

(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2004-207742  
(P2004-207742A)

(43) 公開日 平成16年7月22日(2004.7.22)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup> H01L 33/00	F I H01L 33/00 H01L 33/00	C B	テーマコード (参考) 5FO41
--	---------------------------------	--------	----------------------

審査請求 未請求 請求項の数 27 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2003-425621 (P2003-425621)	(71) 出願人 500507009 ルミレッズ ライティング ユーエス リ ミテッドライアビリティ カンパニー アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 131 サン ホセ ウェスト トリンプ ル ロード 370
(22) 出願日 平成15年12月22日 (2003.12.22)	(74) 代理人 100082005 弁理士 熊倉 禎男
(31) 優先権主張番号 60/435838	(74) 代理人 100067013 弁理士 大塚 文昭
(32) 優先日 平成14年12月20日 (2002.12.20)	(74) 代理人 100074228 弁理士 今城 俊夫
(33) 優先権主張国 米国 (US)	(74) 代理人 100086771 弁理士 西島 孝喜
(31) 優先権主張番号 10/632720	
(32) 優先日 平成15年7月31日 (2003.7.31)	
(33) 優先権主張国 米国 (US)	

最終頁に続く

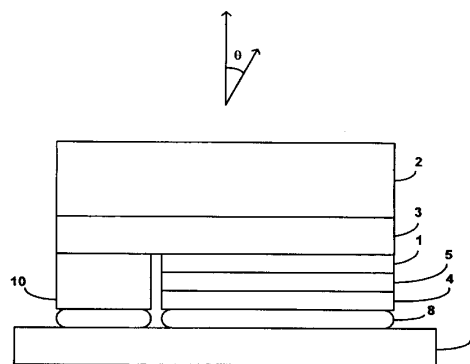
(54) 【発明の名称】 コンパクトな活性領域を有する発光装置

(57) 【要約】

【課題】 反射器を有する発光装置を提供する。

【解決手段】 第1の導電型の領域、第2の導電型の領域、活性領域、及び電極を含む発光装置。活性領域は、第1導電型の領域と第2導電型の領域の間に配置され、第2導電型の領域は、活性領域と電極の間に配置される。活性領域は、約 $0.25\lambda_n$ に等しいか又はそれ以下の全厚を有し、また、電極から約 $0.6\lambda_n$ と $0.75\lambda_n$ の間に位置する部分を有し、ここで、 $\lambda_n$ は、第2導電型の領域の活性領域により放射された光の波長である。いくつかの実施形態においては、活性領域は複数のクラスタを含み、第1クラスタの一部分は、電極から約 $0.6\lambda_n$ と $0.75\lambda_n$ の間に位置し、第2クラスタの一部分は、電極から約 $1.2\lambda_n$ と $1.35\lambda_n$ の間に位置する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 の導電型の領域と、  
 第 2 の導電型の領域と、  
 該第 1 導電型の領域と該第 2 導電型の領域との間に配置され、該第 2 導電型の領域における波長  $\lambda_n$  を有する光を放射することができる活性領域と、  
 該活性領域により放射された光を反射する表面と、  
 を含み、  
 前記第 1 導電型の領域と前記第 2 導電型の領域のうちの一方は、前記活性領域と前記反射表面との間に配置され、  
 前記活性領域は、約  $0.25 \lambda_n$  に等しいか又はそれ以下の全厚を有し、  
 前記活性領域の一部分は、前記反射表面から  $0.6 \lambda_n$  と  $0.75 \lambda_n$  の間に位置する、  
 ことを特徴とする発光装置。

10

## 【請求項 2】

前記活性領域は、障壁層により分離された 2 つの量子井戸層を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

## 【請求項 3】

前記量子井戸層の各々は、約  $10 \text{ \AA}$  と約  $60 \text{ \AA}$  オングストロームの間の範囲の厚みを有し、  
 前記障壁層は、約  $50 \text{ \AA}$  から約  $200 \text{ \AA}$  オングストロームの範囲の厚みを有する、  
 ことを特徴とする請求項 2 に記載の発光装置。

20

## 【請求項 4】

前記活性領域は、2 つの障壁層により分離された 3 つの量子井戸層を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

## 【請求項 5】

前記活性領域は、約  $0.15 \lambda_n$  に等しいか又はそれ以下の全厚を有することを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

## 【請求項 6】

前記活性領域の物理的中心は、抽出効率の極大値から  $0.05 \lambda_n$  以内に対応する電極の表面からの距離に位置することを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

## 【請求項 7】

前記活性領域の輝度の中心は、抽出効率の極大値から  $0.05 \lambda_n$  以内に対応する電極の表面からの距離に位置することを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

30

## 【請求項 8】

電極は、前記活性領域により放射された光に対して  $80\%$  よりも大きい反射率を有することを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

## 【請求項 9】

前記活性領域は、少なくとも 1 つの III 族窒化物層を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

## 【請求項 10】

前記活性領域は、少なくとも 1 つの III 族燐化物層を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

40

## 【請求項 11】

電極は、銀を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

## 【請求項 12】

電極は、金を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

## 【請求項 13】

電極は、アルミニウムを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

## 【請求項 14】

電極は、第 1 の電極であり、  
 該第 1 の電極は、前記第 2 導電型の領域に電氣的に結合され、

50

前記第 1 導電型の領域に電氣的に結合された第 2 の電極と、  
 該第 1 及び第 2 の電極に電氣的に結合されたサブマウントと、  
 を更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

【請求項 15】

前記サブマウントに電氣的に結合された複数のリード線と、  
 前記活性領域の上に重なるレンズと、  
 を更に含むことを特徴とする請求項 14 に記載の発光装置。

【請求項 16】

電極の表面から  $0.6 \mu\text{m}$  と  $0.75 \mu\text{m}$  の間に位置する前記活性領域の前記部分は、該  
 活性領域の第 1 の部分を含み、  
 該活性領域の第 2 の部分は、前記電極の表面から  $1.2 \mu\text{m}$  と  $1.35 \mu\text{m}$  の間に位置す  
 る、  
 ことを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

10

【請求項 17】

前記反射表面は、金属電極の表面であることを特徴とする請求項 1 に記載の発光装置。

【請求項 18】

前記反射表面は、分散型ブラッグ反射器の表面であることを特徴とする請求項 1 に記載  
 の発光装置。

【請求項 19】

第 1 の導電型の領域と、  
 第 2 の導電型の領域と、  
 該第 1 導電型の領域と該第 2 導電型の領域との間に配置され、該第 2 導電型の領域にお  
 ける波長  $\lambda$  を有する光を放射することができる活性領域と、  
 該活性領域により放射された光を反射する電極と、  
 を含み、  
 前記第 2 導電型の領域は、前記活性領域と前記電極との間に配置され、  
 該活性領域は、第 1 のクラスタ及び第 2 のクラスタを含み、  
 該第 1 のクラスタの一部分は、前記電極の表面から  $0.6 \mu\text{m}$  と  $0.75 \mu\text{m}$  の間に位置  
 し、  
 該第 2 のクラスタの一部分は、前記電極の表面から  $1.2 \mu\text{m}$  と  $1.35 \mu\text{m}$  の間に位置  
 する、  
 ことを特徴とする発光装置。

