

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5550558号
(P5550558)

(45) 発行日 平成26年7月16日 (2014. 7. 16)

(24) 登録日 平成26年5月30日 (2014. 5. 30)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 33/34 (2010. 01)

H O 1 L 33/00 1 8 8

H O 1 L 33/60 (2010. 01)

H O 1 L 33/00 4 3 2

H O 1 L 31/0232 (2014. 01)

H O 1 L 31/02 C

G O 2 B 6/42 (2006. 01)

G O 2 B 6/42

請求項の数 6 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2010-531626 (P2010-531626)
 (86) (22) 出願日 平成20年10月31日 (2008. 10. 31)
 (65) 公表番号 特表2011-503842 (P2011-503842A)
 (43) 公表日 平成23年1月27日 (2011. 1. 27)
 (86) 国際出願番号 PCT/IB2008/054534
 (87) 国際公開番号 W02009/057075
 (87) 国際公開日 平成21年5月7日 (2009. 5. 7)
 審査請求日 平成23年8月30日 (2011. 8. 30)
 (31) 優先権主張番号 2007/09436
 (32) 優先日 平成19年11月1日 (2007. 11. 1)
 (33) 優先権主張国 南アフリカ (ZA)

(73) 特許権者 510098261
 インシアヴァ (ピーテーワイ) リミテ
 ッド
 南アフリカ共和国, 0083 プレトリア
 , ヒルクレスト, リンウッド ロード, ユ
 ニバーシティ オブ プレトリア, グラ
 ジュエイト センター ファースト フロ
 アー
 (74) 代理人 100094112
 弁理士 岡部 譲
 (74) 代理人 100085176
 弁理士 加藤 伸晃
 (74) 代理人 100104352
 弁理士 朝日 伸光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光誘導機構を有するオプトエレクトロニック・デバイスおよびその機構を形成する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体材料の表面および領域、ならびに前記表面の一方の側の発光源を有する本体からなる発光素子のための光誘導機構を形成する方法において、

光の通路を画定する光誘導機構を前記表面の一方の側とは反対側に隣接して形成するステップであって、前記光誘導機構を前記表面上に光反射材料の層および絶縁材料の層を交互に堆積することによって形成し、光反射材料の層の露出した縁部を利用し、かつ、光反射材料の領域で絶縁材料の層の隣接する縁部を覆うことにより、円形横断面を有するとともに主軸を有する前記通路を画定する光反射側壁を形成する、ステップ、および

前記主軸から前記光反射材料のいずれかの一つの層の露出した端部までの距離を、前記主軸から光反射材料の前記一つの層の前記表面に向かう方向においてすぐ隣に隣接する絶縁材料の層の隣接する縁部を覆う領域までの距離以上とする、ステップからなることを特徴とする、方法。

【請求項 2】

前記表面上に光反射材料の前記層のうちの第 1 の層を堆積させ、光反射材料の前記第 1 の層を光反射材料の第 2 の層から絶縁材料の前記層のうちの第 1 の層によって分離させ、光反射材料の前記第 1 および第 2 の層の前記隣接する縁部間に金属の相互接続バイアを形成し、絶縁材料の前記第 1 の層の前記露出した縁部を覆うことによって、前記光誘導機構を前記表面上に一体化して形成する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

光反射材料の前記第 2 の層が、金属の相互接続バイアを部分的にのみ覆っている、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

それぞれ絶縁材料の層の隣接する縁部を覆う少なくともいくつかの領域および光反射材料の前記層の前記露出した縁部のための、前記通路の主軸に対する鋭角の傾斜を形成するステップを含む、請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 5】

絶縁材料の層の隣接する縁部を覆う領域のための前記傾斜および光反射材料の前記層の露出した縁部のための前記傾斜が、放物線の形態のプロファイルを前記通路に与えるように配置され、前記絶縁材料の層の隣接する縁部を覆う領域のための前記傾斜および光反射材料の前記層の前記露出した縁部のための前記傾斜の角度が一定であり、前記通路の前記主軸と前記傾斜との間の距離が、前記角度と前記放物線上の対応する場所における前記放物線の接線との間の差を最小にするように選択される、請求項 4 に記載の方法。

