



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I794399 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 03 月 01 日

(21)申請案號：108102857

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 01 月 25 日

(51)Int. Cl. : **H01L31/10 (2006.01)**

(30)優先權：2018/02/01 世界智慧財產權組織 PCT/JP2018/003454

(71)申請人：日商京都半導體股份有限公司(日本) KYOTO SEMICONDUCTOR CO., LTD. (JP)  
日本

(72)發明人：磯村尚友 ISOMURA, TAKATOMO (JP)；大村悅司 OMURA, ETSUJI (JP)

(74)代理人：林彥丞

(56)參考文獻：

JP 2001-156303A

JP 2014-93459A

US 7053427B2

US 2005/0242271A1

US 2008/0290435A1

審查人員：林君濤

申請專利範圍項數：4 項 圖式數：13 共 20 頁

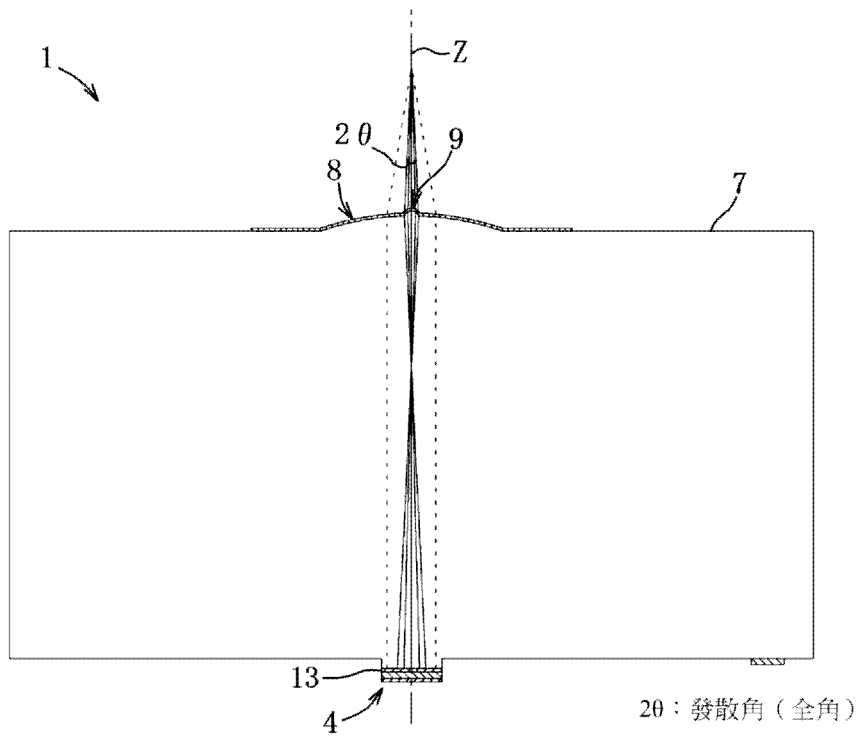
(54)名稱

半導體受光元件

(57)摘要

[課題]提供一種能夠將響應速度高速化的半導體受光元件。[解決手段]一種背面入射型的半導體受光元件，在相對入射光呈透明的半導體基板的正面附近具備光吸收部，在與前述正面對向的前述半導體基板的背面具備直徑比前述光吸收部大且曲率半徑為 R1 的第 1 凸透鏡部，前述光吸收部的中心位在前述第 1 凸透鏡部的光軸上，其中，在前述第 1 凸透鏡部的中央部具有第 2 凸透鏡部，前述第 2 凸透鏡部與前述第 1 凸透鏡部為光軸共用，直徑比前述光吸收部小且曲率半徑 R2 比曲率半徑 R1 小，前述第 2 凸透鏡部在與前述光吸收部之間具有焦點，並使射入前述第 2 凸透鏡部的光由前述焦點朝向前述光吸收部擴散。

指定代表圖：



符號簡單說明：

1 . . . 半導體受光元件

4 . . . 受光部

7 . . . 背面

8 . . . 第 1 凸透鏡部

9 . . . 第 2 凸透鏡部

13 . . . 光吸收部

Z . . . 光軸

20 . . . 發散角(全角)

