

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4518987号  
(P4518987)

(45) 発行日 平成22年8月4日(2010.8.4)

(24) 登録日 平成22年5月28日(2010.5.28)

(51) Int.Cl. F 1  
**G 0 2 B 6 / 1 2 2 ( 2 0 0 6 . 0 1 )** G O 2 B 6 / 1 2 A

請求項の数 4 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2005-83691 (P2005-83691)	(73) 特許権者	000231073
(22) 出願日	平成17年3月23日 (2005. 3. 23)		日本航空電子工業株式会社
(65) 公開番号	特開2006-267385 (P2006-267385A)		東京都渋谷区道玄坂 1 丁目 2 1 番 2 号
(43) 公開日	平成18年10月5日 (2006. 10. 5)	(74) 代理人	100121706
審査請求日	平成19年10月30日 (2007. 10. 30)		弁理士 中尾 直樹
		(74) 代理人	100128705
			弁理士 中村 幸雄
		(74) 代理人	100066153
			弁理士 草野 卓
		(74) 代理人	100100642
			弁理士 稲垣 稔
		(72) 発明者	須田 篤史
			東京都渋谷区道玄坂 1 丁目 2 1 番 2 号 日 本航空電子工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

表面にクラッド層を備え、前記クラッド層の一部に形成された導波路から漏れた放射損失光を除去するために前記クラッド層の一部を除去したクラッド層除去部を有する光導波路素子において、

前記導波路内を伝搬する光の強度が最大となる前記導波路の中心の光導波路素子の表面との距離を  $b$ 、前記導波路の中心の深度で光導波路素子表面と平行に伝搬した光が、放射側面から放射する点と、当該放射側面と対向するクラッド層除去部の側面である再入射側面に当該光が入射する点との光導波路素子表面に平行方向の距離を  $a$ 、前記クラッド層除去部の深さを  $d$ 、前記光導波路素子の表面の法線と前記放射側面の法線とのなす角を  $\theta_1$ 、前記光導波路素子表面の法線と前記再入射側面の法線とがなす角を  $\theta_2$ 、放射損失光の前記放射側面での入射角を  $\theta_{out}$ 、前記放射側面から放射する際の角度を  $\theta'_{out}$ 、前記再入射側面への入射角を  $\theta_{in}$ 、前記クラッド層の屈折率を  $n$  とし、 $a$ 、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  が、

$$\theta_1 > 90^\circ - \sin^{-1}(1/n)$$

かつ、

$$b \cdot \cos \theta'_{out} / \cos \theta_{out} < (b \cdot \sin \theta'_{out} / \cos \theta_{out} + a / \cos(\theta'_{out} - \theta_{out})) \tan 2 \theta_{in}$$

$$d > b$$

ただし、

$$\sin \theta'_{out} = n \cdot \sin \theta_{out}$$

$$\theta_{out} = 90^\circ - \theta_1$$

$$\theta_{in} + \theta_{out'} - \theta_{out} = 90^\circ - \theta_2$$

を満たす構造を有する前記クラッド層除去部を備えた光導波路素子。

【請求項 2】

請求項 1 記載の光導波路素子において、クラッド層除去部の深さを  $d$  とすると、

$$d \cdot \tan(\theta_1 - 45^\circ) < a - (d - b) / \tan \theta_1 + (b + e) / \tan \theta_2$$

ただし、

$$e = a \cdot \tan(\theta_{out'} - \theta_{out})$$

を満たし、

クラッド層除去部の放射損失光が放射する側面に、反射防止膜が形成されたことを特徴とする光導波路素子。

【請求項 3】

表面にクラッド層を備え、前記クラッド層の一部に形成された導波路から漏れた放射損失光を除去するために前記クラッド層の一部を除去したクラッド層除去部を有する光導波路素子において、

前記導波路内を伝搬する光の強度が最大となる前記導波路の中心の光導波路素子の表面との距離を  $b$ 、前記導波路の中心の深度での、放射損失光が放射する放射側面と、当該放射側面と対向するクラッド層除去部の側面である再入射側面との距離を  $a$ 、前記光導波路素子の表面の法線と前記放射側面の法線とのなす角を  $90^\circ$ 、前記光導波路素子表面の法線と前記再入射側面の法線とがなす角を  $\theta_2$ 、前記再入射側面への入射角を  $\theta_{in}$ 、前記クラッド層除去部の深さを  $d$ 、前記クラッド層の屈折率を  $n$  とし、 $a$  と  $\theta_2$  が、

$$\theta_2 < 90^\circ - (\tan^{-1}(b/a)) / 2$$

かつ

$$\theta_2 < \tan^{-1}(b/(d-a))$$

$$d > b$$

を満たし、

クラッド層除去部の放射損失光が放射する側面に、反射防止膜が形成されたことを特徴とする光導波路素子。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれかに記載の光導波路素子において、