20

【請求項 20】

前記第 1 のクラスタ及び前記第 2 のクラスタの各々は、少なくとも 1 つの障壁層により  
 分離された複数の量子井戸を含むことを特徴とする請求項 19 に記載の発光装置。

【請求項 21】

前記第 1 のクラスタ及び前記第 2 のクラスタの各々の厚みは、約  $0.35 \mu\text{m}$  に等しい  
 か又はそれ以下であることを特徴とする請求項 20 に記載の発光装置。

【請求項 22】

前記第 1 のクラスタ及び前記第 2 のクラスタの各々の厚みは、約  $0.15 \mu\text{m}$  に等しい  
 か又はそれ以下であることを特徴とする請求項 20 に記載の発光装置。

40

【請求項 23】

前記第 1 のクラスタ及び前記第 2 のクラスタは、障壁層により分離されることを特徴と  
 する請求項 19 に記載の発光装置。

【請求項 24】

前記活性領域は、少なくとも 1 つの III 族窒化物層を含むことを特徴とする請求項 1  
 9 に記載の発光装置。

【請求項 25】

前記活性領域は、少なくとも 1 つの III 族燐化物層を含むことを特徴とする請求項 1  
 9 に記載の発光装置。

50

## 【請求項 26】

第1の導電型の領域と、  
 第2の導電型の領域と、  
 該第1導電型の領域と該第2導電型の領域との間に配置され、該第2導電型の領域における波長  $\lambda_n$  を有する光を放射することができる活性領域と、  
 該活性領域により放射された光を反射する電極と、  
 を含み、  
 前記第2導電型の領域は、前記活性領域と前記電極との間に配置され、  
 該活性領域は、約  $0.25 \lambda_n$  に等しいか又はそれ以下の全厚を有し、  
 該活性領域の一部分は、前記電極の表面から  $0.1 \lambda_n$  と  $0.3 \lambda_n$  の間に位置する、

10

## 【請求項 27】

第1及び第2の絶縁領域と、  
 該第1及び第2の絶縁領域の間に配置された蛍光体層と、  
 該蛍光体層により放射された光を反射する表面と、  
 を含み、  
 前記第1及び第2の絶縁領域のうち的一方は、前記蛍光体層と前記反射表面との間に配置され、  
 該蛍光体層の中心は、抽出効率の極大値に対応する該反射表面からの距離に位置する、  
 ことを特徴とする有機発光装置。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

## 関連出願

本出願は、この引用により本明細書において組み込まれる、2002年12月20日出願の米国特許仮出願第60/435,838号の恩典を請求する。

本発明は、反射器を有する発光装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

発光ダイオード(LED)のような半導体発光装置は、現在入手可能な最も効率的な光源の中に入る。可視スペクトル全体に亘って作動することができる高強度LEDの製造において現在関心のある材料システムは、III-V族半導体を含み、特に、III族窒化物材料とも称されるガリウム、アルミニウム、インジウム、及び窒素の二元、三元、及び四元合金と、III族燐化物材料とも称されるガリウム、アルミニウム、インジウム、及び燐の二元、三元、及び四元合金と含む。多くの場合、III族窒化物装置は、サファイア、シリコンカーバイド、又はIII族窒化物基板上にエピタキシャル成長させられ、III族燐化物装置は、金属有機化学気相成長法(MOCVD)、分子線エピタキシャル成長法(MBE)、又は他のエピタキシャル技術によってガリウム砒化物上にエピタキシャル成長させられる。多くの場合、1つ又は複数のn型層が基板上に堆積され、次に、活性領域がn型層上に堆積され、次に、1つ又は複数のp型層が活性領域上に堆積される。層の順番は、p型層が基板に隣接するように逆にもできる。

30

40

## 【0003】

【特許文献1】米国特許仮出願第60/435,838号

【特許文献2】米国特許出願一連番号第10/158,360号

【非特許文献1】「半導体及び半金属」第65巻、ゲルト・ミューラー編「エレクトロルミネッセンスIII」第4章、クリスチアン・ネイツ著「エレクトロルミネッセント装置のための微小空洞」

【非特許文献2】マックス・ボルン及びエミール・ウォルフ著「光学の原理」、628-630ページ、1980年

【非特許文献3】P・マースカント他著「GaNベースの共振空洞LEDの製造」、「P

50

h y s . S t a t . S o l . 」、2002年2月19日提出

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

当業技術で必要とされているのは、装置から抽出される光の量を増大させるLED構造である。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の実施形態によれば、発光装置は、第1の導電型の領域、第2の導電型の領域、活性領域、及び電極を含む。活性領域は、第1導電型の領域と第2導電型の領域の間に配置され、第2導電型の領域は、活性領域と電極の間に配置される。活性領域は、約 $0.25n$ に等しいか又はそれ以下の全厚を有し、また、電極から約 $0.6n$ と $0.75n$ の間に位置する部分を有し、ここで、 $n$ を第2導電型の領域の屈折率とすると、 $n =$ 真空 /  $n$ である。

いくつかの実施形態においては、活性領域は複数のクラスタを含み、第1クラスタの一部分は、電極から約 $0.6n$ と $0.75n$ の間に位置し、第2クラスタの一部分は、電極から約 $1.2n$ と $1.35n$ の間に位置する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

以下に説明する実施例は、半導体発光装置に関する。本発明の実施形態は、有機発光装置又は他の任意の適切なフリップチップ装置に適用可能である。

図1は、本発明の実施形態による発光装置を示す。n型領域3、発光活性領域1、及びp型領域5を含む半導体層のグループは、基板2の上に形成される。半導体層は、例えば、III族窒化物層、III族燐化物層、II-VI族層、又は任意の他の適切な材料とすることができる。n型領域3、活性領域1、及びp型領域5の各々は、同一又は異なる組成、厚み、及びドーパント濃度の多重層を含むことができる。p型領域5及び活性領域1の一部分は、n型領域3の一部分を露出させるために除去される。n電極10は、n型領域3上に堆積され、p電極4は、p型領域5上に堆積される。p及びn電極のうちの少なくとも1つは、活性領域1によって放射された光を強く反射する。装置は、相互接続8によってサブマウント9上に物理的に装着されると共に電氣的に結合される。