20：發散角（全角）

【圖2】



I794399

## 【發明摘要】

## 【中文發明名稱】

半導體受光元件

## 【中文】

[課題]提供一種能夠將響應速度高速化的半導體受光元件。[解決手段]一種背面入射型的半導體受光元件，在相對入射光呈透明的半導體基板的正面附近具備光吸收部，在與前述正面對向的前述半導體基板的背面具備直徑比前述光吸收部大且曲率半徑為 $R1$ 的第1凸透鏡部，前述光吸收部的中心位在前述第1凸透鏡部的光軸上，其中，在前述第1凸透鏡部的中央部具有第2凸透鏡部，前述第2凸透鏡部與前述第1凸透鏡部為光軸共用，直徑比前述光吸收部小且曲率半徑 $R2$ 比曲率半徑 $R1$ 小，前述第2凸透鏡部在與前述光吸收部之間具有焦點，並使射入前述第2凸透鏡部的光由前述焦點朝向前述光吸收部擴散。

## 【指定代表圖】

圖2

## 【代表圖之符號簡單說明】

- |    |         |
|----|---------|
| 1  | 半導體受光元件 |
| 4  | 受光部     |
| 7  | 背面      |
| 8  | 第1凸透鏡部  |
| 9  | 第2凸透鏡部  |
| 13 | 光吸收部    |
| Z  | 光軸      |
| 2θ | 發散角（全角） |

## 【發明說明書】

### 【中文發明名稱】

半導體受光元件

### 【技術領域】

【0001】 本發明關於一種將接受的入射光轉換為電訊號而輸出的半導體受光元件，特別是關於一種能夠提升響應速度的半導體受光元件。

### 【先前技術】

【0002】 光通訊領域中，為了對應通訊量的急遽增加，因此正進行將傳送速度高速化的開發。光通訊為透過光纖電纜等而由發送側發送光訊號，並在接收側將由半導體受光元件接收的光訊號轉換為電訊號。

【0003】 在接收側的傳送速度的高速化雖可透過半導體受光元件的響應速度的高速化來實現，但為此則需要提升元件電容及元件電阻所定義的響應速度其上限。在半導體受光元件的受光部面積，即，將光轉換為電（電荷）的光吸收部的直徑越小，則元件電容就變越小，而例如實現響應頻帶為20GHz左右的半導體受光元件的情況下，若設光吸收部的直徑為20 $\mu\text{m}$ 左右，則元件電容變得相當小。

【0004】 另一方面，半導體受光元件接受入射光，而入射光是由光纖電纜端部射出並以預定的擴散角（發散角）一邊擴散一邊行進。據此，為了縮小元件電容而越縮小光吸收部的直徑，則會減少受光量並降低接收效率（靈敏度）。因此，例如專利文獻1、2所述，已知一種背面入射型的半導體受光元件，為了抑制受光量的減少而在半導體基板形成有能夠將入射光聚光在小直徑光吸收部的凸透鏡。

【0005】 [習知技術文獻]

[專利文獻]

專利文獻 1：日本特許第 2989996 號公報

專利文獻 2：日本特許第 3031238 號公報

### 【發明內容】

【0006】 [發明所欲解決的課題]

然而，凸透鏡部以聚焦在光吸收部的方式聚光時，則在焦點附近電荷會集中生成，透過因電荷過度集中而引起的空間電荷效果，其電荷的移動被限制，於是阻礙了響應速度的高速化。此外，入射光的發散角小的情況下，即使凸透鏡部沒有聚焦在光吸收部，透過該凸透鏡的聚光作用，入射光集中在光吸收部的局部而生成的電荷也會過度集中，於是有受到空間電荷效果而阻礙響應速度高速化的疑慮。

【0007】 即使入射光的發散角大，通常在其中心光軸的垂直面內，入射光徑方向的光強度分布視為高斯分布的高斯光束，入射光越靠近光軸強度越強。因此，透過凸透鏡部的聚光作用而在入射光強度強的中央部分射入的光吸收部的局部電荷的生成會過度集中，於是有受到空間電荷效果而阻礙響應速度高速化的疑慮。

【0008】 本發明的目的在於提供一種能夠將響應速度高速化的半導體受光元件。

【0009】 [解決課題的技術手段]

請求項1的發明為一種背面入射型的半導體受光元件，在相對入射光呈透明的半導體基板的正面附近具備光吸收部，在與前述正面對向的前述半導體基板的背面具備直徑比前述光吸收部大且曲率半徑為 $R_1$ 的第1凸透鏡部，前述光吸收部的中心位在前述第1凸透鏡部的光軸上，其中，在前述第1凸透鏡部的中央部具有第2凸透鏡部，前述第2凸透鏡部與前述第1凸透鏡部為光軸共用，直徑比前述光吸收部小且曲率半徑 $R_2$ 比曲率半徑 $R_1$ 小，前述第2凸透鏡部在與前述光吸收部之間具有焦點，並使射入前述第2凸透鏡部的光由前述焦點朝向前述光吸收部擴散。