前記再入射側面に反射膜が形成されたことを特徴とする光導波路素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、素子の表面にクラッド層を形成し、その一部に導波路を形成させた光導波路素子に関する。

【背景技術】

【0002】

石英、シリコン、 $\text{LiNbO}_3$  化合物半導体などの基板上に光を伝搬させる導波路として、コアとその周りにコアよりも屈折率の低いクラッドを形成させた光導波路素子がある。コアの大きさとクラッドとの屈折率差は、当該光導波路素子に光を入射または出射させる光学部品（たとえば、レーザダイオード、光ファイバなど）との整合性を考慮して定められ、たとえばシングルモードの光ファイバによって入射、出射を行う場合は、導波路中の光のモード径がおよそ  $10 \mu\text{m}$  となるように設計する。

このような光導波路素子では、ほとんどの光は導波路に沿って伝搬するが、一部は漏れ出し、放射損失光となる。特に、導波路の湾曲部分や分岐部分では、放射損失光が多くな

10

20

30

40

50

る。

【0003】

図1は、導波路の湾曲部での放射損失の概要を示す鳥瞰図であって、光導波路素子900の表面にはクラッド層902が形成されており、その一部はクラッド層よりも少し屈折率の高いコア905により導波路901が形成されている。導波路901の湾曲部では、湾曲部外側のクラッド層902への伝搬光の染み出しが大きくなり、放射損失光が増加する。図2は、Y分岐での放射損失の様子を示す鳥瞰図である。光導波路素子910の表面にクラッド層912が形成されており、その一部にY字型の導波路911が形成されている。分岐部では高次モードが励起され、分岐部以降の光伝搬での高次モードの放射により放射損失光が発生する。

10

【0004】

図3に、導波路を1つの基板上に集積化した光導波路素子の平面図を示す。光導波路素子920の表面にはクラッド層922が形成されており、2つの導波路921-1と921-2が形成されている。導波路921-1に入射された光は、導波路921-1を伝搬するが、Y分岐で生じた放射損失光の一部がクラッド層内を伝搬し、導波路921-2に入射する。この光は導波路921-2の出射光となる。また、導波路921-1の出射光の中にもクラッド層内を伝搬した放射損失光の一部が含まれてしまう。このように放射損失光が再度導波路と結合してしまうクロストークが生じると、ノイズとなってしまふ。

【0005】

さらに、光導波路素子の集積度を高めていくと、曲がり部の曲率半径が小さくなるとともに、隣接する導波路間の距離が短くなるため、クロストークの問題はさらに重要となってくる。

20

このような問題を解決する方法として、特許文献1の方法などが提案されている。特許文献1の発明では、導波路からの放射損失光によるクロストーク悪化を防止するために、信号光の伝搬経路にあたらぬクラッド部が所望の厚みに除去されており、当該部位に放射損失光に対する光吸収層が付着せしめられている。また、石英系光導波路に対する吸収材料の一例として、カーボン粉末を含むシリコン樹脂を挙げている。しかし、この技術の場合、光吸収による光吸収層の発熱により、導波路のコアとクラッドの屈折率が変化し、光を閉じ込める状態が変化するため、導波路の損失増加などが懸念される。また、吸収層の材料によっては光吸収により電流や電位差が生じ、導波路や導波路型デバイスの性能を劣化させる恐れがある。

30

【特許文献1】特許第3184426号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

光導波路素子の高機能化・多機能化の要請から、複数個の導波路型デバイスを同一基板上へ集積した場合に、光導波路素子内の放射損失光が別の導波路へ入射することを防ぐことである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明では、放射損失光によるクロストークを防ぐため、光導波路素子の導波路部以外の部分、特に分岐・交差導波路の分岐・交差後の複数の導波路の間または導波路の湾曲部外側のクラッド層に、導波路の中心よりも深い窪みを有するクラッド層除去部を形成する。また、当該クラッド層除去部は、放射損失光が確実に光導波路素子から放射されるために以下の条件を満足するように形成する。

