

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5221180号
(P5221180)

(45) 発行日 平成25年6月26日 (2013. 6. 26)

(24) 登録日 平成25年3月15日 (2013. 3. 15)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 33/10 (2010.01) H O 1 L 33/00 1 3 0

請求項の数 5 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2008-86110 (P2008-86110)	(73) 特許権者	506334182
(22) 出願日	平成20年3月28日 (2008. 3. 28)		DOWAエレクトロニクス株式会社
(65) 公開番号	特開2009-239176 (P2009-239176A)		東京都千代田区外神田四丁目14番1号
(43) 公開日	平成21年10月15日 (2009. 10. 15)	(74) 代理人	100110858
審査請求日	平成23年1月28日 (2011. 1. 28)		弁理士 柳瀬 睦肇
		(74) 代理人	100100413
			弁理士 渡部 温
		(72) 発明者	岩田 雅年
			東京都千代田区外神田四丁目14番1号
			DOWAエレクトロニクス株式会社内
		(72) 発明者	宮地 岳広
			東京都千代田区外神田四丁目14番1号
			DOWAエレクトロニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1ブラッグ反射型ミラー層と、
前記第1ブラッグ反射型ミラー層より光射出面側に形成された第2ブラッグ反射型ミラー層と、
前記第1ブラッグ反射型ミラー層及び前記第2ブラッグ反射型ミラー層の間に位置する活性層と、
を具備する発光素子の設計方法であって、
前記発光素子の設計波長を PL とし、前記第1ブラッグ反射型ミラー層及び前記第2ブラッグ反射型ミラー層の中心波長を cnt とした場合に下記式を満たすように設計することを特徴とする発光素子の設計方法。

$$PL < cnt \text{ (単位: nm)} \quad PL + 10$$

【請求項2】

請求項1において、下記式を満たすように設計することを特徴とする発光素子の設計方法。

$$PL + 5 \quad cnt \text{ (単位: nm)} \quad PL + 10$$

【請求項3】

請求項1または2において、第1ブラッグ反射型ミラー層と第2ブラッグ反射型ミラー層で挟まれた層の合計の厚みを共振器長 L とし、共振器内の平均屈折率を $n(\text{ave})$ とし、 m を自然数とし、 Xm を共振器調整係数とした場合に下記式が成り立ち、

下記式における $((m/4) - Xm)$ の範囲は、 m が 6 のとき、 $1.4 \sim 1.55$ であることを特徴とする発光素子の設計方法。

$$L = ((m/4) - Xm) \times PL / n(ave)$$

【請求項 4】

第 1 ブラッグ反射型ミラー層と、
前記第 1 ブラッグ反射型ミラー層より光射出面側に形成された第 2 ブラッグ反射型ミラー層と、
前記第 1 ブラッグ反射型ミラー層及び前記第 2 ブラッグ反射型ミラー層の間に位置する活性層と、
を具備する発光素子であって、
前記発光素子の設計波長を PL とし、前記第 1 ブラッグ反射型ミラー層及び前記第 2 ブラッグ反射型ミラー層の中心波長を cnt とした場合に下記式を満たすことを特徴とする発光素子。

$$PL + 5 \leq cnt \text{ (単位: nm)} \leq PL + 10$$

【請求項 5】

請求項 4 において、第 1 ブラッグ反射型ミラー層と第 2 ブラッグ反射型ミラー層で挟まれた層の合計の厚みを共振器長 L とし、共振器内の平均屈折率を $n(ave)$ とし、 m を自然数とし、 Xm を共振器調整係数とした場合に下記式が成り立ち、

下記式における $((m/4) - Xm)$ の範囲は、 m が 6 のとき、 $1.4 \sim 1.55$ であることを特徴とする発光素子。

$$L = ((m/4) - Xm) \times PL / n(ave)$$

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、発光素子に係わり、特に、発光出力を高くしつつ FFP の形状を狭く制御した発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

センサー用途に用いられる点光源用の電流狭窄型発光ダイオードには、共振共鳴型発光ダイオード (RCLED) が用いられる。これは、波長制御が容易なこと、スペクトル幅が狭く、波長選択性に優れること、発光形状を容易に選択でき、レンズが不要となること、レーザではないのでアイセーフの問題を気にする必要がないことなどの理由により、センサー用途に好適だからである。