10

【請求項 6】

絶縁材料の層の隣接する縁部を覆う領域のための前記傾斜および光反射材料の前記層の露出した縁部の前記傾斜が、放物線の形態のプロファイルを前記通路に与えるように配置され、前記絶縁材料の層の隣接する縁部を覆う領域のための前記傾斜のそれぞれの角度および光反射材料の前記層の前記露出した縁部のそれぞれの角度が、前記放物線上の対応する場所における前記放物線の接線に近づくように変化する、請求項 4 に記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はオプトエレクトロニック・デバイスに関し、より詳細には、光を誘導するための機構を含むデバイスに関する。本発明は、さらに、オプトエレクトロニック・デバイス用の光誘導機構を形成する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

1 つの既知のタイプの発光デバイスはシリコンの本体に接合を含み、その接合はなだれまたは電界放出破壊モードで駆動され、それによって光を放出するように構成される。これらのデバイスに関連する問題は、酸化ケイ素 - 空気界面での内面反射の臨界角が材料の屈折率によって決定されることである。シリコンおよび空気では、臨界角はわずかに約 15.3° であり、放出の立体角を考慮に入れると、それは、デバイスによって生成された光の約 1.8% しか表面から出て行かないことになることを意味する。この光の大部分は、本体の表面から、その表面と実質的に平行に出て行き、したがって、離間した光ファイバの入力部にこの光を効率的に結合するのは困難である。

30

【0003】

半導体 p n 接合ダイオードの光検出器が動作する速度は固有の接合容量と相関関係にあることも知られている。検出用 p n 接合のサイズを低減することによって、固有の p n 接合容量を低減することができ、検出用ダイオード・デバイスは、より高いスイッチング周波数で動作することができる。しかし、同時に、検出器の感知面積も低減し、その結果、検出される光信号がより小さくなり、それは望ましくない。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

したがって、本発明の目的は、前述の欠点を少なくとも緩和することができると出願人が考えるオプトエレクトロニック・デバイスおよびそのデバイス用の光誘導機構を形成する方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明によれば、間接遷移半導体材料の表面および領域を有する本体と、表面の一方の

50

側の光子活性領域と、表面の反対側に隣接する光誘導機構とを含むオプトエレクトロニック・デバイスが提供される。

【0006】

光子活性領域は、発光領域および光検出領域の少なくとも一方とすることができる。

【0007】

間接遷移材料は、Si、Ge、およびSiGeのうちの1つとすることができるが、それらに限定されない。好ましい一実施形態では、材料はSiとすることができ、光子活性領域はシリコン材料中に形成されたpn接合を含むことができ、光誘導機構は表面上の光送出区域を囲むことができる。他の実施形態では、間接遷移材料の領域または本体上の不活性化層、例えば二酸化ケイ素の層に埋め込まれたシリコン・ナノ結晶などの他の形態の光子活性領域を使用することができる。

10

【0008】

光誘導機構は、例えば標準CMOSプロセスを使用することによって表面上に一体化して形成することができる。

【0009】

実施形態によっては、オプトエレクトロニック・デバイスは発光デバイスとすることができ、pn接合は、使用中、光送出区域を通して光誘導機構の方に光を送出するための発光源である。

【0010】

他の実施形態では、オプトエレクトロニック・デバイスは光検出器デバイスとすることができ、pn接合は、使用中、光誘導機構から光送出区域を通して光を受け取るための光検出器である。

20

【0011】

光誘導機構は、光の通路を画定する光反射側壁を形成する光反射材料および絶縁材料の交互層の構造体を含むことができ、光の通路は区域と光連通関係にあり、通路の横断面積は区域から離れる方向において増加する。

【0012】

光反射材料は、アルミニウム、銅、金、およびポリシリコンからなる群から選択することができる。

【0013】

側壁は、光反射材料の環状領域が絶縁材料の層の隣接する縁部を覆うことによって連結される光反射材料の層の露出した縁部を含むことができる。覆う光反射材料は光反射層の材料と同じとすることができる。

30

【0014】

露出した縁部および環状領域のうちの少なくともいくつかは、通路の主軸に対して鋭角で傾斜することができる。好ましくは、環状領域および露出した縁部はすべて主軸に対して傾斜する。好ましい実施形態では、角度は区域から離れる方向において減少する。