40

導波路内を伝搬する光の強度が最大となる光導波路の中心の光導波路素子の表面からの距離を  $b$ 、前記導波路の中心の深度で光導波路素子表面と平行に伝搬し、放射側面から放射する光が放射側面と対向するクラッド層除去部の側面である再入射側面に入射する点との光導波路素子表面に平行方向の距離を  $a$ 、光導波路素子の表面の法線とクラッド層除去部の放射損失光が放射する放射側面の法線とのなす角を  $\theta_1$ 、光導波路素子表面の法線と

50

再入射側面の法線とがなす角を  $\theta_2$ 、放射損失光の放射側面 106 での入射角を  $\theta_{out}$ 、放射側面 106 から放射する際の角度を  $\theta_{out}'$ 、再入射側面 107 への入射角を  $\theta_{in}$ 、クラッド層の屈折率を  $n$  とすると、 $a$ 、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  の条件は、

$$\theta_1 > 90^\circ - \sin^{-1}(1/n)$$

かつ、

$$b \cdot \cos \theta_{out}' / \cos \theta_{out} < (b \cdot \sin \theta_{out}' / \cos \theta_{out} + a / \cos(\theta_{out}' - \theta_{out})) \tan^2 \theta_{in}$$

ただし、

$$\sin \theta_{out}' = n \cdot \sin \theta_{out}$$

$$\theta_{out} = 90^\circ - \theta_1$$

$$\theta_{in} + \theta_{out}' - \theta_{out} = 90^\circ - \theta_2$$

である。

#### 【0008】

また、放射側面に反射防止膜を形成させるため、クラッド層除去部の深さを  $d$  とすると、

$$d \cdot \tan(\theta_1 - 45^\circ)$$

$$< a - (d - b) / \tan \theta_1 + (b + e) / \tan \theta_2$$

ただし、

$$e = a \cdot \tan(\theta_{out}' - \theta_{out})$$

を満たすように構成する。

#### 【発明の効果】

#### 【0009】

本発明によれば、複数個の導波路型デバイスを同一基板上へ集積した光導波路素子で、光導波路素子内の放射損失光が別の導波路へ入射することを防ぐことができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0010】

#### [第1実施形態]

図4に本発明のクラッド層除去部を形成した光導波路素子の鳥瞰図を示す。クラッド層除去部105は、光導波路素子100の表面である光導波路素子表面108と平行に伝搬する放射損失光が放射する放射側面106と、放射側面に対向する再入射側面107と、クラッド層除去部の底である底面109とを有する。放射側面106と光導波路素子表面108との交線をA、放射側面106と底面109との交線をB、再入射側面107と底面109との交線をC、再入射側面107と光導波路素子表面108との交線をDとする。図1を用いて説明したように、導波路101の湾曲部では放射損失光が発生する。この放射損失光のうち、光導波路素子100の表面と平行に伝搬する光が、他の導波路に入射し、クロストークの問題が生じる。一方、光導波路素子100の表面と平行ではない光は、他の導波路に入射され難いため、クロストークの問題は生じない。そこで、以下では、光導波路素子100の表面と平行に伝搬する放射損失光の除去方法について検討する。クラッド層除去部105は、少なくとも導波路の中心（光強度が最大となる位置）以上の深さを有する窪みである。クラッド層除去部105は、放射損失光を光導波路素子100の外部に放出させる構造を有している。具体的な構造上の条件は、以下で検討する。このようなクラッド層除去部を光導波路素子の放射損失光が生じやすい場所に形成することで、放射損失光によるクロストークの問題を解決することができる。図5は、2つの導波路が集積化された光導波路素子の平面図である。クラッド層除去部115-1、115-2が、クロストークを防止するために必要な位置に形成されている。

#### 【0011】

図6は、クラッド層除去部105の構造を示す断面図である。導波路の中心と光導波路素子表面108との距離（導波路の中心の深さ）を  $b$ 、クラッド層除去部105の深さを  $d$ 、深さが  $b$  の位置で光導波路素子表面108と平行に伝搬する放射損失光が放射側面106から出射する点を  $P$  とし、この光が再入射側面107に入射する点を  $Q$  とし、点  $PQ$

