し、多くの例では、少なくとも1辺の長さが400ミクロンである。このダイオードは、390及び540ナノメートルの間にあるその主波長において、20アンペアの電流で50パーセントよりも高い外部量

10

20

30

40

50

子化効率を有する。

【 0 0 2 0 】

更に別の態様では、本発明は、炭化珪素単結晶基板と、単結晶基板上にIII族窒化物材料系で形成された発光構造とを備えた発光ダイオードであり、この発光ダイオードは少なくとも100,000平方ミクロンの面積を有し、多くの例では、少なくとも1辺の長さが400ミクロンである。このダイオードは、450及び460ナノメートルの間のその主波長において、少なくとも50パーセントの光パワー効率を有する。

本発明の前述のならびにその他の目的及び利点、更にこれらを遂行する方法は、添付図面と関連付けた以下の詳細な説明を根拠として、一層明確となろう。

【 発明を実施するための最良の形態 】

10

【 0 0 2 1 】

本発明は、III族窒化物材料系、多くの場合炭化珪素(SiC)基板上に形成される発光ダイオードである。具体的には、そして最新世代の発光ダイオードと比較して、本発明によるダイオードは、以下の論述及び図面から明らかなように、面積が100,000平方ミクロンよりも大きく、発光ダイオードの主波長が390及び540ナノメートルの間にある場合に、20ミリアンペア電流で少なくとも29ミリワットの放射束というような固有性を有する。

即ち、このサイズのダイオードは、通常、少なくとも一辺の長さが少なくとも400ミクロンであり、一例のダイオードは、各辺が420ミクロンの正方形を形成する。

【 0 0 2 2 】

20

青色周波数では、ダイオードは、450及び460ナノメートルの間にある主波長において、20ミリアンペアの電流で少なくとも29ミリワットの放射束を有する。

緑色周波数では、ダイオードは、530及び540ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも12ミリワットの放射束を有する。

本発明の発光ダイオードの性能を添付図面に示す。これらの図面は、この詳細な説明と合わせて、発光ダイオードについて最大限明確、端的、かつ正確な説明を当業者に提示する。

【 0 0 2 3 】

図1は、本発明の性能特性を有し、全体的に20で示す発光ダイオードの断面図である。ダイオード20は、透明炭化珪素基板21を含み、好ましくは、単結晶であり、3C、4H、6H、及び15Rプロトタイプの炭化珪素から選択されたプロトタイプを有している。本発明に関しては、4Hが好ましいことが多い。図1は、ダイオード20を「フリップ・チップ」配向(即ち、アクティブ層を基板の下側にして用いるように実装されている)で示しているので、基板21が、ダイオード20の底部ではなく最上部にある。この配向では、SiC基板はLEDの主要放出面となる。勿論、発光ダイオードは、最終使用において、多数の異なる位置及び配向で配置できることは言うまでもない。したがって、ダイオード20の要素に関して、「最上部」及び「底部」という用語は相対的であり、構造的な意味で全体的にデバイスの配向を示すものとする。加えて、他の「上に」ある層について言及する場合、直接その層に接触しておらずその上方にある層も含むことができる。この意味は、文脈からも明白であろう。

30

40

【 0 0 2 4 】

ダイオードは、少なくとも1つ、そして好ましくは数層の、発光(「アクティブ」)部を形成する層を含む。これらの層は、III族窒化物材料系から選択される。図1には、n型層21及びp型層22の2つの層が示されている。これら導電型が相補的な層は、電流がダイオードを通過する機会を与え、その結果得られる電子及び正孔の結合により、放出光子が発生する。図1には2つのIII族窒化物層のみを示すが、他の文脈では、超格子構造や多重量子ウェルを含む追加の層を用いることができることは言うまでもない。具体的には、SiC基板からIII族発光層への結晶及び電子の遷移を行わせるために、バッファ層が含まれることが多い。

このような構造は当技術分野では周知であり、必要以上の実験を行わなくても、本発明

50

の文脈において実用可能である。

【0025】

また、図1に示す実施形態は、ミラー層24も含み、これは通常、銀(Ag)又は銀/プラチナ(Ag/Pt)合金で形成されている。銀系の層は、アクティブ層22、23に電気コンタクトも設ける。バリア層25は、通常、チタン・タングステン(TiW)合金、又はプラチナ、又は双方、又は窒化チタン・タングステン(TiWN)で形成され、望ましくない銀のマイグレーションや、デバイスの他の部分との反応を防止するために、銀系層24を包囲する。