【0015】

本発明の別の態様によれば、間接遷移半導体材料の表面および領域を有する本体と、表面の一方の側の光子活性領域とを含むオプトエレクトロニック・デバイスのための光誘導機構を形成する方法が提供され、この方法は、表面上の光送出区域を囲み、光の通路を画定するように表面の反対側に光反射材料の少なくとも1つの層を形成するステップを含む。

40

【0016】

この方法は、通路を画定するように光反射材料の1つを超える重畳された層を形成し、隣接する層を絶縁材料の中間層によって互いから離間させるステップを含むことができる。

【0017】

この方法は、通路に隣接する中間層の縁部を光反射材料で覆うステップを含むことができる。

50

【 0 0 1 8 】

この方法は、覆われた縁部、および通路に隣接する光反射材料の層の縁部のうちの少なくともいくつかに通路の主軸に対して鋭角の傾斜を与えるステップを含むことができる。

【 0 0 1 9 】

この機構は、従来の C M O S 技術を利用し、表面上に光反射材料の層のうちの第 1 の層を堆積させ、光反射材料の第 1 の層を光反射材料の層のうちの第 2 の層から前記中間層のうちの 1 つによって分離させ、バイア輪郭を利用して第 1 の層と第 2 の層との間にバイアを形成し、通路に隣接する中間層の縁部を覆い、それぞれバイアおよび光反射材料の層の縁部のための傾斜を形成することによって形成することができる。

【 0 0 2 0 】

この方法の一形態では、バイアのための傾斜および光反射材料の層のための傾斜は、放物線の形態のプロファイルを通路に与えるように配置することができ、バイアのための傾斜および光反射材料の層の縁部のための傾斜の角度は一定とすることができ、通路の主軸と傾斜との間の距離は、前記角度と放物線上の対応する場所における放物線の接線との間の差を最小にするように選択することができる。

【 0 0 2 1 】

この方法の別の形態では、バイアのための傾斜および光反射材料の層の傾斜は、さらに、放物線の形態のプロファイルを通路に与えるように配置することができるが、バイアのための傾斜の角度および光反射材料の層の縁部のためのそれぞれの角度は、放物線上の対応する場所における放物線の接線に近づくように変化することができる。

【 0 0 2 2 】

次に、本発明が、単に例として、添付の図を参照しながらさらに説明される。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 3 】

【 図 1 】シリコンの本体に p n 接合の形態で光源を含む従来技術の発光デバイスの概略図である。

【 図 2 】放出光誘導機構を含む発光デバイスの形態の本発明によるオプトエレクトロニクス・デバイスの第 1 の実施形態による概略断面図である。

【 図 3 】機構の一実施形態のいくつかの寸法と角度との間の関係を示す図である。

【 図 4 】放出光誘導構造体の一部を形成する複数の光反射層を示す概略図である。

【 図 5 】構造体のさらに詳細な断面図である。

【 図 6 】 (a) 及び (b) は構造体によって画定される光の通路の側壁上への傾斜面の形成を示す図である。

【 図 7 】構造体のさらに詳細な断面図である。

【 図 8 】構造体の別の実施形態の概略図である。

【 図 9 】従来技術の光検出器の概略図である。

【 図 1 0 】照射光誘導機構を含む光検出器の形態の本発明によるオプトエレクトロニクス・デバイスの第 2 の実施形態による概略断面図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 4 】

背景として、既知のシリコン発光デバイス 1 0 の光放射パターンが図 1 に示される。本明細書の冒頭で述べたように、酸化ケイ素 - 空気界面での内面反射の臨界角 はわずかに約 15.3° である。その結果、シリコンの本体 1 4 中の接合 1 2 で生成された光の約 1 . 8 % しか本体の表面 1 6 から出て行かない。その光の大部分は表面 1 6 と実質的に平行な方向に表面から出て行き、したがって、離間した光ファイバ 1 9 の入力部 1 8 にその光を結合させるのは困難である。

【 0 0 2 5 】

図 2 を参照すると、発光デバイス 2 0 の形態の本発明によるオプトエレクトロニクス・デバイスは、S i、G e、および S i G e などの間接遷移材料の表面 1 6 および領域 1 4 を有する本体と、その表面の一方の側の発光源 1 2 と、表面 1 6 の反対側に隣接する放出

10

20

30

40

50

光誘導機構 22 とを含む。放出光誘導機構は、通路 24 に沿って、表面から離れる光を集束するように働き、その結果、光を光ファイバ 19 の入力部 18 により効率的に結合することができる。