10

20

30

40

50

の光導波路素子表面 108 に平行方向の距離を  $a$ 、光導波路素子表面 108 の法線と放射側面 106 の法線とのなす角を  $\theta_1$ 、光導波路素子表面 108 の法線と再入射側面 107 の法線とがなす角を  $\theta_2$ 、クラッド層の屈折率を  $n$  とする。放射損失光の放射側面 106 での入射角を  $\theta_{out}$ 、放射側面 106 から放射する際の角度を  $\theta_{out}'$ 、再入射側面 107 への入射角を  $\theta_{in}$  とする。

#### 【0012】

放射損失光が確実に光導波路素子 100 の外部に放出される条件について、図 7 を用いて説明する。第 1 の条件は放射側面 106 で全反射とならないことであり、

$$\theta_{out} < \sin^{-1}(1/n)$$

を満足する必要がある。石英系の光導波路素子の場合であれば、臨界角は  $40^\circ$  程度である。しかし、InP 系ハイデルタ導波路のクラッド層として InP を用いた場合、 $1550\text{nm}$  の光に対する屈折率が  $3.167$  であり、臨界角が  $18.4^\circ$  となるため、 $\theta_{out}$  は 0 に近い値が望ましい。また、 $\theta_{out} = 90^\circ - \theta_1$  であるから、 $\theta_1$  が満足しなければならない条件は

$$\theta_1 > 90^\circ - \sin^{-1}(1/n) \quad (1)$$

となる。

#### 【0013】

第 2 の条件は、再反射側面 107 で反射した放射損失光が再び放射側面 106 に入射しないことである。具体的には、再入射側面で反射した放射損失光が、放射側面 106 と光導波路素子表面 108 との交線 A よりも外側を通ることが条件である。交線 A と点 P との直線 PQ に平行方向の距離は  $b \cdot \sin \theta_{out}' / \cos \theta_{out}$ 、直線 PQ に垂直方向の距離は  $b \cdot \cos \theta_{out}' / \cos \theta_{out}$ 、線分 PQ の長さは  $a / \cos(\theta_{out}' - \theta_{out})$  であり、点 Q での入射光と反射光のなす角は  $2\theta_{in}$  であるから、 $a$  と  $\theta_2$  とは、

$$b \cdot \cos \theta_{out}' / \cos \theta_{out} < (b \cdot \sin \theta_{out}' / \cos \theta_{out} + a / \cos(\theta_{out}' - \theta_{out})) \tan 2\theta_{in} \quad (2)$$

ただし、

$$\sin \theta_{out}' = n \cdot \sin \theta_{out}$$

$$\theta_{out} = 90^\circ - \theta_1$$

$$\theta_{in} + \theta_{out}' - \theta_{out} = 90^\circ - \theta_2$$

の関係を満足しなければならない。

#### 【0014】

式 (1)、(2) の条件を満足する構造のクラッド層除去部 105 によって、放射損失光は光導波路素子 100 の外部に放出される。

なお、クラッド層除去部 105 の深さ  $d$  は、放射損失光の導波路への再結合効率を小さくするために、導波路の中心よりもモードフィールド径を足した値以上とすることが望ましい。

さらに、再入射側面 107 に反射膜を形成し、放射損失光の光導波路素子 100 への再入射を防いでも良い。また、反射膜を形成しなくても、 $\theta_2$  を  $90^\circ$  よりも十分小さくしておけば、再入射側面 107 から再入射した放射損失光は、光導波路素子表面 108 と平行方向には伝搬せず、光導波路素子 100 の内部に伝搬するので、クロストークの問題は解決できる。

#### 【0015】

##### [変形例]

第 1 実施形態の放射側面 106 に反射防止膜を形成することで、放射側面 106 での放射光によるクロストークを軽減できる。しかし、放射側面 106 に反射防止膜を形成するためには、製造上の制限を考慮する必要がある。たとえば、反射防止膜としてイオンビームスパッタ法により誘電体多層膜を形成する場合、安定的な成膜のためには、成膜面への原材料イオン入射角度は  $45^\circ$  以下であることが必要である。この条件を、図 8 を用いて説明する。

原材料イオン入射角度  $45^\circ$  を確保するためには、交線 B から放射側面 106 と  $45^\circ$

10

20

30

40

50

をなす平面が、再入射側面 107 と交差しないことが必要であり、

導波路の中心の深さ  $b$  と点  $Q$  との深さの差を  $e$  として、 $a$ 、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  とが満足しなければならない条件を式であらわすと、

$$d \cdot \tan(\theta_1 - 45^\circ) < a - (d - b) / \tan \theta_1 + (b + e) / \tan \theta_2 \quad (3)$$