【0026】

通常、はんだ層26がバリア層25に接着しているが、ダイオードの製造方法によっては、それだけに限られるのではない。これら及び他の構造的な特徴が、先に本願にも含まれるとした'042及び'965特許出願に明記されている。金属又は導電性半導体層27が物理的支持を形成し、背面オーミック・コンタクト30によって構造が完成する。そして、上面オーミック・コンタクト28と共に、ダイオード20を通過する電流を注入するための最大電流経路(full current path)を設ける。

【0027】

代替実施形態では、金属又は半導体支持層27を、はんだ層26と共に、又ははんだ層26を残して、取り除くことができる。このような実施形態では、背面コンタクト30をミラー層24及びバリア層25に寄せて配置することになる。

【0028】

図1に示すように、アクティブ層は、通常、III族窒化物であり、窒化ガリウム(GaN)、窒化インジウム・ガリウム(InGaN)、窒化アルミニウム・ガリウム(AlGaN)、及び窒化アルミニウム・インジウム・ガリウム(AlInGaN)が適している。当業者には分かるであろうが、III族窒化物は、三元及び四元結合におけるIII族元素の原子分率を変更することによって、主波長を変化させる機会を与える。当技術分野では周知であるが、これらの化学式は、更に正確には、 $Al_x In_y Ga_{1-x-y} N$ と表すことができ、ここでx及びyは0から1の間の値を取ることができ、0及び1のいずれも含み、 $x+y$ は常に1以下でなければならないという制約がある。

【0029】

本発明によるダイオードは、100,000平方ミクロンよりも広い面積を有する。その例には、限定ではなく、少なくとも1辺の長さが少なくとも400ミクロンであり、その幾何学的形状が正方形又は長方形のダイオードが含まれる。

また、本発明によるダイオードはレンズ状表面を組み込むこともできる。

【0030】

図2は、本発明によるダイオードについて、ミリワット(mW)単位の放射束をナノメートル(nm)単位の主周波数に対して比較するグラフである。他のダイオードに対するデータ点には、菱形を用いてプロットし(下側の曲線)、本発明による大きめのダイオードには、正方形を用いてプロットしている(上側の曲線)。

【0031】

図2～図6の全てにおいて、それぞれのダイオードを動作させ、20ミリアンペア(mA)電流で評価した。これに関して、ダイオードが大きい程、いずれの電流においても(20ミリアンペアの標準的仕様電流を含む)電流密度が低くなる。当業者には分かるであろうが、電流密度が低い程、発光層から生成される光出力は高くなるのが通常である。加えて、順方向電圧は、チップ面積が大きくなる程、いずれの電圧においても低下する。例えば、本発明によるダイオードが実証した順方向電圧は2.9ボルトという低さであり、一方'965出願によるダイオードでは3.1ボルトである。0.2Vの低下は小さいように感じられるかもしれないが、数百又は数千ものダイオードを、液晶ディスプレイ画面のような大きな製品に組み込む場合、壁内プラグ効率(wall plug efficiency)における累積利得が重要となる。このように、本発明によるダイオードは、現行のダイオードと同等の電力レベルを用いても、これらよりも高い表示明度性能を提供する。あるいは、現行の

10

20

30

40

50

ダイオードよりも少ない電力及び高い効率で、それと同等の輝度性能を提供し、これが望まれる又は必要とされる場合もある。

【 0 0 3 2 】

これに関して、図 2 は、本発明によるダイオードを 3 つ示しており、これらは約 4 5 0 ナノメートル（即ち、主周波数が 4 5 3 ~ 4 5 6 nm の青色）の波長で発光し、約 2 9 ~ 3 1 ミリワットの放射束を生成する。これは（垂直な点線）、いくらか小さなダイオード（「X T 3 0 0」、約 9 0 , 0 0 0 平方ミクロン）に対する約 2 5 ~ 2 6 ミリワットの出力に相当する。即ち、小型化したチップ・サイズにおいても、本発明は放射束で約 1 4 パーセントの増大を表している。

【 0 0 3 3 】

放射束（例えば、図 2）を測定するには、分光計に取り付けた積分球内に T 1 -3/4 型の封入ランプを配置する。可視光 L E D には、Labsphere Omni LTS 分光計が測定デバイスの一例である。放射束は電力（ワット）の単位で測定する。他の比較要因、例えば、外部量子化効率、電力効率、及び明度補強は、全てこれら放射束測定値を根拠にしている。

緑色波長（図 2 における 5 4 0 nm 付近）では、各データ点において約 2 ~ 3 ミリワットの改善があり、X T 3 0 0 ダイオードと比較して約 2 5 パーセントの増加を表す。図 2 に示すように、ダイオードの放射束は、主波長が 5 2 0 及び 5 4 0 nm の間では少なくとも 1 2 mW、5 2 4 及び 5 3 5 の nm の間では 1 3 mW、そして 5 2 4 及び 5 2 7 nm の間では 1 5 mW となる。