【0010】 若依據上述構成，能夠將以沿著第1凸透鏡部的光軸的方式射入的入射光之中射入第1凸透鏡部的光朝向光吸收部聚光，並使射入第2凸透鏡部的光朝向光吸收部擴散。因此，確保在光吸收部的受光量的同時，並迴避在光吸收部的因入射光集中而引起的空間電荷效果，進而可實現半導體受光元件的響應速度的高速化。

【0011】 請求項2的發明是在請求項1中，基於入射光的出射點至前述第2凸透鏡部的距離 $L$ 、入射光的發散角 $\theta$ 、前述光吸收部的直徑 $D$ 、以及前述第2凸

透鏡部與前述光吸收部之間的距離H，設定前述第2凸透鏡部的曲率半徑R2，以讓射入前述第2凸透鏡部的人射光的全部射入前述光吸收部。

【0012】 若依據上述構成，讓入射光的光強度為較強的中央部的光全部擴散並且確實地射入光吸收部。因此，確保在光吸收部的受光量的同時，並迴避空間電荷效果，進而實現半導體受光元件的響應速度的高速化。

【0013】 請求項3的發明是在請求項2中，將相對空氣的前述半導體基板的折射率設為n時，前述第1凸透鏡部的前述曲率半徑R1滿足下式： $(n-1) / (1 / L + n / H) < R1 < (n-1) / (n / H)$ 。

【0014】 若依據上述構成，由於可透過第1凸透鏡部以不聚焦在光吸收部的方式聚光，因此確保光吸收部的受光量的同時，並迴避空間電荷效果，進而可實現半導體受光元件的響應速度的高速化。

【0015】 請求項4的發明是在請求項1~3中，前述半導體基板為InP基板。

【0016】 若依據上述構成，由於可有效率地接受光通訊中所利用的波長的紅外光，因此能夠將光通訊用的半導體受光元件的響應速度高速化。

【0017】 [發明功效]

若依據本發明的半導體受光元件，則能夠實現響應速度的高速化。

#### 【圖式簡單說明】

【0018】

圖 1 為涉及本發明實施例的半導體受光元件的剖面圖。

圖 2 為表示射入圖 1 的半導體受光元件的人射光的例子的示意圖。

圖 3 為表示發散角 5° 的人射光射入圖 1 的半導體受光元件時，在光吸收部的到達位置的模擬結果的圖式。

圖 4 為表示發散角為 5° 的人射光射入具備現有凸透鏡的半導體受光元件時，在光吸收部的到達位置的模擬結果的圖式。

圖 5 為表示入射光的發散角與在光吸收部的入射位置離光吸收部中心的距離之間，其平均值以及標準偏差的關係的圖式。

圖 6 為說明第 1 凸透鏡部的曲率半徑 R1 的圖式。

圖 7 為說明第 2 凸透鏡部的曲率半徑 R2 的圖式。

圖 8 為表示半導體受光元件中半導體層的形成步驟的剖面圖。

圖 9 為表示半導體受光元件中受光部的形成步驟的剖面圖。

圖 10 為表示半導體受光元件中成為第 2 凸透鏡的凸部的形成步驟的剖面圖。

圖 11 為表示半導體受光元件中第 2 凸透鏡部的形成步驟的剖面圖。

圖 12 為表示半導體受光元件中成為第 1 凸透鏡的凸部的形成步驟的剖面圖。

圖 13 為表示半導體受光元件中第 1 凸透鏡部的形成步驟的剖面圖。

#### 【實施方式】

【0019】 以下，基於實施例來針對用於實施本發明的方式作說明。

【0020】 [實施例]