ただし、

$$e = a \cdot \tan(\theta_{out'} - \theta_{out})$$

となる。

式(3)の条件を満足するクラッド層除去部 105 であれば、放射側面 106 に反射防止膜を形成することができる。

10

#### 【0016】

##### [第2実施形態]

第1実施形態では、光導波路素子表面 108 の法線と放射側面 106 の法線とのなす角を  $\theta_1$  としたが、 $\theta_1 = 90^\circ$  とした場合について、本実施形態では説明する。第1実施形態で示した式(1)と(2)の条件に  $\theta_1 = 90^\circ$  をあてはめる。式(1)は常に成立する。また、 $\theta_{out} = \theta_{out'} = 0^\circ$ 、 $e = 0$  であり 0 である。まず式(2)は、以下のように変形できる。

$$b < a \cdot \tan^2 \theta_{in}$$

ただし、 $\theta_{in} = 90^\circ - \theta_2$

この式を  $\theta_2$  について解くと、

$$\theta_2 < 90^\circ - (\tan^{-1}(b/a)) / 2 \quad (4)$$

となる。また、本実施形態の場合には、放射側面 106 での反射光は、光導波路素子表面 108 と平行方向に伝搬するため、クロストークを生じやすい。したがって、本実施形態の場合には、放射側面 106 には反射防止膜を形成すべきである。そこで、式(3)についても  $\theta_1 = 90^\circ$  をあてはめると、