【0026】

本明細書に示される実施形態では、領域 14 上の不活性化層は必ずしも示されない。不活性化層を設けることができ、その場合、前述の表面は領域 14 から隔たった層の表面となることが当業者なら理解されよう。

【0027】

放出光誘導機構は、以下でより詳細に説明されるように、表面の前述の反対側に一体化して形成される。機構 22 は、交互の光反射材料の層 28 . 1 から 28 . 4 および絶縁材料の層 30 . 1 から 30 . 4 の構造体 26 を含む。光反射材料は、アルミニウム、銅、金、およびポリシリコンからなる群から選択することができる。絶縁材料は酸化物とすることができる。

10

【0028】

構造体 26 は、表面 16 上の光送出区域 34 を囲む実質的にカップ形状の側壁 32 を含む。壁 32 は、区域 34 を通って表面に垂直に延びる主軸 36 を有する通路 24 を画定する。通路 24 はこの区域と光連通関係にある。

【0029】

側壁 32 上の反射点 R における角度間の関係は、

【数 1】

20

$$\gamma = 45 + \frac{\theta}{2} = \frac{90 + \theta}{2} \quad \text{度}$$

であり、点 R における構造体の接線は、

【数 2】

$$\text{Slope} = \frac{dy}{dx} = \tan(\gamma) = \frac{\cos \theta}{1 - \sin \theta} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2} - y}$$

30

によって与えられることが図 3 から導出される。前述の式を使用して、壁 32 上の点における構造体 26 の物理的形狀を計算することができる。

【0030】

標準 CMOS 技術では、金属導体層（通常、アルミニウム）を使用して構造体湾曲を近似することができる。4つの金属層 28 . 1 から 28 . 4 がある場合、反射器構造は図 4 に示されるようになるはずである。CMOS 技術では、表面 16 上の金属層 28 . 1 から 28 . 4 の平均高さ y_1 、 y_2 、 y_3 、および y_4 は処理順序によって定められる。放出角の値ごとに（図 3 を参照）、横方向寸法 x_n の対応する値を、所与の y_n に対して計算することができる。最上部金属層 28 . 4 により、用途に応じて反射されるべき最大放出角が決定され、 x_n （図 4 の例では $n = 4$ ）のこの値から、他の横方向寸法 x_1 から x_3 を決定することができる。

40

【0031】

図 5 を参照すると、反射面積を増加させ、かつ金属層 28 . 1 から 28 . 4 の間の酸化物界面 30 . 1 から 30 . 4 に光が入らないようにするために、隣接する金属層間の接続に通常通り役立つ相互接続バイア 40 が使用される。図 5 に示された構造体 26 では、すべてのレイアウト規則に従い、すなわち、金属層 28 . 1 から 28 . 4 はバイア 40 を完全に覆い、充填する。図 5 では、追加層、すなわちポリシリコン層 42 が反射層として使用される。金属層 28 . 1 は、金属製接触部 54 を介してポリシリコン層 42 に接触する。

【0032】

50

改善された集束作用を得るために、通路 24 に隣接する金属層 28 . 1 から 28 . 4 の縁部、および分離層 30 . 1 から 30 . 4 の隣接する縁部を被覆するためにバイアを充填する金属 40 の縁部に傾斜を与えることができる。

【0033】

反射表面の非垂直傾斜を達成するために、CMOS レイアウト規則を破ることができる。破る規則はバイア形成および金属堆積後の金属エッチングのマスク輪郭である。図 6 (a) を参照すると、これは、金属マスク 50 がバイア輪郭 40 を完全に覆うのではなく、バイアの領域内で通路から離してバイアを単に部分的に覆うことによって行うことができる。これは、特有の部分的に覆われたバイアによって、電氣的機能ではなく機械的 / 光学的機能だけが行われることになるので行うことができる。

10

【0034】

図 6 (b) を参照すると、金属のエッチングの後、残っている金属は垂直または軸 36 に対して角度 θ の非垂直傾斜 52 を有することになり、したがって、垂直の方に光を照射する反射を引き起こすことになる。図 6 (a) および (b) を参照しながら説明および図示した手順は、すべての金属層 28 . 1 から 28 . 4、ならびに金属製接触部 54 からポリシリコン層まで使用することができることが理解されよう。角度 θ は、表面 16 から離れる方向において減少させることができる。