首先，基於圖 1 來針對半導體受光元件 1 的整體構造作說明。

半導體受光元件 1 具有相對入射光呈透明的半導體基板 2、配設在半導體基板 2 的正面 3 附近的受光部 4、受光部 4 上的 p 電極 5、以及半導體基板 2 的正面 3 側上的 n 電極 6。此外，在與半導體基板 2 的正面 3 對向的半導體基板 2 的背面 7 具備第 1 凸透鏡部 8、在此第 1 凸透鏡 8 的中央且直徑比第 1 凸透鏡部 8 還要小的第 2 凸透鏡部 9、以及至少覆蓋第 1、第 2 凸透鏡部 8、9 的抗反射膜 10。然後，構成背面入射型的半導體受光元件 1，其將由半導體基板 2 的背面 7 側射入第 1、第 2 凸透鏡部 8、9 的光導入受光部 4，並將光轉換為電荷。作為半導體基板 2，以 n-InP 基板舉例說明，其使用在接受光通訊用波長為 1.3 $\mu\text{m}$  或 1.5 $\mu\text{m}$  的紅外光的受光元件，但可依據用途等而選擇適當的基板材料。

【0021】 半導體基板 2 的正面 3 例如是由 n 型 InP 層組成的緩衝層 11 所覆蓋。受光部 4 是由 PIN 光二極體構成，該 PIN 光二極體在緩衝層 11 的與半導體基板 2 相反的一側由緩衝層 11 側依序層積有例如 n 型的 InP 層組成的第 1 半導體層 12、InGaAs 層組成的光吸收部 13、以及 p 型 InP 層組成的第 2 半導體層 14。緩衝層 11、第 1 半導體層 12、光吸收部 13 以及第 2 半導體層 14 的厚度依此順序，例如為 5 $\mu\text{m}$ 、2 $\mu\text{m}$ 、1 $\mu\text{m}$ 、2 $\mu\text{m}$ 。求得 20GHz 左右的響應頻帶的情況下，形成有圓柱狀或截錐狀的受光部 4，其光吸收部 13 的直徑 D 為 20 $\mu\text{m}$  左右。又，為了響應速度的高速化，第 1、第 2 半導體層 12、14 較佳將摻雜濃度設在  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  以上以成為低電阻。

【0022】 p電極5配設成與第2半導體層14導通，n電極6配設成與緩衝層11導通。半導體基板2的正面3側為p電極5以及n電極6以外的區域可被保護膜（例如100nm左右厚度的氮化矽膜等）覆蓋。受光部4中因透過入射光生成的電荷而引起的電流為透過p電極5以及n電極6輸出至外部。

【0023】 半導體基板2的背面7的第1凸透鏡部8形成為曲率半徑R1為100 $\mu$ m的局部球面狀，其直徑比光吸收部13還要大，例如直徑（寬度）為60 $\mu$ m，並且配設成第1凸透鏡部8的光軸Z通過光吸收部13中心。在此第1凸透鏡部8的中央部配設有第2凸透鏡部9，其具有與第1凸透鏡部8共用的光軸Z，並且為比曲率半徑R1還要小的曲率半徑R2的部分球面狀。此第2凸透鏡部9例如曲率半徑R2為20 $\mu$ m，直徑（寬度）為5 $\mu$ m，而比光吸收部13的直徑還要小，且其與光吸收部13之間的距離H為150 $\mu$ m。然後，以至少覆蓋該些第1、第2凸透鏡部8、9的方式，在半導體基板2的背面7配設有例如100nm厚度、氮化矽膜組成的抗反射膜10。又，圖1中為了容易觀察第2凸透鏡部9，而誇張表示了其凸形狀。

【0024】 如圖2所示，由半導體受光元件1的背面7側以沿著光軸Z的方式射入的入射光，為透過第1、第2凸透鏡部8、9折射而到達光吸收部13。例如，在光軸Z上離第2凸透鏡部9的頂部（頂點）50 $\mu$ m的位置，發散角 $2\theta$ （全角）為5°的入射光由該位置射出的情況下，入射光約略全部射入第2凸透鏡部9而在其與光吸收部13之間聚焦。接著入射光以由此焦點擴散的方式行進而到達光吸收部13。此外，如虛線所示，由相同出射位置射出的入射光其發散角 $2\theta$ 比5°還要大的情況下，靠近光軸Z的入射光中央部分射入第2凸透鏡9而以擴散的方式到達光吸收部13。接著較其外側的入射光射入第1凸透鏡部8，並能夠透過第1凸透鏡部8的聚光作用到達光吸收部13。

【0025】 針對半導體受光元件1，由圖2出射位置射出的發散角 $2\theta$ 為5°的入射光，其在光吸收部13的到達位置的模擬結果表示在圖3。此外，針對沒有第2凸透鏡部9以外而其餘等同於半導體受光元件1的現有半導體受光元件，相同入射光其在光吸收部13的到達位置的模擬結果表示在圖4。圖中的圓表示為光吸收部13，點則表示隨機抽出的入射光中所含的500條光線其在光吸收部13的到達位置。可知在沒有第2凸透鏡部9的圖4中雖然聚光在光吸收部13的中央，但圖3中透過第2凸透鏡部9，到達位置並未集中在光吸收部13的中央，而入射光則到達比圖4還要廣的範圍。