$$d < a + b / \tan \theta_2$$

となり、この式を  $\theta_2$  について解くと、

$$\theta_2 < \tan^{-1}(b / (d - a)) \quad (5)$$

となる。

20

#### 【図面の簡単な説明】

30

#### 【0017】

【図1】導波路の湾曲部での放射損失の概要を示す鳥瞰図。

【図2】Y分岐での放射損失の様子を示す鳥瞰図。

【図3】導波路を1つの基板に集積化した光導波路素子の平面図。

【図4】クラッド層除去部を形成した光導波路素子の鳥瞰図。

【図5】2つの導波路が集積化された光導波路素子の平面図。

【図6】クラッド層除去部 105 の構造を示す断面図。

【図7】放射損失光が確実に外部に放出される条件を示すための光導波路素子 100 の断面図。

【図8】反射防止膜形成のための条件を示すための光導波路素子 100 の断面図。

40

【図1】

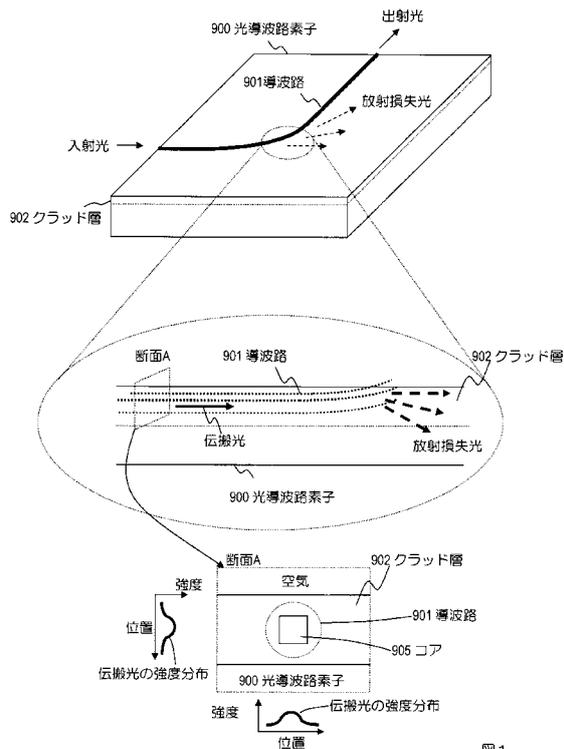


図1

【図2】

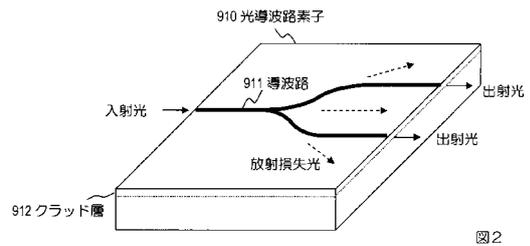


図2

【図3】

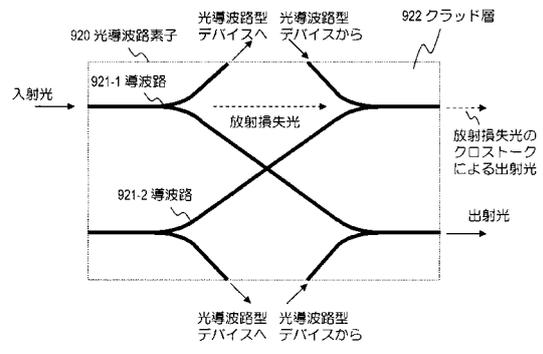


図3

【図4】

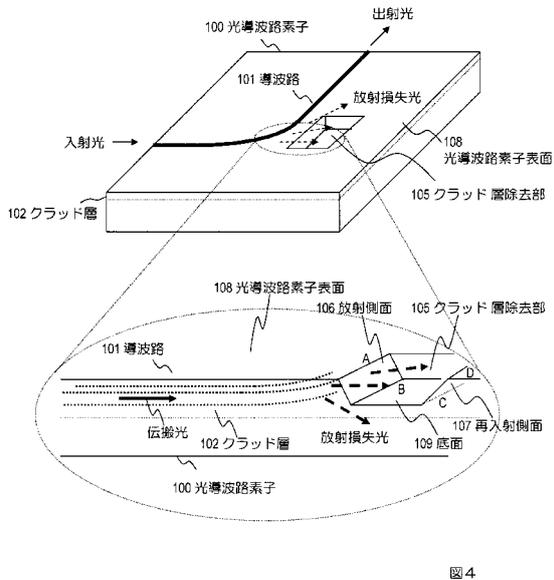


図4

【図5】

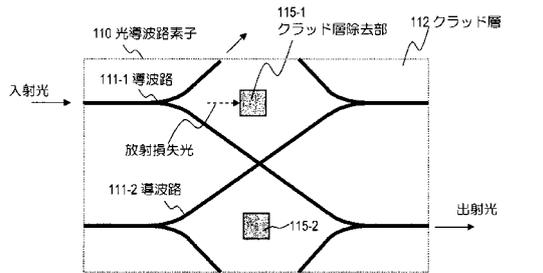


図5

【図6】

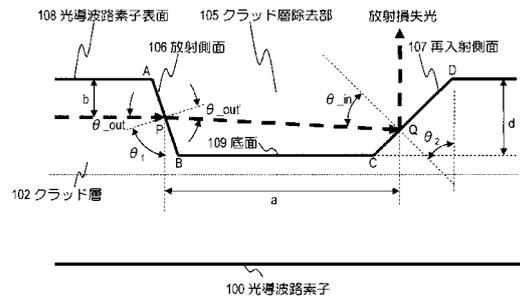


図6

【 図 7 】

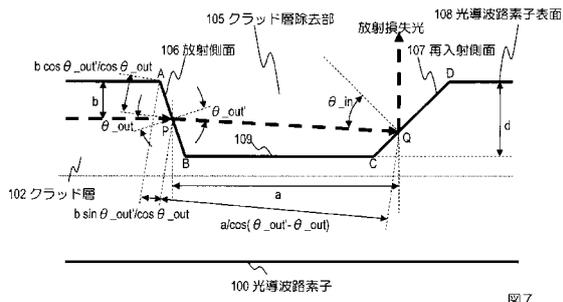


図7

【 図 8 】

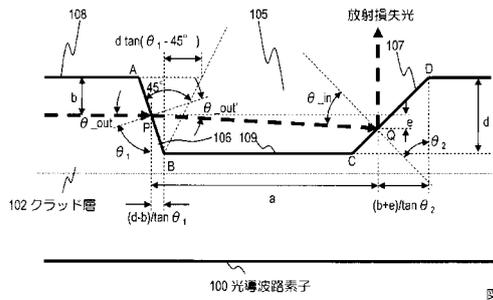


図8

---

フロントページの続き

審査官 高 芳徳

(56)参考文献 特開2004-118117(JP,A)  
特開平11-352344(JP,A)  
特開平11-052154(JP,A)  
特開平9-318367(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/12 - 6/43  
G02F 1/00 - 7/00  
JSTPlus(JDreamII)  
JST7580(JDreamII)