図8は、半導体発光装置の代替実施形態を示す。図8の装置においては、p型領域5は、分散型ブラッグ反射器(DBR)のような反射面50によりp電極4から分離される。

【0007】

図10は、本発明の実施形態による有機発光ダイオードのような薄膜ルミネッセント装置を示す。蛍光体発光層304は、2つの絶縁体303及び305の間に挟まれる。金属層306及び透明電極302を通じて、装置に対する接点を作られる。光は、ガラス上層板301を通じて抽出される。有機発光ダイオードは、「半導体及び半金属」第65巻のゲルト・ミュラー編「エレクトロルミネッセンスII」第4章のクリスチアン・ネイツ著「エレクトロルミネッセント装置のための微小空洞」においてより詳細に説明されている。

光抽出効率は、装置における反射層に対する発光層の配置を制御することにより改善することができる。図1の装置においては、活性領域1の配置は、高度に反射性のp電極4に対して制御される。図8の装置においては、活性領域1の配置は、「DBR」50に対して制御される。図10の装置においては、蛍光体層304の配置は、金属層306に対して制御される。

【0008】

図1の装置に戻り、p電極が完全に導電性金属であると仮定すると、活性領域の中心が、材料内において反射性のp電極から光の $1/4$ 波長のほぼ奇数倍内に置かれた場合( $i = 0, 1, 2, \dots$ の時に $(2i + 1)n/4$ )、下方及び上方に伝播する光の建設的干渉は、出力を脱出円錐(図1に示すように $\sim 0^\circ$ )中へ選択的に放射する放射パタ

10

20

30

40

50

ーンをもたらす。この増強は、半導体層 / 基板に対する法線に近い方向であり、半導体層の中に戻る全内部反射の影響を受けにくい。代替的に、活性領域を p 電極反射器に対して僅かに近く（又は、それから僅かに遠く）移動させることによる共振条件の僅かな同調ズレは、脱出円錐中への光の放射、従ってチップからの全上面抽出を最適化するのに好ましい場合がある。ほとんどの用途における最大効率のためには、活性領域と完全に導電性の金属 p 電極との間の距離は、ほぼ 1 / 4 波長であるべきである。

#### 【0009】

非理想金属接点を有する装置において、最大抽出のために共振条件を更に再同調することは、金属から反射する光の移相に依存する。実際の反射接点の移相を判断する方法、次いで、その移相に基づいてその接点に関連した活性領域の最適配置を判断する方法を以下に説明する。以下の説明は、多くの場合、サファイア基板上に形成された III 族窒化物装置の実施例を使用するが、当業者には、説明された方法が他の材料システム、他の接点金属、及び他の成長基板に対して容易に適用可能であることが明らかであろう。

10

#### 【0010】

LED から放射された光の全量（すなわち、全積分光束）は、装置の側面から放射された積分光束に、装置の上側から放射された（基板に向かって）積分光束を加えたものである。側面放射光は、一般に、反射面及び異なる屈折率を有する様々なデバイス層により作りだされた導波路により装置の側面に案内される。導波された光は、一般に、装置の側面に至るその経路上でいくつかの反射を行い、各反射毎に強度を失う。更に、活性領域を通過する光は、吸収される場合がある。従って、初回通過において可能な限り多くの光を装置の上側から抽出し、それにより内部損失を減少させて全積分光束を増大させる傾向を与えることは有利である。

20

#### 【0011】

フリップチップ LED は、LED 内部から上側に衝突して脱出円錐内にある光が装置の上側から直接出て行くように、活性領域近くに「上部脱出円錐」を有する。用語を簡単にするために、この上部脱出円錐を単に「脱出円錐」と呼び、それにより最大の上側光放射が重要な LED 性能の目標であると理解するものとする。脱出円錐は、スネルの法則により、装置内部の様々な層の屈折率を含むいくつかの装置パラメータにより判断される。脱出円錐の外側で上側に衝突する光ビームは、全内部反射を受ける。このような内部反射された光は、一般に装置の側面から出るか、又は、装置内で更なる内部反射及び強度損失を受ける。従って、LED の上側から出る強度を増大させる 1 つの手法は、脱出円錐内にある上側に衝突する光束を増大させることである。

30

#### 【0012】

図 2 は、図 1 に示す装置の一部分から逃げる光を示す。反射性の正のオーム接触 4 は、活性領域 1 から d だけ分離したところに位置し、活性領域 1 と接点 4 との間に位置する p 型領域 5 を有する。領域 5 は、1 つの層を含むことができるか、又は、p 型領域 5 の厚みを通して個別の組成、ドーピング特性、及び副層間の屈折率を有するか又は組成、電気的特性、及び光学的特性の漸次的変化を有する多層副層を含むことができる。

#### 【0013】

説明が明快であるように、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、及び、 $x + y + z = 1$  であって、GaN 基部層 3 及び単一 p 型層 5 を含み、基部層 3 及び p 型層 5 の各々が全体に亘って実質的に均一な屈折率を有する、 $Al_x In_y Ga_z N$  層を有する III 族窒化物装置の場合を詳細に考える。不均一な屈折率を有する層（異なる材料の多層や光学特性の漸次的変化などから生じるような）に対する一般化は、基部層材料の様々な層全体に亘って（層 i の物理的な厚み） / （層 i の屈折率）を加算又は積分することにより得られる光学距離を使用すると簡単である。従って、均一な屈折率を有する層に対してここに提示する実施例は、例示的であり限定的ではない。

40

#### 【0014】

活性領域 1 において発生され、LED の上側から出る光は、n 型領域 3、基板 2、及び密封ゲル 7 を通過し、図 2 においてビーム 8 により描かれるように、その各々において屈

50

折を受ける。GaN基部層3は、屈折率 $n_1 = 2.4$ を有する。サファイア基板2は、 $n_2 = 1.8$ を有し、通常の密封ゲル7は、 $n_3 = 1.5$ を有する。従って、法線から離れる屈折が図2に描写されるように発生し、光8を基板2から密封ゲル7中へ法線からの角度 $\theta_3$ で出現させる。

【0015】

光がその形成の位置から密封ゲル7中へ低屈折率の連続領域(3、2、及び7)を通過して伝播すると、全内部反射の可能性が各境界面で発生する。つまり、ビーム8が高い屈折率側から斜め過ぎる角度で3-2又は2-7境界面に当たる場合、如何なる光も密封ゲル7に入らないことになる。