【0003】

RCLED は、垂直共振器型面発光レーザと類似な構造をした発光素子であり、活性層を P 型クラッド層と N 型クラッド層で挟んだダブルヘテロ構造を、低屈折層と高屈折層を繰り返し積層した半導体分布ブラッグ反射型ミラー層 (以下、DBR ミラー層と記載する。) で挟んだ構造を有している。DBR ミラーは AlGaAs 系の半導体層から構成されているが、高反射帯域の波長域を十分広くするためには、低屈折層と高屈折層との屈折率差をできるだけ大きくすることが望ましい。

【0004】

ところで、RCLED をセンサー等で使用する場合における重要な設計パラメータの一つにファーフールドパターン (FFP) がある。この FFP とは、LED を点光源とみなしたときに、どの程度の発光の広がりを持つかどうかを見る指標の一つである。そして、従来の RCLED の FFP を制御する方法としては、発光波長と共振器長を適切に設計する方法がある (例えば特許文献 1 参照)。

【0005】

【特許文献 1】特許第 3716483 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

しかしながら、上述した発光波長と共振器長を適切に設計する方法では、FFPを十分に制御できないことが分かった。つまり、RCLEDにおけるFFPを制御するには発光波長と共振器長のパラメータだけでは不足していることが分かった。そして、RCLEDにおけるFFPへ影響を及ぼすパラメータとして、発光波長と共振器長に加え、DBRミラー層の中心波長も重要なパラメータであることが分かった。

【 0 0 0 7 】

本発明は上記のような事情を考慮してなされたものであり、その目的は、発光出力を高くしつつFFPの形状を狭く制御した発光素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

上記課題を解決するため、本発明に係る発光素子は、第1ブラッグ反射型ミラー層と、前記第1ブラッグ反射型ミラー層より光射出面側に形成された第2ブラッグ反射型ミラー層と、

前記第1ブラッグ反射型ミラー層及び前記第2ブラッグ反射型ミラー層の間に位置する活性層と、

を具備する発光素子であって、

前記発光素子の設計波長を PL とし、前記第1ブラッグ反射型ミラー層及び前記第2ブラッグ反射型ミラー層の中心波長を cnt とした場合に下記式を満たすことを特徴とする。

$$PL < cnt \text{ (単位: nm)} \quad PL + 10$$

【 0 0 0 9 】

上記本発明に係る発光素子によれば、上記式を満たすように設計することにより、発光出力を高くしつつFFPの形状を狭く制御することが可能となる。

【 0 0 1 0 】

また、本発明に係る発光素子において、第1ブラッグ反射型ミラー層と第2ブラッグ反射型ミラー層で挟まれた層の合計の厚みを共振器長 L とし、共振器内の平均屈折率を $n(ave)$ とし、 m を自然数とし、 Xm を共振器調整係数とした場合に下記式が成り立ち、

下記式における $((m/4) - Xm)$ の範囲は、 m が6のとき、 $1.4 \sim 1.55$ であることが好ましい。

$$L = ((m/4) - Xm) \times PL / n(ave)$$

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、発光出力を高くしつつFFPの形状を狭く制御した発光素子を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 2 】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。

図1は、本発明の実施形態に係る発光素子の構成を説明する為の縦断面図である。本図に示す発光素子は、基板101の表面上に、バッファ層102、第1DBRミラー層103、第1クラッド層104、活性層105、第2クラッド層106、開口部を有する電流狭窄層107、第2DBRミラー層108、及び開口部を有するコンタクト層110をこの順に積層し、さらにコンタクト層110上にオーミック電極(図示せず)を形成したものである。なお、基板101の裏面にも図示しない電極が形成されている。第1クラッド層104、活性層105、及び第2クラッド層106により量子井戸活性層を挟み込んだダブルヘテロ構造が形成されている。

【 0 0 1 3 】

上記の構造において、基板101が第1導電型(例えばn型)である場合、バッファ層102、第1DBRミラー層103、第1クラッド層104、及び電流狭窄層107は第1導電型(例えばn型)であり、第2クラッド層106、第2DBRミラー層108、及