【0026】 對於射入如此的半導體受光元件1的入射光其發散角 $2\theta$ 、以及入射光的到達位置離光吸收部13的中心的距離 $u$ 之間，其平均值以及標準差的關係表示在圖5。圖中的四角（□）為相當於現有半導體受光元件、沒有第2凸透鏡部9的情況下的平均值，圓圈（○）則表示為具備第2凸透鏡部9的半導體受光元件1的平均值，在這些平均值上下延伸的箭頭表示每一個標準差。沒有第2凸透鏡部9的情況下，發散角 $2\theta$ 越小，則表示距離 $u$ 的平均值及偏差的標準差就變越小。另一方面，有著第2凸透鏡部9的半導體受光元件1中，發散角 $2\theta$ 越小，則距離 $u$ 的平均值會有比沒有第2凸透鏡部9的情況變還要大的趨勢，標準差沒有變小且偏差較大。因此，可知入射光透過第2凸透鏡部9擴散而到達光吸收部13。

【0027】 基於圖6，針對第1凸透鏡部8的曲率半徑 $R1$ 的設定作說明。

以點 $O$ 為中心的半徑 $R1$ 的圓弧 $8a$ 為表示曲率半徑 $R1$ 的第1凸透鏡部8的部分球面，在光軸 $Z$ 上以離圓弧 $8a$ 距離 $L1$ 的點 $A$ 作為出射點，以沿著光軸 $Z$ 的方式射出發散角 $2\theta$ 的光。將光軸 $Z$ 與圓弧 $8a$ 交差的點設為點 $B$ ，入射光最外側的光線與圓弧 $8a$ 交差的點設為點 $P$ ，且入射光在光軸 $Z$ 上聚焦的點設為點 $C$ ，則點 $B$ 至點 $C$ 的距離設為 $H1$ 。此外，入射光是在空氣中射出，空氣折射率設為 $n1$ ，第1凸透鏡部8折射率設為 $n2$ ，則將相對空氣折射率 $n1$ 的第1凸透鏡部8折射率 $n2$ 設為折射率 $n (=n2/n1)$ 。此時透過近軸光線近似，曲率半徑 $R1$ 、距離 $L1$ 、 $H1$ 以及折射率 $n$ 的關係如下述式（1）所表示。

$$(1/L1) + (n/H1) = (n-1) / R1 \cdots (1)$$

【0028】 將光吸收部13配設在點 $C$ 的情況下，若設定曲率半徑大於式（1）中給定折射率 $n$ 以及距離 $L1$ 、 $H1$ 而求得的曲率半徑 $R1$ ，則第1凸透鏡部8的聚光作用減弱，因此入射光能夠以不聚焦在點 $C$ 的光吸收部13的方式聚光。因此，設定曲率半徑 $R1$ ，以滿足由式（1）變形得到的下述式（2）。

$$R1 > (n-1) / (1/L1 + n/H1) \cdots (2)$$

【0029】 同樣地將光吸收部13配設在點 $C$ 的情況下，入射光視為與光軸 $Z$ 平行的光線束且式（1）中設定距離 $L1 \rightarrow \infty$ ，若設定曲率半徑小於給定折射率 $n$ 與距離 $H1$ 而求得的曲率半徑 $R1$ ，則第1凸透鏡部8的聚光作用增強，因此具有發散角的入射光能夠聚光在光吸收部13。因此，設定曲率半徑 $R1$ ，以滿足由式（1）變形得到的下述式（3）。

$$R1 < (n-1) / (n/H1) \cdots (3)$$

【0030】 接著，基於圖7來針對第2凸透鏡部9的曲率半徑R2的設定作說明。

半徑 R2 的圓弧 9a 為表示曲率半徑 R2 的第 2 凸透鏡部 9 的部分球面，在第 2 凸透鏡部 9 的光軸 Z 上離圓弧 9a 距離 L 的點 P0，發散角 2θ 的光以沿著光軸 Z 的方式射出。