【0035】

図 7 に、上文で説明した手順に由来する構造体 22 が示される。この場合、利用可能な光信号の多くは実質的に垂直の方に誘導されるが、恐らく細いビームではないことが予想される。

20

【0036】

金属縁部の比較的急峻な傾斜 52 のため、出口角が小さい場合、この構造体はより良好な性能を与えることができることが理解されよう。

【0037】

図 8 に、構造体 22 の別の実施形態が示される。この構造体は、実質的に放物線 P の形態のプロファイルをもつ通路 24 を画定し、光源 12 は焦点にある。直交座標系の原点 (0, 0) に焦点を設定すると、放物線の

$$y = ax^2 - 1/4a$$

が与えられる。

30

【0038】

いくつかの標準半導体処理技術では、金属高さおよびバイア高さが一定であること、ならびに側壁 32 を形成する層の傾斜が一定角度であることが要求され、そのため、唯一の設計自由度として軸 36 から層の内側縁部までの水平距離 x が残される。

【0039】

図 8 は、ポリシリコン層 42、接触部 54、金属層 28 . 1 から 28 . 4、およびバイア相互接続層 40 の傾斜した内側縁部を放物線 P に位置合わせすることができ、その結果、それらは、放物線の焦点にある光源 12 からの光線を、焦点を通る放物線の対称軸 36 と平行に上に向かって垂直に反射する。

【0040】

40

放物線変数 a と、放物線の対称軸 36 からの距離 x_p 、 x_c 、 x_{m1} 、 x_{v1} 、 x_{m2} 、 x_{v2} 、 x_{m3} 、 x_{v3} 、および x_{m4} とを変更すると、内側縁部の一定角度と放物線上の対応する場所における放物線の接線との間の差が最小になるような最適距離を見いだすことが可能になる。

【0041】

上述の手順は、各金属縁部がその真下の層よりも放物線の対称軸 36 から常に遠くなるようにしながら (すなわち、 $x_p < x_c < x_{m1} < x_{v1} < x_{m2} < x_{v2} < x_{m3} < x_{v3} < x_{m4}$) 遂行可能である。

【0042】

金属縁部が急峻であるほど、放物線変数 a は大きく、放物線および結果として生じる出

50

射光ビームは狭くなる。

【 0 0 4 3 】

他の実施形態では、傾斜が増大している、言い換えれば角度（図 6（b）を参照）が減少している層の内側縁部を提供することを可能にすることができ、その結果、縁部の角度は放物線上の対応する場所における放物線の接線に近づく。そのような場合、層の縁部は関連する点における放物線の接線と実質的に一致するように形成することができる。

【 0 0 4 4 】

通路 2 4 は、半透明の物質、好ましくは透明な物質、例えば二酸化ケイ素などで充填することができる。

【 0 0 4 5 】

図 9 は、光ファイバ 6 4 から放出される光を収集する従来技術または従来の光検出器 6 0 を示す。比較的大きい p n 接合域 6 2 が、大部分の光信号を収集するのに必要である。本明細書の冒頭部で述べたように、半導体 p n 接合ダイオードの光検出器が動作する速度は固有の接合容量と相関関係にあることが知られている。検出用 p n 接合 6 2 のサイズを低減することによって、固有の p n 接合容量を低減することができ、検出用ダイオード・デバイスは、より高いスイッチング周波数で動作することができる。しかし、同時に、検出器の感知面積も低減し、その結果、検出される光信号がより小さくなり、それは満足のいくものではない。