10

20

30

40

50

びコンタクト層 110 は第 2 導電型 (例えば p 型) とすることができる。

【0014】

例えば基板 101 が n 型 GaAs 基板である場合、バッファ層 102 は n 型 GaAs 層、第 1 DBR ミラー層 (n-DBR) 103 は n 型 $Al_aGa_{1-a}As$ 層及び n 型 $Al_bGa_{1-b}As$ 層 ($0 < a < b < 1$) を交互に複数積層した構造、第 1 クラッド層 (n-clad) 104 は n 型 $Al_cGa_dIn_{1-c-d}$ P 膜 ($0 < c < 1$ 、 $0 < d < 1$ 、かつ $0 < c + d < 1$)、第 2 クラッド層 (p-clad) 106 は p 型 $Al_eGa_fIn_{1-e-f}$ P 膜 ($0 < e < 1$ 、 $0 < f < 1$ 、かつ $0 < e + f < 1$)、電流狭窄層 107 は n 型 $Al_gGa_hIn_{1-g-h}$ P 膜 ($0 < g < 1$ 、 $0 < h < 1$ 、かつ $0 < g + h < 1$)、第 2 DBR ミラー層 (p-DBR) 108 は p 型 $Al_iGa_{1-i}As$ 層及び p 型 $Al_jGa_{1-j}As$ 層 ($0 < i < j < 1$) を交互に複数積層した構造、コンタクト層 110 は p 型 GaAs 層とすることができる。

10

【0015】

また活性層 105 は、量子井戸層とバリア層を交互に複数積層した量子井戸構造とすることができる。量子井戸層は、例えばアンドープの $AlGaIn_{1-...}P$ 膜 ($0 < ... < 1$ 、 $0 < ... < 1$ 、かつ $0 < ... + ... < 1$) により形成され、バリア層はアンドープの $AlGaIn_{1-...}P$ 膜 ($0 < ... < 1$ 、 $0 < ... < 1$ 、かつ $0 < ... + ... < 1$) により形成される。

【0016】

n 型の第 1 DBR ミラー層 (n-DBR) 103 及び p 型の第 2 DBR ミラー層 (p-DBR) 108 は、異なる屈折率を有する膜を交互に積層した構造とすることができる。その積層数を増加させることで DBR 層の光の反射率を高めることができるため、反射率の低い DBR 層、すなわち積層数の少ない DBR 層側 (本実施形態では第 2 DBR ミラー層 108 側) より光を出射することができる。つまり、基板 101 側に位置する第 1 DBR ミラー層 103 の反射率は高いほど良い。また、光出射側の第 2 DBR ミラー層 108 の反射率が高いほど FFP は狭くなるが、高すぎると発光出力が低下してしまう。また、DBR 層の構成は、DBR 層で反射率が最大となるように設定している。

20

【0017】

また、活性層 105 を、所定の間隔で配置した第 1 DBR ミラー層 103 及び第 2 DBR ミラー層 108 に挟んだ構造とすることで、共振器構造となる。

30

【0018】

活性層 105 から下方に射出した波長 λ の光は第 1 DBR ミラー層 103 によって反射される。第 1 DBR ミラー層 103 からの反射した波長 λ の光、及び活性層 105 から上方に射出した波長 λ の光は第 2 DBR ミラー層 108 に入射する。第 2 DBR ミラー層 108 に入射した波長 λ の光は反射し、第 1 DBR ミラー層 103、第 2 DBR ミラー層 108 間に光の定在波を形成する。そして、第 2 DBR ミラー層 108 の反射率を第 1 DBR ミラー層 103 の反射率に対して低くすることで、第 2 DBR ミラー層 108 に入射した波長 λ の光の一部を第 2 DBR 層 108 の上面側より出射することができる。この共振型発光ダイオードから発光される光は、ある波長 λ の光が共振により増幅されているため、発光スペクトルの波長幅が狭く、発光強度の強い光となる。

40

【0019】

本実施の形態では、活性層の上方に電流狭窄層 107 を設けた電流狭窄構造としている。この電流狭窄層 107 は開口部を有し、その開口部が電流通路となっている。この電流狭窄層により、コンタクト層 110 から注入される電流は電流狭窄層 107 の開口部領域に狭窄されるため、開口部の直下の活性層の電流 (キャリア) 密度を高めることができる。そのため、発光出力が高く、かつ応答速度の速い発光素子とすることができる。また、活性層より発光した光は電流狭窄層 107 の開口部に設けられた第 2 DBR ミラー層 108 と活性層 105 下方の第 1 DBR ミラー層 103 間で共振し、その共振された光の一部が電流狭窄層 107 の開口部から上部に出射される。そして電流狭窄層 107 の開口部とコンタクト層 110 及びオーミック電極に設けられた開口部とが重複しているため、電極層