【 0 0 3 4 】

図 3 は、同様の比較データを外部量子化効率で表した場合を示す。図 3 は、X T 3 0 0 からのデータ点を菱形でプロットし、本発明にしたがって改良したダイオードのデータ点を正方形で示す。この場合も約 4 5 0 ナノメートル（青色）の波長において、外部量子化効率は、約 4 7 パーセントから少なくとも約 5 4 パーセントに増加する。比較増で表すと、これは、約 1 5 パーセントの間の増加を表し、図 2 に示す放射束の増加と一致する。

更に、図 3 は、緑色波長（5 4 0 nm 付近）では、絶対的な増加が約 5 又は 6 パーセントであることを示し、これは、X T 3 0 0 ダイオードを根拠にして論ずると、約 2 5 パーセントの比較増を表す。

【 0 0 3 5 】

背景及び図 3 に関する更なる説明として、緑色 L E D は青色 L E D よりも速く飽和する。ここでは「飽和」とは、電流が増加しても、もはや L E D の出力が（外部量子化効率又は放射束のいずれで表現しても）増加しない観察点を言う。この結果、電流密度が低い程、緑色 L E D では大きな肯定的な効果が得られる。具体的には、任意の電流においても（例えば、L E D を指定するために用いられる通常の 2 0 ミリアンペア）、電流密度はチップ・サイズの関数となる。つまり、面積が広い L E D ほど、2 0 ミリアンペア（又はその他のいずれかの所与の電流）における電流密度は比例して低下する。これが意味するのは、本発明による緑色 L E D は、サイズが大きい場合の飽和点が、面積が小さい緑色 L E D と比較して、高くなるということである。これを図 5 に示す。

【 0 0 3 6 】

図 4 は、面積が小さいダイオード（正方形で示す）及び本発明によるダイオード（菱形で示す）について、光パワー効率（ここで用いる場合、印加されるミリワット単位の電力毎の、ミリワットの光出力）をグラフにして示す。これらも、ナノメートルを単位とした主波長に対してプロットしている。図 4 に示すように、光パワー効率の絶対増加は、比較用ダイオードに対する 4 0 パーセントから、本発明によるダイオードに対する 5 0 ~ 5 4 パーセントとなっている。この 1 0 パーセントの絶対的増加は、2 つのダイオード間における 2 0 パーセントの相対的増加を表す。

【 0 0 3 7 】

緑色波長に対する効率は、なお一層際立っている。図 4 に示すように、効率の絶対的増加も同様に約 1 0 パーセントであるが、緑色波長において光パワー効率が低いこと（2 0 パーセント未満）を考えると、この 1 0 パーセントの絶対的増加は、本発明によるダイオ

10

20

30

40

50

ードと面積が小さいダイオードとの間では、55パーセントの相対的増加を表す。

【0038】

図5は、本発明によるダイオードを含む、ダイオードのチップ・サイズに対する明度向上（任意単位）を比較するためのグラフである。比較するダイオードのチップ・サイズは1辺300ミクロンに限定される訳ではないが、1辺300ミクロンのサイズは、特に本発明によるダイオードに関しては、比較の目的に適している。チップ・サイズを根拠とした向上を示すことに加えて、青色周波数（約460ナノメートル）で発光するダイオードを、菱形及び下側の線を用いてプロットし、緑色周波数（約530ナノメートル）において発光するダイオードを、白い正方形及び上側の線を用いてプロットしている。

【0039】

10

また、図5は、300×300ナノメートル・チップの出力を用いて正規化されている。これにより、図5は、本発明による青色及び緑色発光LED双方が、著しく向上した比較出力を提供することを、明白に実証している。緑色発光ダイオードに対する結果の方が線形性が高いのは、結晶における緑色の吸収度が低いこと、及び広い面積によって電流密度が低下することという利点を反映している。これと比較して、青色LEDの性能は、電流密度が低いことを根拠とする高い吸収性及び少ない利点のために、上げ止まり消失する傾向がある。

また、図5は、本発明によるダイオードは、約100,000及び200,000平方ミクロンの間の面積において、その明度向上が最大の増加を呈することも示す。

【0040】

20

図6は、本発明によるダイオードの発光効率（ワット当たりのルーメン）を、他のダイオード及びそれらの理論的最大値と比較して示すグラフである。

この明細書において他の箇所で注記したように、発光ダイオードの出力及び性能は、数個の関連するが同一ではないパラメータを用いることによって特徴付けることができる。図6にグラフで示す発光効率は、電気エネルギーを光束に変換する際の発光ダイオードのエネルギー変換効率に等しい。LEDでは、電力（ワット単位）は、順方向電流及び順方向電圧の積である。発光効率は、したがって、ワット当たりのルーメンで表される。