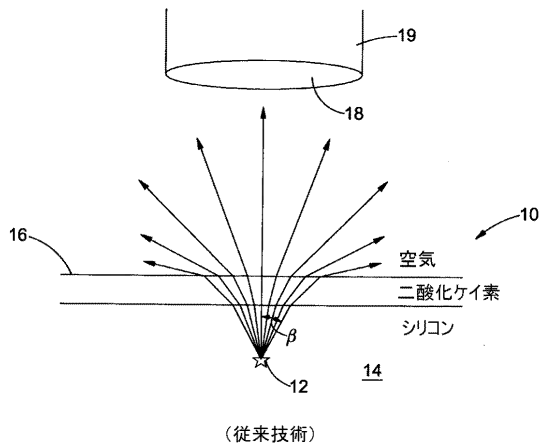
【 0 0 4 6 】

図 1 0 を参照すると、光を照射するための集光器 6 6 の形態の上文で説明したような光誘導機構が光検出器 7 0 に設けられる。集光器 6 6 を使用することによって、光感知面積 6 8 は依然としてかなり大きくすることができるが、検出器 p n 接合 6 2 は小さくすることができる。これは、実質的に同じ量の光エネルギーをより大きい動作周波数で検出できることを意味する。より詳細には、集積化された C M O S 技術集光器 6 6 は、実質的に同じ光信号パワーを非常に小さい p n 接合ダイオード検波器 6 2 上に集中させ、それにより、より小さい検出器容量のためより高い周波数の動作がもたらされる。