50

による光の吸収が抑制され、発光出力が高まっている。

【0020】

次に、FFPを制御するためのパラメータの設計方法について説明する。

【0021】

DBRミラー層は、垂直方向への反射率を基準に設計される。この時、DBRミラー層が設計波長に対して最大の反射率を持つ波長をDBRの中心波長としてDBRの帯域が形成される。DBRの帯域とは、前記DBRの中心波長から前記最大の反射率が半分になる波長までの波長の間隔であり、短波側と長波側の合計である。

しかし、DBRミラー層は前記垂直方向に対して斜め方向にも反射率を持つ。この斜め方向への反射率は、設計波長に対しては低下してしまい、その最大反射率を持つ波長は短波へシフトしてしまう。このため、DBRの中心波長を斜め方向への反射率を考慮せずに設計すると、斜め方向の共振が強くなり、結果として、FFPにおいて、斜め方向の光が強くなってしまふことが分かった。

10

【0022】

そこで、本発明では、発光波長と共振器長を決めたときのDBRの中心波長と帯域を適切に設計することにより、RCLEDにおけるFFPを所望の形状に制御することが可能となる。特に、点光源のセンサー用途として好適な特性として、FFPの形状を狭く制御することが可能となる。

【0023】

以下に詳細に説明する。

20

活性層のPLスペクトルを好適に観察できるサンプルを準備し、PL測定装置によりPLスペクトルのピーク波長PLを測定する。PL測定装置は、PHILIPS社製PLM-100を用いた。これによって測定したPLを設計波長と定める。測定したPLスペクトルの例を図1に示す。このPLを変更すると、他のパラメータも全て変更となるので最初に決めるのが良い。

【0024】

第1DBRミラー層103と第2DBRミラー層108の最短間隔A、即ち第1DBRミラー層103と第2DBRミラー層108で挟まれた層の厚みを合計した厚みが、共振器長となる。この共振器長をLとし、共振器内の平均屈折率をn(ave)とし、mを自然数とし、Xmを共振器調整係数とすると、下記式(1)が成り立つ。

30

$$L = ((m/4) - X_m) \times PL / n(ave) \dots (1)$$

ここで平均屈折率n(ave)は、共振器内に含まれる層(本実施の形態では、第1クラッド層104、活性層105及び第2クラッド層106である)を別途基板上に成膜し、エリブソメーターにて各層の屈折率を測定し、共振器内の各層の厚みに応じた重み付き平均を計算することで定義する。

【0025】

共振を強めるためには、上記式(1)においてmを4~8とし、Xmを0とするのが好適である。mが3以下ではキャリアの閉じ込めが不十分で発光効率が低下し、mが9以上では、共振器長が長くなり、共振効果が低下するためである。

このmの値から、XmXをプラス、すなわち共振器長Lを長くすると、共振波長は長くなるが、斜め方向に共振する波長が増え、FFPが広がる傾向となるので望ましくない。また、Xmをマイナス、すなわち共振器長を短くすると、共振波長は短くなるが、斜め方向の共振が起きずFFPは狭まる傾向となる。ただし、共振器長を短くしすぎると、共振効果が低下するため、発光出力の低下を招くので望ましくない。例えば、本発明の望ましい((m/4) - Xm)の範囲は、mが6のとき、1.4~1.55である(Xm = -0.1~+0.05)。そしてmが小さく共振器長が小さければ調整係数Xmの範囲も狭くなり、mが大きく共振器長が大きければ調整係数Xmの範囲も大きくなる。Xmは自然数m(4~8)によって表される下記式の範囲が好ましい。

40

$$-0.1 \times m / 6 \leq X_m \leq 0.05 \times m / 6$$

【0026】

50

DBRの中心波長を λ_{cnt} とすると、その範囲を下記式(2)のようにすることにより、RCLEDにおけるFFPの形状を狭く制御することが可能となる。なお、 m が4~8の間であれば下記式(2)は成り立つ。

$$\lambda_{PL} < \lambda_{cnt} \text{ (単位: nm)} \quad \lambda_{PL} + 10 \cdots (2)$$