【0041】

人の目は、約410～720nmの波長を有する光（「可視」スペクトル）に感応する。更に、可視スペクトル内において、目は異なる波長に応答するのが難しい。その結果、光束は、人の目の感度と等価の係数と乗算した放射束と関連があり、したがって放射束と同一ではない。

30

つまり、図6における実線は、人の目によって観察可能な理論的最大発光効率を示す。いずれの所与の波長においても、理論的最大値は図6のプロット上における「最高」点である。

【0042】

比較の目的で、理論的最大値の半分と同等の発光効率を、一連の×から成るグラフで表す。これは、理論的最大値曲線よりも低い対応する曲線を形成する。

更に別の比較のために、図6は、燐化アルミニウム・インジウム・ガリウム（AlInGaP）発光ダイオードの発光効率曲線を、約570及び650nmの間の発光について一連の三角形でグラフに示す。

40

更にもう1つ別の比較のために、Osramからの（波長には関係ない効率に関する）「世界記録」の発光ダイオードを、約620nm、及び100ルーメン/ワットよりやや高いところに、円で示す。

【0043】

本発明によるダイオードは、図6では菱形の点で示されている。これらは、450～460nmの間の主波長において、15及び20ルーメン/ワットの発光効率を実証し、更に一層印象的なことに、520～540ナノメートルの間の波長において100ルーメン/ワットよりも高い発光効率を実証している。

したがって、別の態様では、本発明は、450～460nm間の主波長において、発光

50

効率が約 15 ルーメン / ワットである、青色発光ダイオードである。

同様の態様では、本発明は、520 ~ 540 ナノメートルの主波長において、発光効率が 100 ルーメン / ワットよりも高い緑色発光ダイオードである。

【0044】

当技術分野（そして本明細書）で用いる場合、「主波長」という用語は、発光ダイオードによって人間の目において生ずる色相の飽和の尺度を記述する。主波長を判定するには、基準光源の色座標、及び国際照明委員会（CIE）1931色度図におけるLEDの測定色度座標上で直線を引く。色度図の境界上における直線の交点が、主波長を示す。

ピーク波長は、最大スペクトル・パワーにおける波長である。ピーク波長は、実用的な目的では、重要性が低い場合がある。何故なら、2つの異なる発光ダイオードが同じピーク座標を有していても、色の認知度が異なる場合があるからである。

放射束は、放射パワーとも呼ばれ、放射場(radiation field)が放射エネルギーを1つの領域から他の領域に伝達する速度($d\theta / dt$)である。先に注記したように、シータ(θ)を放射エネルギーとすると、放射パワーの単位はワットである。

【0045】

発光ダイオードのこれら及びその他の光学特性に関する適当な論述が、ニュー・ハンプシャー州North SuttonのLabsphere Inc.からのLabsphere Technical Guide, "The Radiometry of Light Emitting Diodes"に明記されている。

【0046】

発光ダイオード及びそのパッケージに精通する者には分かるように、ダイオードを通過する注入電流によって発生する光子は、100%がダイオードの外部に漏出する。したがって、この技術分野では、「外部量子化効率」(external quantum efficiency)という用語を用いて、放出光強度の電流に対する比率（例えば、出射する光子 / 入射する電子）。光子は、半導体材料自体の内部における吸収、光が半導体から空中に通過するときの屈折率の差による反射損失、そしてSnellの法則によって規定される臨界角(critical angle)よりも大きな角度における光の全内反射によって失われる可能性がある。したがって、パーセントで示す外部量子化効率(EQE)は、放射束(ワット)、波長(ナノメートル)、駆動電流(アンペア)、そして以下の式による波長とエネルギー($\lambda = 1.24 / eV$)間の変換係数から計算することができる。

$$EQE(\%) = (\text{放射束}) \times (\text{波長}) \times 100 / \{ (1240) \times (\text{駆動電流}) \}$$

【0047】

ここで用いる場合、そして発光出力を記述し定義する目的上、発光面積又は表面をデバイスの「フットプリント」と定義する。異なる寸法を有する異なる部分を含むチップ又はダイについては、「面積」という用語は、ダイ又はチップ内における半導体基板材料の最大面積を意味する。何故なら、この最大寸法は、回路又はデバイスの設計者が個々の発光ダイオードを用いる際に扱わなければならないからである。