スネルの法則を図2に適用すると、 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3$ が得られる。脱出円錐は、 $\theta_3 = 90^\circ$ 又は $\sin \theta_1 (\text{脱出}) = (n_3 / n_1)$ によって判断される。GaN、サファイア、及び密封ゲルに対する上記屈折率値を使用すると、 $\theta_1 (\text{脱出}) = 38.7^\circ$ を得る。従って、 $n_1$ 側から $n_1 - n_2$ 境界面に当たる光は、入射角が $\theta_1 (\text{脱出})$ である約 $38.7^\circ$ を超える場合には装置の上側から決して現れない。

【0016】

活性領域1において発生する電子正孔再結合から放射された光は、ビーム6dのように直接的に、又は、ビーム6rのようにオーム接触4からの反射に従って透明基板の中に方向付けすることができる。活性領域1において放射された光に対するコヒーレンス長は、一般にGaNにおいては約3ミクロンである。従って、分離dがコヒーレンス長の約50%よりも小さい(GaNにおいては、dが約1.5ミクロンに等しいか又はそれ以下)場合、直接のビーム(6d)と反射されたビーム(6r)との間で強力な干渉が発生すると予想される。この干渉縞は、活性領域1と反射性接点4との間の距離によって影響される。

【0017】

反射光6rは、それが反射性接点4に当たって跳ね返る場合に強度の損失と移相とを受け、フリップチップからの光出力を増大させるために、及び、接点4に対する強度損失を減少させるために、接点4は、高い反射率を有するように選択することができる。例えば、接点4は、50%を超える反射率を有することができ、通常は80%を超える反射率を有し、いくつかの実施形態においては、好ましくは90%を超える反射率を有する。反射光6rの移相は、反射性接点4において使用された金属又は金属合金のn及びk値に依存し、従って、移相は、金属の種類に依存して変化することになる。この移相はまた、干渉縞に影響を与える。完全な導電性金属に対しては、移相は $180^\circ$ であることになる。概して、実際の装置上の接点は、完全な導電性金属ではない。

【0018】

反射性接点4から反射された光の移相が判断された状態で、装置を脱出する光の干渉縞は、活性領域1と反射性接点4との間の距離の関数として計算することができる。上述のように、GaN/サファイア/密封ゲル境界面から脱出する光に対する臨界角は、約39度であり、従って、この39度の範囲内に方向付けされたGaN中の光部分のみが基板2の上側を通過して脱出することができる。発光装置からの光抽出を増大させる1つの方法は、脱出円錐内に光の強度を集中させることである。活性領域から現れる干渉縞は、所定の接点材料に対して活性領域1と反射性接点4との間の距離により制御されることから、脱出円錐内の光強度は、活性領域1と反射性接点4との間の距離を適切に選択することにより最大にすることができる。

【0019】

単一量子井戸活性領域から直接的に放射された光6dの電界は、以下のようになる。

【0020】

$$\vec{E}_0 = w_0 * \exp(-i\vec{k} * \vec{x}) \quad (1)$$

【0021】

単一量子井戸活性領域から反射された光 6 r の電界は、以下のようなになる。

【 0 0 2 2 】

$$\vec{E}_R = w_R * \exp(-i(\vec{k} * \vec{x} + \Phi + \Phi')) \quad (2)$$

【 0 0 2 3 】

ここで、 $w_0$  は放射光 6 d の振幅、 $w_R$  は反射光 6 r の振幅、 $k$  は方向ベクトル、 $x$  は位置ベクトル、 $\Phi$  は反射性接点 4 から反射する際の移相、 $\Phi'$  は光路長差に起因する移相である。

装置における強度は、従って、角度  $\theta$  の関数として以下のようなになる。

10

【 0 0 2 4 】

$$|\vec{E}_{\text{全体}}|^2 = (\vec{E}_0 + \vec{E}_R) * (\vec{E}_0 + \vec{E}_R) = w_0^2 + w_R^2 + 2w_0w_R \cos(\Phi + \Phi') \quad (3)$$

【 0 0 2 5 】

光路長差  $\Delta L$  に起因する移相は、 $\Phi' = 2\pi \Delta L / \lambda$  とすると方程式 (4) により、単一量子井戸活性領域 1 と反射性接点 4 との間の距離  $d$ 、角度  $\theta$ 、波長  $\lambda$ 、及び  $n$  (上述の例においては GaN であるデバイス層の屈折率) に依存する。

$$\Phi' = 2\pi (x / \lambda n) = 2\pi (2d * \cos \theta / \lambda n) \quad (4)$$

【 0 0 2 6 】

反射性接点 4 からの反射に起因する移相  $\Phi$  は、金属が既知である場合は、反射性接点 4 における金属の  $n$  及び  $k$  値から計算することができる。例えば、本明細書において引用により組み込まれる、マックス・ボルン及びエミール・ウォルフ著「光学の原理」の 628 - 630 ページ (1980 年) を参照することができる。反射性接点 4 の  $n$  及び  $k$  値が既知でない場合は、移相  $\Phi$  は、例えば、以下の方法で判断することができる。試験中の装置に対して直角の基板を通して放射される光を集めるために、小さな収集円錐 ( $\sim 6^\circ$ ) に検出装置が置かれる。活性領域 1 と反射性接点 4 との間の様々な距離を有する一連の装置が、反射性接点 4 として未知の移相を有する材料を含んで製造される。放射光の波長が一定である場合、一連の装置の抽出効率は、活性領域 1 と反射性接点 4 との間の距離  $d$  の関数として単に変化することになる。

20

30

【 0 0 2 7 】

方程式 (3) によれば、抽出効率における極小値は、 $\Phi + \Phi' = m\pi$  ( $m$  は奇数の整数) の点に位置し、ここで、 $\Phi'$  は、直接的な放射光 6 d と反射光 6 r との間の光路差に起因する位相差である。各々が反射性接点 4 から異なる距離に配置された単一量子井戸を有する一連の装置を使用することで、反射性接点 4 の外部量子効率、検出装置により、単一量子井戸活性領域 1 と反射性接点 4 との間の距離の関数として計測することができる。既知移相を有する第 2 の反射性接点 4 を使用すれば、同一の活性領域対反射性接点距離を使用して、外部量子効率対距離の別の曲線を第 2 の組の装置に対して計測又は計算することができる。外部量子効率は、内部量子効率と抽出効率との積、つまり、 $E_{QE} = C_{抽出} * I_{QE}$  であり、従って、内部量子効率におけるウェー八間の差を除去して抽出効率の比を得るために、以下になるように第 1 曲線上の点を第 2 曲線上の点で割算することができる。

40

$$E_{QE \text{ 未知}} / E_{QE \text{ 既知}} = C_{抽出, \text{ 未知}} / C_{抽出, \text{ 既知}} \quad (5)$$