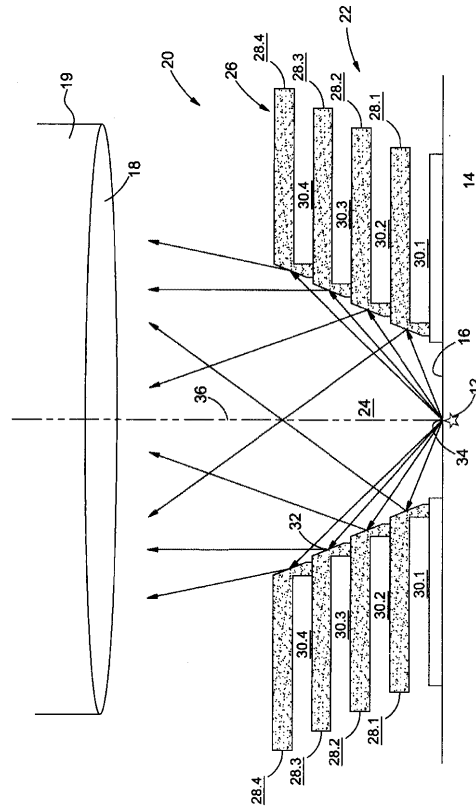
10

20

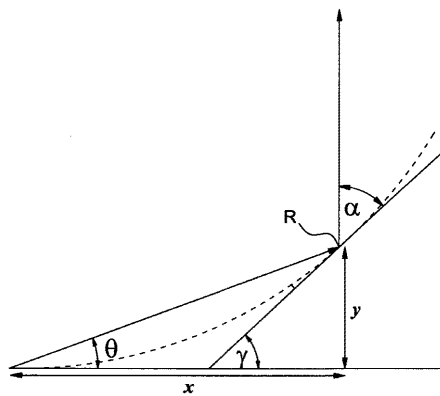
【図 1】



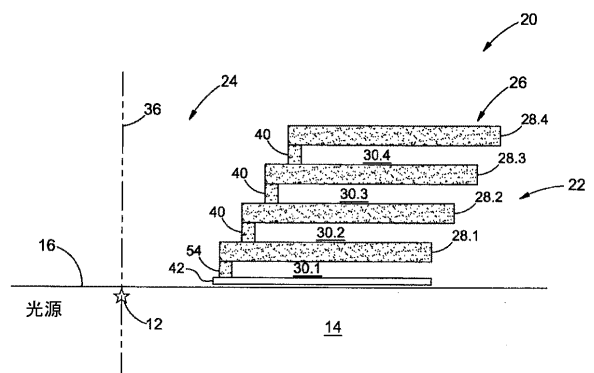
【図 2】



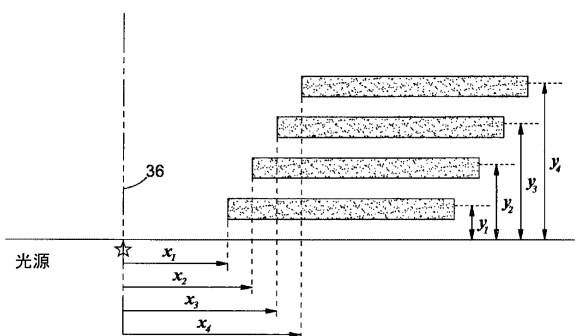
【図 3】



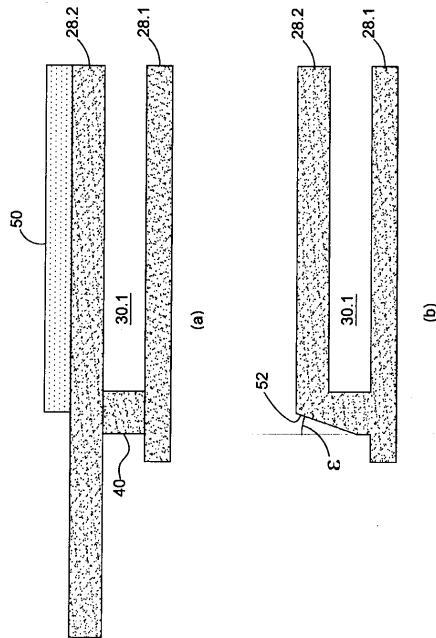
【図 5】



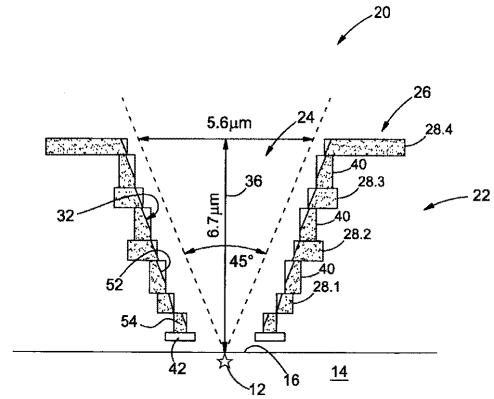
【図 4】



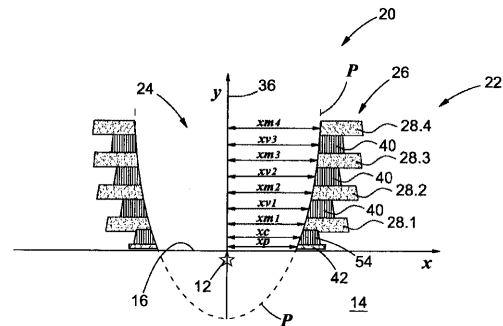
【図 6】



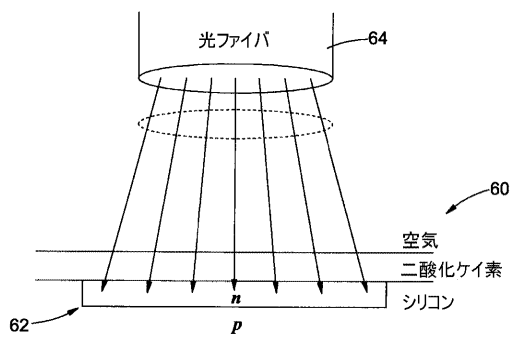
【図 7】



【図 8】

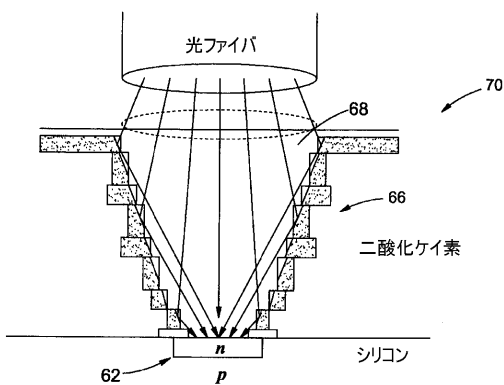


【図 9】



(従来技術)

【図 10】



フロントページの続き

(74)代理人 100128657

弁理士 三山 勝巳

(74)代理人 100160967

弁理士 濱 口 岳久

(72)発明者 デュ プレシス, モヌコ

南アフリカ共和国, 0044 プレトリア, ウッドランズ エステート モアレータ パーク, ロ
ックウッド クレセント 228

(72)発明者 グレイヴェンステイン, レイ, フレードリック

南アフリカ共和国, 0002 プレトリア, ムクレネウク, ベレア ストリート 602

(72)発明者 ボガレキ, アルフォンズ, ウィリ

南アフリカ共和国, 0002 プレトリア, ハトフィールド, グリン ストリート 356

審査官 下村 一石

(56)参考文献 特開2006-005091(JP, A)

特開2004-221532(JP, A)

特開2001-267544(JP, A)

特開2002-043632(JP, A)

特開平11-345999(JP, A)

特開2005-322733(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L33/00-33/64