意味は同一でも別の言い方で表現すると、この面積は、(i)ダイオードの最大半導体面積、又は(ii)封入されなければならない又はされることになるダイオードの基板面積のいずれよりも大きい。殆ど全ての状況において、面積(ii)は面積(i)以上となる。

【0048】

図面及び明細書において、本発明の好適な実施形態を明記し、特定の用語を用いたが、これらは包括的及び記述的な意味で用いたに過ぎず、限定を主旨とするのではない。発明の範囲は、特許請求の範囲に規定するものとする。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】本発明によるダイオードの一実施形態の断面模式図である。

【図2】本発明によるLEDを含む、ナノメートル単位の主波長に対する放射束のグラフである。

10

20

30

40

50

【図 3】本発明による L E D を含む主波長に対する外部量子化効率のグラフである。

【図 4】本発明による L E D についての光パワー効率対主波長のグラフである。

【図 5】本発明によるダイオードについての、チップ・サイズに対する光増大のグラフである。

【図 6】本発明によるダイオードを含む種々のダイオードについて、波長対発光効率を、理論的最大値と比較して示すグラフである。

【図 1】

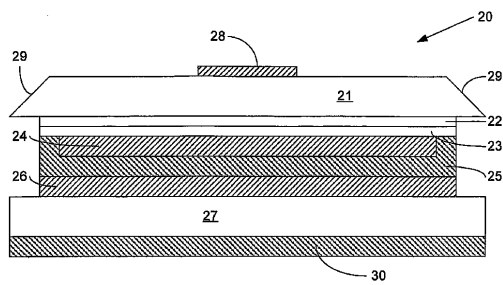
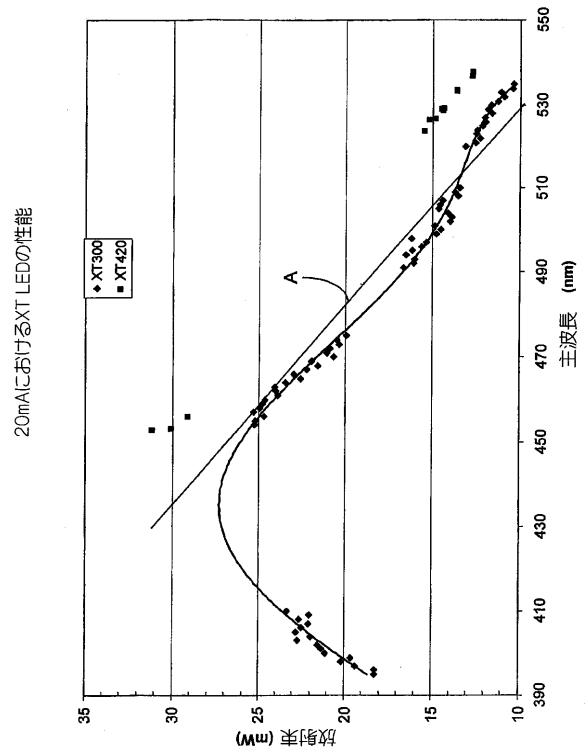
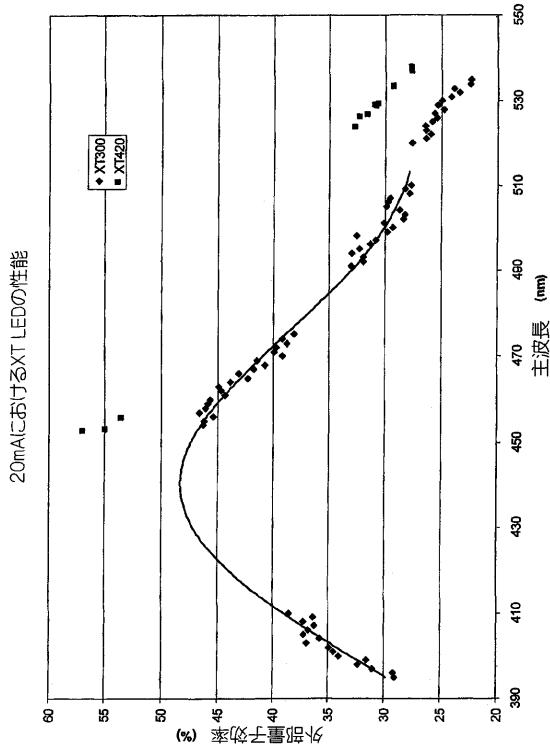