【 0 0 2 8 】

$C_{抽出, \text{ 未知}}$  及び  $C_{抽出, \text{ 既知}}$  は、方程式 (3) で置換することができ、 $E_{QE \text{ 未知}}$  及び  $E_{QE \text{ 既知}}$  は、両装置に対する外部量子効率の計測値で置換することができ、従って、方程式 (5) は、 $n_{\text{未知金属}}$  について解くことができる。 $d$ 、 $\theta$ 、 $\lambda$ 、 $m$ 、 $n_{\text{既知金属}}$ 、及び反射率は既知であるから、 $n_{\text{未知金属}}$  は、全ての未知の反射性接点 4 について計算することができる。 $n_{\text{未知金属}}$  を判断するために、他の方法を使用してもよい。例えば、「Phys. Stat. Sol.」(2002 年 2 月 19 日提出) に掲載の P・マースカント他著「G

50

a N ベースの共振空洞 LED の製造」を参照することができる。

【 0 0 2 9 】

反射 に起因する移相が既知になった状態で、強度は、距離  $d$  及び角度 の関数として上述の方程式 3 を使用して計算することができる。図 3 は、図 2 で定められた  $\lambda_0$  である LED の法線に対するシリコン内への放射方向の関数としてコンピュータが発生させた上側遠視野放射光強度（又は光束）の例を示す。図 3 の曲線は、密封ゲル 7 としてシリコンを使用するサファイア基板上に組立てられた単一量子井戸 III 族窒化物装置に基づいている。 $d = 0.5 \lambda_n$  を有する図 3 の曲線 a から  $d = 1.3 \lambda_n$  を有する図 3 の曲線 i まで様々な値の  $d$  が描かれており、ここで、 $\lambda_n$  は、活性領域と反射性接点とを分離する半導体材料中の光の波長である。角度に対する光束の変化だけが重要であるから、光束の単位は任意である。放射パターンは、他の要因のうちでもとりわけ、距離  $d$ 、放射光の波長、光が LED から出る場合に通過する材料の有効屈折率に依存する。放射パターンは、 $d$  が変化すると明らかに変化し、 $38.7^\circ$  の脱出円錐内にある光束を変化させる。

10

【 0 0 3 0 】

図 3 に示すように、全放射光束の極大は、発光領域の中心垂直軸線付近にピークがない放射パターンに対して発生する場合がある。つまり、光束強度が表面に対して主として直角（図 3 においては 0 度、又は「軸線上」）に方向付けされるように反射平面を発光領域から間隔を空けて配置しても、必ずしも全放射光束の最大化をもたらすわけではない。図 3 の曲線「f」は、放出された放射の顕著な軸線上ピークをもたらすが、全放射光束をかなり犠牲にする。従って、軸線上の光放射強度を最大にするために発光領域を反射器から

20

【 0 0 3 1 】

図 3 における曲線は、装置側面から放射された光に対して積分及び加算することができ、図 4 の曲線が発生させる。図 4 は、4 つの装置に対して、コンピュータが発生させた  $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$  フリップチップの全光束の抽出効率のプロットを、 $\lambda_n$  で割算された活性領域 1 と反射性接点 4 との間の距離の関数として示す。図 4 における曲線 a は、サファイア基板、シリコン密封ゲル、及び銀 / ニッケル接点を有する反射性接点を使用する III 族窒化物単一量子井戸装置に対する結果を示す。図 4 は、第 2 及び第 3 の極大値を示す。抽出効率の第 2 極大値は、約  $0.6 \lambda_n$  と約  $0.75 \lambda_n$  の間で発生し、抽出効率の第 3 極大値は、約  $1.2 \lambda_n$  と約  $1.35 \lambda_n$  の間で発生する。従って、（薄いニッケル） / 銀接点を使用する III 族窒化物装置の最大抽出効率に対しては、単一量子井戸活性領域 1 の中心は、反射性接点 4 から約  $0.5 \lambda_n$  と約  $0.8 \lambda_n$  の間、又は、約  $1.1 \lambda_n$  と約  $1.4 \lambda_n$  の間に配置されるべきである。

30

【 0 0 3 2 】

抽出効率対距離の曲線における極大値の位置は、光の波長が変化するとずれる場合がある。光の波長は、金属からの反射 に起因する移相に影響する。が既知の  $n$  及び  $k$  値から計算される場合、計算は波長を考慮に入れる。が上述のように計測される場合、は、活性領域と反射性接点との間の距離の適正な選択を保証するために特定の波長について計測されるべきである。以下の表は、3 つの異なる波長の装置に対する抽出効率対  $d$  のプロットにおける第 2、第 3、及び第 4 極大値に対応する単一 III 族窒化物量子井戸とニ

40

【 0 0 3 3 】

【表 1】

	450 nm 装置	505 nm 装置	530 nm 装置
$n = 2.4$	$d / \lambda_n$	$d / \lambda_n$	$d / \lambda_n$
最適	0.5 ~ 0.8	0.53 ~ 0.83	0.55 ~ 0.85
好ましい	0.6 ~ 0.7	0.63 ~ 0.73	0.65 ~ 0.75
最適	1.05 ~ 1.35	1.08 ~ 1.38	1.1 ~ 1.4
好ましい	1.15 ~ 1.25	1.18 ~ 1.28	1.2 ~ 1.3
最適	1.6 ~ 1.9	1.63 ~ 1.93	1.65 ~ 1.95
好ましい	1.65 ~ 1.75	1.68 ~ 1.78	1.7 ~ 1.8

10

## 【0034】

第1極大値は、概して、約  $0.1 \lambda_n$  と約  $0.3 \lambda_n$  の間に位置する。

上述の実施例は、ニッケル/銀接点、シリコン密封ゲル、及びサファイア基板を使用する III 族窒化物装置に関するが、活性領域と反射性接点との間の間隔を選択する方法は、以下に限定されるものではないが、III 族燐化物、III 族砒化物、及び II-VI 族を含む他の材料システムに対して、他の接点材料に対して、他の密封材料に対して、及び、他の基板に対して適用することができることが当業者には明らかであろう。例えば、純銀接点を使用する 450 nm III 族窒化物装置は、抽出効率の第2極大値を約  $0.65 \lambda_n$  と約  $0.75 \lambda_n$  の間、抽出効率の第3極大値を約  $1.15 \lambda_n$  と約  $1.38 \lambda_n$  の間、及び、抽出効率の第4極大値を約  $1.73 \lambda_n$  と約  $1.85 \lambda_n$  の間に有する。金接点を使用する 625 nm III 族燐化物装置 ( $n = 3.4$ ) は、抽出効率の第1極大値を約  $0.1 \lambda_n$  と約  $0.3 \lambda_n$  の間、抽出効率の第2極大値を約  $0.6 \lambda_n$  と約  $0.75 \lambda_n$  の間、抽出効率の第3極大値を約  $1.1 \lambda_n$  と約  $1.25 \lambda_n$  の間、抽出効率の第4極大値を約  $1.6 \lambda_n$  と約  $1.8 \lambda_n$  の間、及び、抽出効率の第5極大値を約  $2.18 \lambda_n$  と約  $2.28 \lambda_n$  の間に有する。