ここで λ_{cnt} は、第1DBRミラー層及び第2DBRミラー層の反射率が最大になる波長であり、反射率測定装置を用いて測定する。反射率測定装置は、PHILIPS社製PLM-100を用いた。測定した反射率スペクトルの例を図2に示す。

【0027】

なお、本発明は上記実施の形態及び上記実施例に限定されず、本発明の主旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施することが可能である。

【実施例】

【0028】

図3に示すRCLEDを、実施例1~5及び比較例1~5のような設計パラメータで作製した。図4(A)は、実施例1のFFPを示す図であり、図4(B)は、比較例2のFFPを示す図である。ここでFFPの測定は、チップとディテクターの距離を20cmとし、LEDを回転させることで行った。なお、図4(A)には、最大強度の50%の強度の位置から求める広がり角度 2θ を図示した。実施例1では、図4(A)に示すようにFFPの形状を狭く制御することができたのに対し、比較例2では、図4(B)に示すようにFFPの形状を狭く制御することができなかった。

【0029】

表1は、実施例1~5で用いた設計パラメータを示している。表2は、比較例1~5で用いた設計パラメータを示している。

【0030】

【表1】

設計パラメータ	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5
λ_{PL} (nm)	865	865	865	855	875
L(nm)	$1.475 \cdot \lambda_p/n(\text{ave})$ ($m=6, X_m=-0.025,$ ($m/4$)- $X_m=1.475$)	$1.4 \cdot \lambda_p/n(\text{ave})$ ($m=6, X_m=-0.1,$ ($m/4$)- $X_m=1.4$)	$1.55 \cdot \lambda_p/n(\text{ave})$ ($m=6, X_m=+0.05,$ ($m/4$)- $X_m=1.55$)	$1.475 \cdot \lambda_p/n(\text{ave})$ ($m=6, X_m=-0.025,$ ($m/4$)- $X_m=1.475$)	$1.475 \cdot \lambda_p/n(\text{ave})$ ($m=6, X_m=-0.025,$ ($m/4$)- $X_m=1.475$)
λ_{cnt} (nm)	870	870	870	860	885
特性(@16mA)	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5
P_o (mW)	0.90	0.75	1.14	0.80	0.84
V_f (V)	1.71	1.72	1.73	1.76	1.76
λ_p (nm)	850	847	861	847	865
$\Delta\lambda$ (nm)	8.0	7.9	8.5	8.2	7.8
2θ (°)	77	75	82	77	80

【0031】

10

20

30

【表 2】

設計パラメータ	比較例1	比較例2	比較例3	比較例4	比較例5
$\lambda_{PL}(\text{nm})$	865	855	875	865	865
L(nm)	$1.6 \cdot \lambda_p/n(\text{ave})$ ($m=6, X_m=+0.1,$ ($m/4$)- $X_m=1.6$)	$1.475 \cdot \lambda_p/n(\text{ave})$ ($m=6, X_m=-0.025,$ ($m/4$)- $X_m=1.475$)	$1.475 \cdot \lambda_p/n(\text{ave})$ ($m=6, X_m=-0.025,$ ($m/4$)- $X_m=1.475$)	$1.35 \cdot \lambda_p/n(\text{ave})$ ($m=6, X_m=-0.15,$ ($m/4$)- $X_m=1.35$)	$1.475 \cdot \lambda_p/n(\text{ave})$ ($m=6, X_m=-0.025,$ ($m/4$)- $X_m=1.475$)
$\lambda_{cnt}(\text{nm})$	870	870	870	870	865
特性(@16mA)	比較例1	比較例2	比較例3	比較例4	比較例5
$P_o(\text{mW})$	1.31	1.40	0.55	0.60	0.79
Vf(V)	1.75	1.72	1.71	1.71	1.75
$\lambda_p(\text{nm})$	876	864	850	842	853
$\Delta\lambda(\text{nm})$	10.0	7.5	8.0	7.8	8.2
$2\theta(^{\circ})$	125	103	78	77	85
劣っている点	共振器長が長く、 2θ 広がる	λ_{PL} に対し、 λ_{cnt} が長波で、 2θ 広がる	λ_{PL} に対し、 λ_{cnt} が短波で、 共振効果↓(P_o ↓)	共振器長が短く、 共振効果↓(P_o ↓)	λ_{PL} に対し、 λ_{cnt} が同じで、 2θ 広がる傾向