Fig. 1

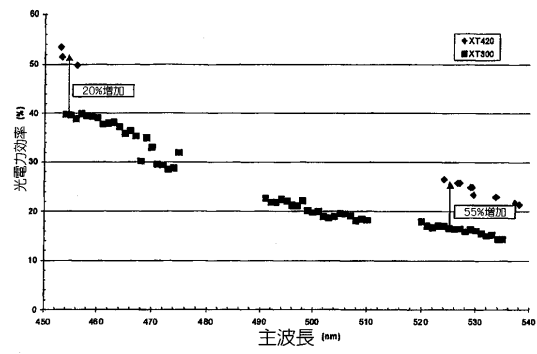
【図 2】



【図 3】

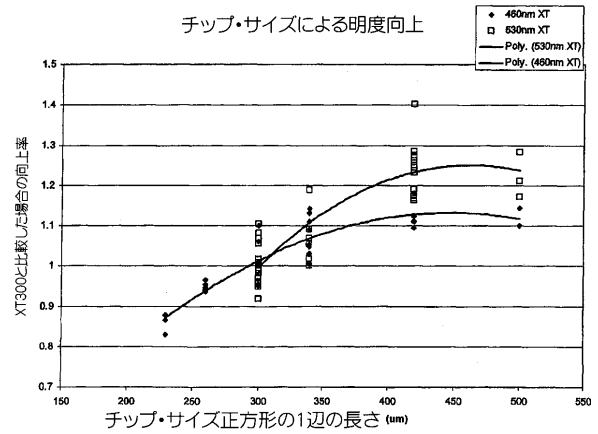


【図 4】

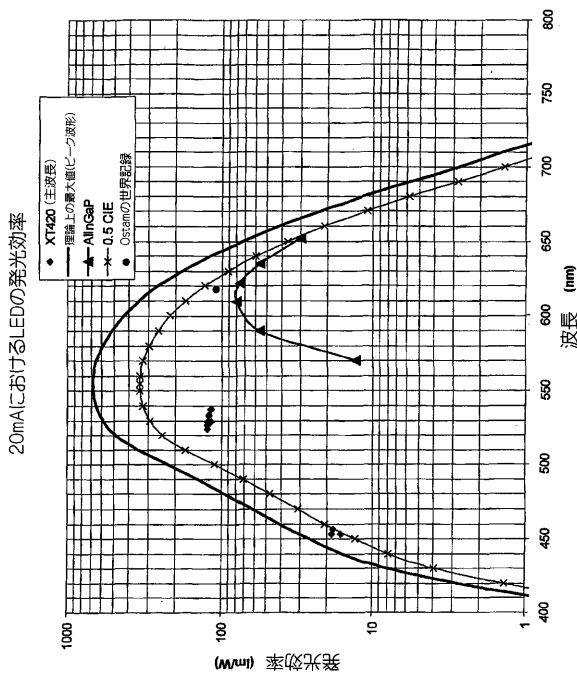
300および420 μm XTに対する電力効率

【図 5】

チップ・サイズによる明度向上



【図 6】



【手続補正書】

【提出日】平成18年6月24日(2006.6.24)

【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】

同様な条件下で他の同様な発光ダイオードよりも、放射束、外部量子化効率、及び光パワー効率を向上させた発光ダイオードであって、

少なくとも1つの発光アクティブ層を備え、

該発光ダイオードは、100,000平方マイクロンよりも広い面積と、約390及び540ナノメートルの間にある主波長において、20ミリアンペアの電流で少なくとも29ミリワットの放射束とを有する

ことを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 2】

請求項1記載の発光ダイオードにおいて、約450及び460ナノメートルの間にある主波長において、20ミリアンペアの電流で少なくとも29ミリワットの放射束を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 3】

請求項1記載の発光ダイオードにおいて、約453ナノメートルにおける主波長において、20ミリアンペアの電流で少なくとも30ミリワットの放射束を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 4】

請求項2記載の発光ダイオードにおいて、約200,000平方マイクロンの面積を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 5】

請求項1記載の発光ダイオードにおいて、約520及び540ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも12ミリワットの放射束を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 6】

請求項1記載の発光ダイオードにおいて、約524及び535ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも13ミリワットの放射束を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 7】

請求項1記載の発光ダイオードにおいて、約524及び527ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも15ミリワットの放射束を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 8】

同様な条件下で他の同様な発光ダイオードよりも、放射束、外部量子化効率、及び光パワー効率を向上させた発光ダイオードであって、

少なくとも1つの発光アクティブ層を備え、

該発光ダイオードは、少なくとも100,000平方マイクロンの面積と、約390及び540ナノメートルの間にある主波長において、20ミリアンペアの電流で50パーセントよりも高い外部量子化効率とを有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 9】