20

## 【0035】

図5は、活性領域と反射性接点との間の間隔を判断する方法を示す。最初に、段階202において、半導体材料、基板、及び、密封材料又は密封材料が何も使用されない場合は空気の屈折率を使用して脱出円錐が計算される。段階204において、光路長に起因する移相及び反射に起因する移相が、次いで上述のように計算又は計測される。光路長に起因する移相及び反射に起因する移相は、反射器に使用された材料及び光の波長に依存する。段階206において、段階204で判断された移相を使用して、放射パターンが活性領域と反射性接点との間の様々な間隔について計算され、図3のようなグラフをもたらし。この放射パターンは、光の波長に依存する。段階208において、活性領域と反射性接点との間の距離  $d$  の関数として抽出効率が計算される。この抽出効率は、段階206において計算された放射パターンと段階202において計算された脱出円錐とに依存する。 $d$  の関数としての抽出効率の実施例を図4に示す。 $d$  の関数としての抽出効率のプロットの極大値は、段階210において識別され、それは、活性領域とほとんどの光を出力する反射性接点との間の間隔を判断する。図5において示す方法は、本明細書において引用により組み込まれる、2002年5月29日出願の「改善された光抽出のためのフリップチップ発光ダイオードにおける量子井戸の選択的配置」という名称の米国特許出願一連番号第10/158,360号でより詳細に説明されている。

30

40

## 【0036】

図5で説明した方法は、III 族燐化物装置の反射性接点と活性領域との間の分離を判断するために使用することができるが、その場合、デバイス層は、 $Al_x In_y Ga_z P$  であり、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、及び、 $x + y + z = 1$  である。III 族燐化物装置は、多くの場合、活性領域に隣接した  $Al In P$  層と、反射性接点に隣接した  $Ga In P$  接点層とを有する。反射性接点は、 $Ga In P$  とのオーム接触に関して選択される。適切な反射性接点材料の例は、 $Al$ 、 $Ag$ 、及び  $Au$  である。反射性接点金属は、合金にして  $Ga In P$  にすることができ、それは接点の反射率を減少させることができる。オー

50

ム特性と反射特性との間の妥協点を軽減するために2点接点を使用することができる。2点接点を形成するために、最初に適切なオーム金属層が堆積され、合金にしてGaInPにされる。次いで、この金属は、精細な線のパターンにエッチングされ、それによりGaInPのほとんどの表面区域が露出され、この精細な線は、装置内へ電流を伝える役割を果たす。GaInPの露出された区域は、次に化学的にエッチングされて除去され、下のAlInPクラッド層を露出し、それにより吸収GaInPの大部分を光路から除去する。最後に、適切な反射器が、AlInPに対してそれが作る接点の抵抗性と無関係にその光学特性に関して選択され、最初の金属の精細な線と露出AlInPとの両方を覆って堆積される。このようにして、最初の金属と鏡として機能する高度に反射性の第2の金属とにより、電流は装置内へ伝導される。

10

#### 【0037】

図4Aの曲線aは、単一量子井戸活性領域に対するデータを示す。しかし、本明細書に説明する方法は、単一量子井戸装置に限定されるものではなく、多重量子井戸(MQW)活性領域との関連においても使用できるものである。例えば、「MQW」活性領域の輝度の中心及び/又は物理的中心は、活性領域と反射性接点との間の距離の関数としての上側光束の抽出効率の適切なプロット上の極大値に対応する分離の点に配置することができる。そのような実施形態を図6A及び図6Bに示す。図6Aで示す活性領域は、障壁層17により分離された2つの量子井戸層15を有する。図6Bに示すように、活性領域1の中心である障壁層17の中心は、図4の曲線bの第1ピークに位置し、その曲線は、2つの量子井戸の活性領域に対応する。曲線bの第1ピークは、抽出効率に対する活性領域中心及びp電極間の距離のプロットにおける第2極大値に対応し、約0.67 $\mu$ mの距離に位置する。

20

#### 【0038】

装置の抽出効率は、活性領域と活性領域及び反射電極間の層とを、各量子井戸が抽出効率対反射電極からの距離のプロット上の極大値に可能な限り近く位置するように設計することで改善することができる。図6A、6B、7A、及び7Bは、そのように設計された装置の実施例を示す。

図6A及び6Bに示す装置は、例えば、UVから緑色に至る範囲の波長で光を放射するIII族窒化物装置とすることができる。量子井戸15の各々は、約100Åから約600Åに至る範囲の厚みを有することができ、通常は、約150Åから約400Åに至る間の厚みを有し、好ましくは、約300Åの厚みを有する。量子井戸15の組成は、装置により放射される光の色に依存する。量子井戸15の各々は、同一の厚み及び組成を有する必要はない。障壁層17は、約50Åから約200Åに至る範囲の厚みを有することができ、通常は、約85Åの厚みを有する。より短い波長の装置の障壁層は、より長い波長の装置の障壁層よりも薄くすることができる。p型領域は、活性領域からp電極まで順番に列挙すると、AlGaN閉込め層5a、第1GaN層5b、及び第2GaN接点層5cを含むことができる。いくつかの実施形態においては、閉込め層5aは、100Åと1000Åの間の厚みを有することができ、通常は、約100Åと約400Åの間の厚みを有し、第1GaN層5bは、約100Åと約1000Åの間の厚みを有することができ、通常は、約400Åと約900Åの間の厚みを有し、第2GaN接点層5cは、約50Åと約500Åの間の厚みを有することができ、通常は、約50Åと約250Åの間の厚みを有する。図6A及び6Bに示す装置における反射性p電極は、例えば、GaN接点層5cとAgの厚い層との間に挟まれたNiの薄い層を使用する多層電極としてもよい。

30

40

#### 【0039】

図6A及び6Bに示す実施形態においては、活性領域全体は、抽出効率対活性領域及びp電極間の距離の曲線上のピークの周りに位置する。この活性領域は、図6Bの抽出効率

50

対距離の曲線上の第2極大値に対応する距離に配置されるが、活性領域の配置は、第3又はそれ以上の極大値に対応することができる。第1極大値に活性領域を配置すると薄すぎるp型領域をもたらす場合があるので、通常は、活性領域は、第1極大値の近くに配置されない。第4又はそれ以上の極大値は、そのような配置がp型領域を余りにも厚くして抽出効率を減少させる結果をもたらす場合があるので、通常は使用されない。p型領域は、一般的に量子井戸よりも高温の下で製造され、従って、厚いp型領域を製造すると、量子井戸に損傷を与える製造条件をもたらす場合がある。更に、第4極大値を超える抽出効率は、第2、第3、及び第4極大値に対するものよりも著しく低い。