10

【0032】

表 2 に示すように、比較例 1 では、共振器長 L が長く、 2θ が大きいので、FFP 形状を狭くすることができない。また、比較例 2 では、設計波長 λ_{PL} に対して λ_{cnt} が長波長で、 2θ が大きくなるので、FFP 形状を狭くすることができない。また、比較例 3 では、 2θ が小さくて FFP 形状を狭くできるが、設計波長 λ_{PL} に対して中心波長 λ_{cnt} が短波長で、発光出力 P_o が低く、共振効果が低いので RCLLED として望ましくない。また、比較例 4 では、共振器長 L が短く、共振効果が低いので RCLLED として望ましくない。また、比較例 5 では、設計波長 λ_{PL} と中心波長 λ_{cnt} が同じで、 2θ が大きいので、FFP 形状を狭くすることができない。

20

【0033】

これに対し、実施例 1 ~ 5 では、表 1 に示すように、前記式 (1) の $((m/4) - X)$ の範囲を、 $1.4 \sim 1.55$ とすることが望ましい。これは、m が 6 のとき、X が $-0.1 \sim +0.05$ の範囲である。そして、DBR の中心波長 λ_{cnt} は、前記式 (2) の範囲とすることが望ましい。これにより、実施例 1 ~ 5 では、発光出力 P_o を大きくし、且つ 2θ を小さくすることができる。従って、発光出力が高い状態で FFP の形状を狭く制御した RCLLED を実現することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図 1】活性層の PL スペクトルの例を示す図。

【図 2】DBR ミラー層の反射スペクトルの例を示す図。

【図 3】本発明の実施形態に係る発光素子の構成を説明する為の縦断面図。

【図 4】(A) は実施例 1 の FFP を示す図、(B) は比較例 2 の FFP を示す図。

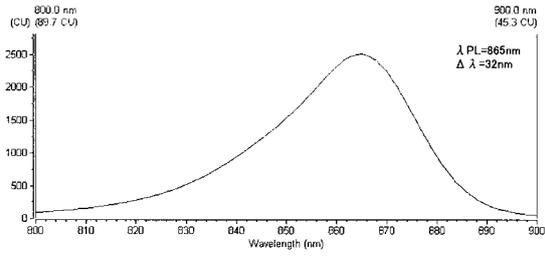
【符号の説明】

【0035】

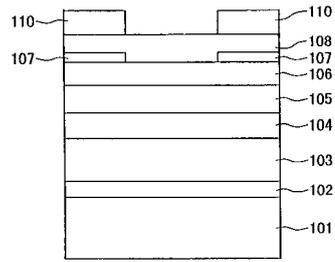
101 ... 基板、102 ... バッファ層、103 ... 第 1 DBR ミラー層、104 ... 第 1 クラッド層、105 ... 活性層、106 ... 第 2 クラッド層、107 ... 電流狭窄層、108 ... 第 2 DBR ミラー層、110 ... コンタクト層

40

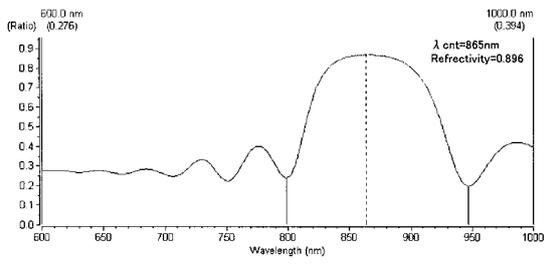
【 図 1 】



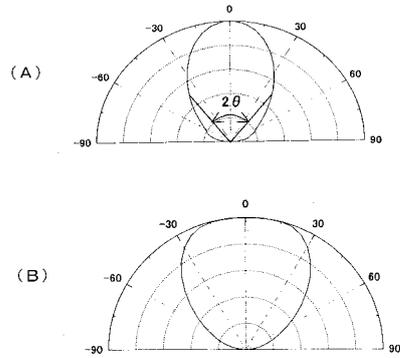
【 図 3 】



【 図 2 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 小林 良幸

東京都千代田区外神田四丁目14番1号 DOWAエレクトロニクス株式会社内

審査官 佐藤 俊彦

(56)参考文献 特開平07-193325(JP,A)
特開平11-054846(JP,A)
特開2007-087994(JP,A)
特開2001-068732(JP,A)
特開平09-326505(JP,A)
特表平08-508137(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64

H01S 5/00 - 5/50