請求項8記載の発光ダイオードにおいて、約450及び460ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも53パーセントの外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 10】

請求項 8 記載の発光ダイオードにおいて、453 ナノメートルにおける主波長において、少なくとも 57 パーセントの外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 11】

請求項 1 又は 8 記載の発光ダイオードにおいて、III 族窒化物材料系で形成した発光構造を備えていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 12】

請求項 11 記載の発光ダイオードにおいて、炭化珪素単結晶基板を備えていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 13】

請求項 8 記載の発光ダイオードにおいて、440 及び 470 ナノメートルの間に主波長を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 14】

請求項 8 記載の発光ダイオードにおいて、約 520 及び 540 ナノメートルの間にある主波長において、30 パーセントよりも高い外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 15】

請求項 8 記載の発光ダイオードにおいて、約 520 及び 530 ナノメートルの間にある主波長において、30 パーセントよりも高い外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 16】

請求項 8 記載の発光ダイオードにおいて、約 524 及び 535 ナノメートルの間にある主波長において、32 パーセントよりも高い外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 17】

請求項 8 記載の発光ダイオードにおいて、約 524 及び 527 ナノメートルの間にある主波長において、33 パーセントよりも高い外部量子化効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 18】

同様な条件下での他の同様な発光ダイオードよりも、放射束、外部量子化効率、及び光パワー効率を向上させた発光ダイオードであって、

少なくとも 1 つの発光アクティブ層を備え、

該発光ダイオードは、少なくとも 100,000 平方ミクロンの面積と、約 450 及び 460 ナノメートルの間にある主波長において、少なくとも 50 パーセントの外部量子化効率とを有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 19】

請求項 18 記載の発光ダイオードにおいて、III 族窒化物材料系で形成した発光構造を備えていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 20】

請求項 19 記載の発光ダイオードにおいて、炭化珪素単結晶基板を備えていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 21】

請求項 1、8、又は 18 記載の発光ダイオードにおいて、長さが少なくとも 400 ミクロンである少なくとも 1 つの辺を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 22】

請求項 18 記載の発光ダイオードにおいて、520 及び 540 ナノメートルの間にある主波長において、20 パーセントよりも高い光パワー効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項 23】

請求項 18 記載の発光ダイオードにおいて、524 及び 535 ナノメートルの間にある主

波長において、２１パーセントよりも高い光パワー効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項２４】

請求項１８記載の発光ダイオードにおいて、５２４及び５２７ナノメートルの間にある主波長において、２３パーセントよりも高い光パワー効率を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項２５】

請求項１２又は２０記載の発光ダイオードにおいて、前記炭化珪素基板上に少なくとも１つのパフ層を含み、該パフ層がⅢ族窒化物材料系で形成されていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項２６】

請求項１２又は２５記載の発光ダイオードにおいて、供給される電流の下における再結合及び発光のためのキャリアを供給するために、Ⅲ族窒化物材料系で形成された逆導電型の少なくとも２つの層を含むことを特徴とする発光ダイオード。

【請求項２７】

請求項２６記載の発光ダイオードにおいて、前記発光構造は、少なくとも１つの窒化インジウム・ガリウムの層を含むことを特徴とする発光ダイオード。

【請求項２８】

請求項１２又は２０記載の発光ダイオードにおいて、前記炭化珪素基板及び前記Ⅲ族発光構造に対してそれぞれオーミック・コンタクトを備えていることを特徴とする発光ダイオード。

【請求項２９】

請求項１２又は２０記載の発光ダイオードにおいて、前記炭化珪素基板はｎ型であり、炭化珪素の３Ｃ、４Ｈ、６Ｈ、及び１５Ｒプロトタイプから選択したプロトタイプを有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項３０】

請求項１又は８又は１８記載の発光ダイオードにおいて、１５０，０００平方ミクロンよりも大きな面積を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項３１】

請求項１、８、又は１８記載の発光ダイオードにおいて、１７５，０００平方ミクロンよりも大きな面積を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項３２】

請求項１、８、又は１８記載の発光ダイオードにおいて、約１００，０００及び約２００，０００平方ミクロンの間の面積を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項３３】

請求項１、８、又は１８記載の発光ダイオードにおいて、３．１ボルト未満の順方向電圧を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項３４】

請求項１又は８又は１８記載の発光ダイオードにおいて、３．０ボルトの順方向電圧を有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項３５】