2つの量子井戸が図6Aに示されているが、活性領域のピークから最も遠い部分はそのピークにかなり近いことを条件として、それよりも多いか又は少ない量子井戸を使用してもよい。2つの障壁層により分離された3つの量子井戸を有する装置においては、中央量子井戸の中心は、p電極から抽出効率対距離の曲線上のピークに対応する距離に最適に位置する。

#### 【0040】

図6A及び6Bに示す実施形態においては、活性領域の全厚は、全ての活性領域が抽出効率対活性領域及びp電極間の距離の曲線上のピークに近いように制限される。例えば、活性領域の全厚は、ピークのいずれの側においても活性領域が $0.35 \lambda_n$ よりも大きくなり得ず、通常は $0.15 \lambda_n$ よりも大きくなく、通常は $0.05 \lambda_n$ を超えて延びないように選択することができる。図4の4つの曲線は、活性領域がよりコンパクトになるにつれて全抽出効率が改善されることを明示する。図4は、4つの装置、単一量子井戸装置（曲線a）、薄い障壁層を有する2つの量子井戸の装置（曲線b）、厚い障壁層を有する2つの量子井戸の装置（曲線c）、及び、4つの量子井戸の装置の抽出効率を示す。図4に示す第1ピークにおいては、量子井戸におけるキャリアの均一な充填を仮定すると、最もコンパクトな活性領域を有する装置（単一量子井戸装置）は、最も高い抽出効率を有し、一方、最も厚い活性領域を有する装置（4つの量子井戸の装置）は、最も低い抽出効率を有する。

#### 【0041】

少ない（例えば、1～3）量子井戸を有する実施形態においては、活性領域の輝度の中心は、活性領域の物理的中心であると予想される。異なる組成又は厚みの量子井戸を有するか、又は3を超える量子井戸を有する活性領域においては、輝度の中心は、活性領域の物理的中心ではない場合がある。そのような装置においては、活性領域の輝度の中心は、抽出効率対距離の曲線上のピークに位置することができる。

#### 【0042】

いくつかの実施形態においては、活性領域における量子井戸は、抽出効率対距離の曲線上のピークの周囲にクラスタを形成することができ、薄い障壁層が、各クラスタにおける量子井戸を分離し、厚い障壁層が、クラスタを分離する。各クラスタの輝度中心は、活性領域及び反射性接点間の距離の関数としての上側光束の抽出効率の適切なプロット上の極大に対応する分離の点に配置することができる。図7A及び7Bは、そのような装置を示す。図7Aに示す装置は、各々が2つの量子井戸を備えた量子井戸の2つのクラスタを有する。第1のクラスタは、障壁層17aにより分離された2つの量子井戸15aを含み、その中心は、図4に示す第1ピークに位置する（第2極大値）。第2のクラスタは、障壁層17bにより分離された2つの量子井戸15bを含み、その中心は、図4に示す第2ピークに位置する（第3極大値）。この2つのクラスタは、厚い障壁層17cにより分離される。これらのクラスタは、2つよりも多いか又は少ない量子井戸を持つことができ、同数の量子井戸を有する必要はない。

#### 【0043】

図9は、パッケージ化された発光装置の組立分解図である。放熱スラグ100は、挿入成形されたリードフレーム106の中に配置される。挿入成形リードフレーム106は、例えば、電路を形成する金属フレームの周りに成形された充填プラスチック材料である。スラグ100は、任意選択の反射器カップ102を含むことができる。代替的に、スラグ

10

20

30

40

50

100は、反射器カップなしにペDESTALを形成してもよい。上述の装置の何れであってもよい発光装置ダイ104は、スラグ100に対して直接的又は熱伝導性サブマウント103を通じて間接的に装着することができる。光学レンズ108を追加してもよい。

【0044】

本発明を詳細に説明したが、当業者は、本開示が与えられたので、本明細書に説明した発明概念の精神から逸脱することなく本発明に対して変更を為し得ることを認めるであろう。例えば、本発明は、実施例に説明した接点材料及び半導体材料に限定されない。具体的には、多くの実施例は、銀接点を有するIII族窒化物フリップチップ装置に関するものであるが、本発明はまた、III族燐化物、III族砒化物、及びII-VI族材料のような他の反射性接点及び他の材料システムにも適用可能である。従って、本発明の範囲は、図解及び説明した特定の実施形態に限定するようには意図していない。

10

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】本発明の実施形態による発光装置を示す図である。

【図2】密封ゲルで覆われた図1の発光装置の一部を示す図である。

【図3】活性領域を反射器から分離する材料の量が波長 $\lambda_n$ を用いて表される時に、活性領域を反射器から分離する異なる量の材料を有し、サファイア基板上に組立てられてシリコン密封ゲルを用いてパッケージ化されたIII族窒化物単一量子井戸銀/ニッケル接点発光装置から放射された光束の角度分布を示す図である。

【図4】いくつかの装置に対する上部光の抽出効率を活性領域及び反射器間の分離の関数として示す図である。

20

【図5】発光装置の活性領域及び反射器間の分離を判断する方法を示す図である。

【図6A】図1の活性領域1の一実施形態を示す図である。

【図6B】図6Aに示すデバイス層の位置を示す図である。

【図7A】図1の活性領域1の代替実施形態を示す図である。

【図7B】図7Aに示すデバイス層の位置を示す図である。

【図8】発光装置の代替実施形態を示す図である。

【図9】パッケージ化された発光装置の組立分解図である。

【図10】本発明の実施形態による薄膜エレクトロルミネッセント装置を示す図である。

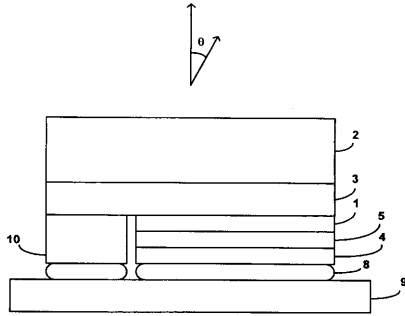
【符号の説明】

30

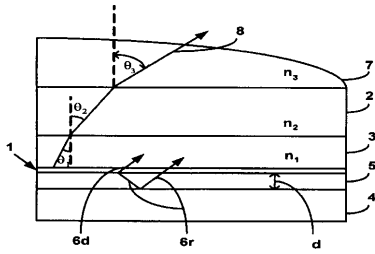
【0046】

- 1 活性領域
- 2 基板
- 3 n型領域
- 4 p電極
- 5 p型領域
- 8 相互接続
- 9 サブマウント
- 10 n電極

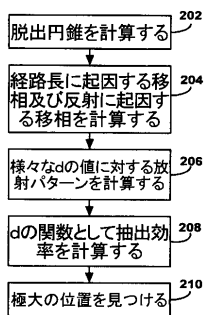
【 図 1 】



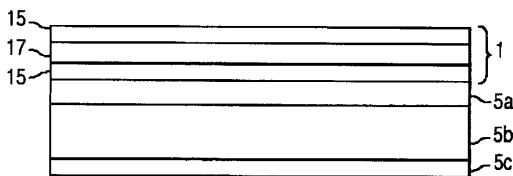
【 図 2 】



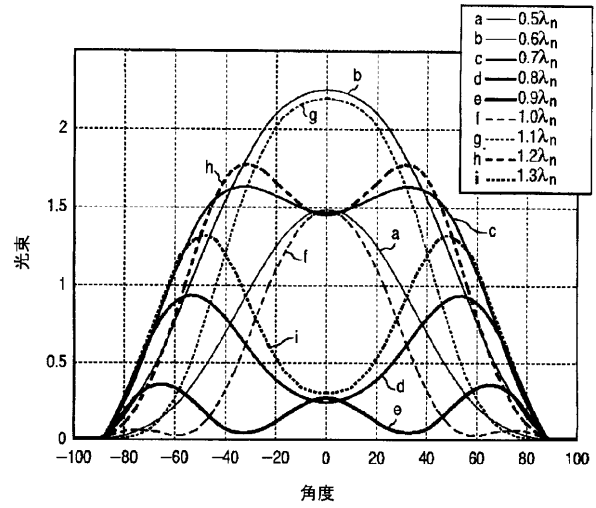
【 図 5 】



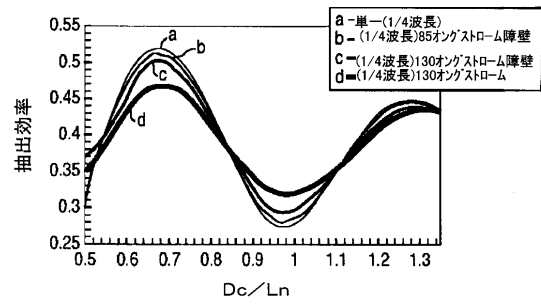
【 図 6 A 】



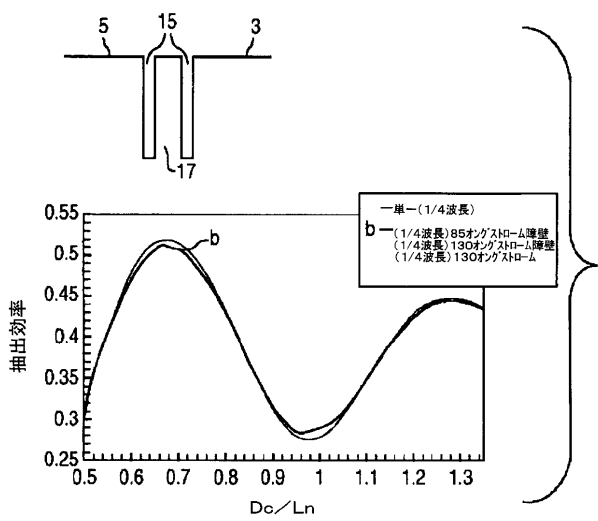
【 図 3 】



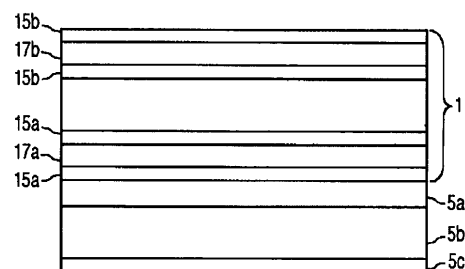
【 図 4 】



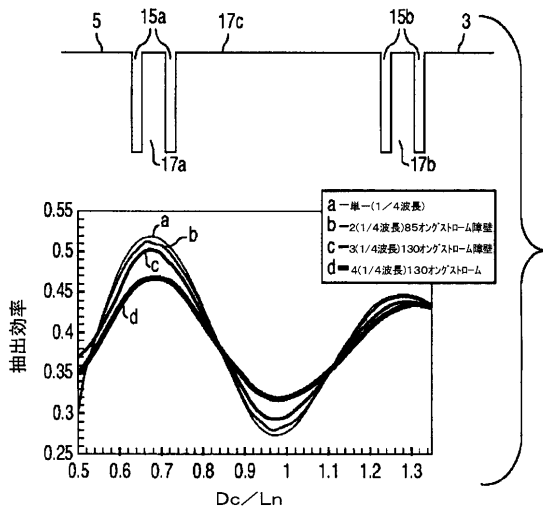
【 図 6 B 】



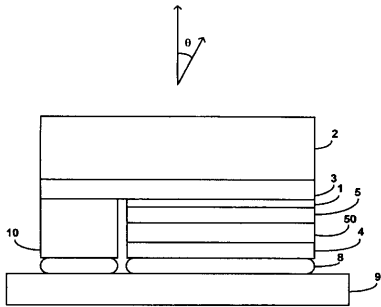
【 図 7 A 】



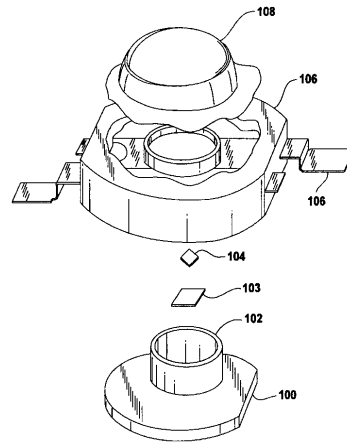
【 図 7 B 】



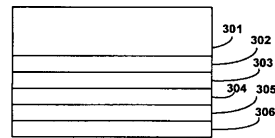
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ミラ エス ミスラ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 3 2 ロス ガトス トーマス ドライヴ 2 3 0

(72)発明者 ユ - チェン シェン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 8 6 サニーヴェイル アジロマー テラス 9 8 3  
- 5

(72)発明者 スティーブン エイ ストックマン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 3 7 モーガン ヒル ラ ヴェラ コート 3 6 7

Fターム(参考) 5F041 AA04 CA05 CA08 CA12 CA37 CA40 CA85 CA86 CA87 CB14

CB15 DA04