同様な条件下で他の同様な発光ダイオードよりも、放射束、外部量子化効率、及び光パワー効率を向上させた発光ダイオードであって、

可視スペクトルの緑色部分を発生する少なくとも１つの発光アクティブ層を備え、

該発光ダイオードは、１００，０００平方ミクロンの面積と、１００ルーメン/ワットよりも高い発光効率とを有することを特徴とする発光ダイオード。

【請求項３６】

請求項３５記載の緑色発光ダイオードにおいて、Ⅲ族窒化物材料系で形成した発光構造を備えていることを特徴とする緑色発光ダイオード。

【請求項３７】

請求項 36 記載の緑色発光ダイオードにおいて、導電性炭化珪素基板を備えていることを特徴とする緑色発光ダイオード。

【請求項 38】

請求項 35 記載の緑色発光ダイオードにおいて、約 520 及び 540 ナノメートルの間に主波長を有することを特徴とする緑色発光ダイオード。

【請求項 39】

少なくとも 100,000 平方ミクロンの面積と、15 ルーメン/ワットよりも高い発光効率とを有することを特徴とする青色発光ダイオード。

【請求項 40】

請求項 39 記載の青色発光ダイオードにおいて、約 450 及び 460 ナノメートルの間に主波長を有することを特徴とする発光ダイオード。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PC17US2005/033239

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L33/00		
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) H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	NAKAMURA S ET AL: "SUPERBRIGHT GREEN INGAN SINGLE-QUANTUM-WELL-STRUCTURE LIGHT-EMITTING DIODES" JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, JAPAN SOCIETY OF APPLIED PHYSICS, TOKYO, JP, vol. 34, no. 10B, PART 2, 15 October 1995 (1995-10-15), pages L1332-L1335, XP000702227 ISSN: 0021-4922 the whole document	1-40
X	US 6 610 551 B1 (DOVERSPIKE KATHLEEN MARIE ET AL) 26 August 2003 (2003-08-26) figure 5	1,8,11, 12,19, 20,36,37
-/-		
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ 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 *E* earlier document but published on or after the international filing date *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) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *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 *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 *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. *G* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 26 January 2006		Date of mailing of the international search report 06/02/2006
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Werner, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2005/033239

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 739 554 A (EDMOND ET AL) 14 April 1998 (1998-04-14) figure 5	1
A	US 2002/121642 A1 (DOVERSPIKE KATHLEEN MARIE ET AL) 5 September 2002 (2002-09-05) figure 3	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2005/033239

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6610551 B1	26-08-2003	AU 2342600 A	26-04-2000
		CA 2344391 A1	13-04-2000
		CN 1413362 A	23-04-2003
		EP 1116282 A2	18-07-2001
		JP 2002527890 T	27-08-2002
		TW 475275 B	01-02-2002
		WO 0021144 A2	13-04-2000
		US 2004232433 A1	25-11-2004
		US 2002121642 A1	05-09-2002
US 5739554 A	14-04-1998	AU 5545296 A	29-11-1996
		CA 2220031 A1	14-11-1996
		CN 1190491 A	12-08-1998
		EP 0826246 A1	04-03-1998
		HK 1015549 A1	08-04-2005
		JP 11504764 T	27-04-1999
		US 6120600 A	19-09-2000
		WO 9636080 A1	14-11-1996
US 2002121642 A1	05-09-2002	AU 2342600 A	26-04-2000
		CA 2344391 A1	13-04-2000
		CN 1413362 A	23-04-2003
		EP 1116282 A2	18-07-2001
		JP 2002527890 T	27-08-2002
		TW 475275 B	01-02-2002
		WO 0021144 A2	13-04-2000
		US 2004232433 A1	25-11-2004
		US 6610551 B1	26-08-2003

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 11/112,429

(32)優先日 平成17年4月22日(2005.4.22)

(33)優先権主張国 米国(US)

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, 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, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, 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, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100096068

弁理士 大塚 住江

(72)発明者 エドモンド, ジョン・アダム

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州 2 7 5 1 1, ケアリー, ウェスト・ジュールズ・ヴァーン・ウェイ 2 0 6

(72)発明者 バーグマン, マイケル・ジョン

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州 2 7 5 1 6, チャペル・ヒル, ハイダウェイ・ドライブ 5 7 0 0

(72)発明者 エマーソン, デーヴィッド・トッド

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州 2 7 5 1 6, チャペル・ヒル, ニュー・ライズ・コート 5 5 1 9

(72)発明者 ハーベラーン, ケヴィン・ワード

アメリカ合衆国ノース・カロライナ州 2 7 5 1 1, ケアリー, ロングブリッジ・ドライブ 1 0 5

Fターム(参考) 5F041 AA04 AA33 CA13 CA33 CA40 CB15 FF01