【0031】 設定光軸Z為x軸，並且以圓弧9a的中心作為原點而設定與x軸正交的y軸，將入射光最外側的光線IL1以入射角α射入第2凸透鏡部9的點設為點P1，將在點P1的折射角設為β。此外，將相對空氣折射率n1的第2凸透鏡部9折射率n2設為折射率n時，依據司乃耳定律，折射率 $n = \sin\alpha / \sin\beta$ 。在入射光的行進方向離第2凸透鏡部9距離H的x軸上的點(x2, 0)，設定以此點為中心的與x軸正交的表示直徑D的光吸收部13的長度D直線，在點P1以折射角β折射行進的光線IL2，其與x軸（光軸Z）交叉後而與表示光吸收部13的直線交叉的點設為點P2。此光線IL2與x軸的交叉角設為γ。

【0032】 將點P0、P1、P2的座標設為P0(x0, 0)、P1(x1, y1)、P2(x2, y2)時，基於表示光線IL1的直線 $y = (x - x_0)\tan\theta$ 以及表示光線IL2的直線 $y - y_1 = (x - x_1)\tan\gamma$ ，此等的關係如下述的式(4)～(11)所示。

[數學式 1]

$$x_0 = -(L + R_2) \quad \dots(4)$$

$$x_1 = \frac{x_0 \cdot \tan^2\theta - \sqrt{R_2^2(1 + \tan^2\theta) - x_0^2 \cdot \tan^2\theta}}{1 + \tan^2\theta} \quad \dots(5)$$

$$y_1 = -\tan\theta \cdot \frac{x_0 + \sqrt{R_2^2(1 + \tan^2\theta) - x_0^2 \cdot \tan^2\theta}}{1 + \tan^2\theta} \quad \dots(6)$$

$$x_2 = H - R_2 \quad \dots(7)$$

$$y_2 = y_1 + (x_2 - x_1) \cdot \tan\gamma \quad \dots(8)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + \theta - \cos^{-1}\left(\frac{y_1}{R_2}\right) \quad \dots(9)$$

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{\sin\alpha}{n}\right) \quad \dots(10)$$

$$\gamma = \alpha - \beta - \theta \quad \dots(11)$$

【0033】 在此等式(4)～(11)若給定入射光的出射點至第2凸透鏡部9的距離L、入射光的發散角θ(半角)、光吸收部13的直徑D、以及第2凸透鏡部9

與光吸收部13之間的距離H，則光線LI2與光軸Z交叉後，以在射入光吸收部13的點P2設為 $|y_2| = D/2$ 的方式，可設定第2凸透鏡部9的曲率半徑R2。例如，當 $L = 50\mu\text{m}$ 、 $2\theta = 5^\circ$  ( $\theta = 2.5^\circ$ )、 $D = 20\mu\text{m}$ 、 $H = 150\mu\text{m}$ 時則設定 $R2 = 20\mu\text{m}$ 。如此設定的曲率半徑R2的第2凸透鏡部9由於是以擴散的方式使入射的光到達光吸收部13，故緩和在光吸收部13的入射光的集中。因此，由於可透過第2凸透鏡部9來抑制光吸收部13中生成的因電荷集中而引起的空間電荷效果，故能夠實現響應速度的高速化。

【0034】 在此，入射光的出射點與第1凸透鏡部8之間的距離L1、和入射光的出射點與第2凸透鏡部9之間的距離L約略相等。此外，第1凸透鏡部8與光吸收部13之間的距離H1、和第2凸透鏡部9與光吸收部13之間的距離H約略相等。據此，式(2)、(3)的L1、H1也可各別當作L、H而設定第1凸透鏡部8的曲率半徑R1。亦即。設定曲率半徑R1以滿足下述式(12)，藉此第1凸透鏡部8能夠以不聚焦在光吸收部13的方式聚光在光吸收部13。例如，當 $L = 50\mu\text{m}$ 、 $H = 150\mu\text{m}$ 、 $n = 3.2$ 時則設定 $R1 = 100\mu\text{m}$ 。

$$(n-1) / (1/L + n/H) < R1 < (n-1) / (n/H) \quad \dots (12)$$

【0035】 接著，針對半導體受光元件1的形成方法作說明。

如圖8所示，在清潔的半導體基板2的正面3，由正面3側透過氣相生長法等依序將緩衝層11、第1半導體層12、光吸收部13、以及第2半導體層14成膜。然後，在第2半導體層14的表面，形成蝕刻遮罩15，覆蓋形成受光部4的預定區域。蝕刻遮罩15是將在第2半導體層14的表面成膜的例如氮化矽膜，透過選擇蝕刻法以僅殘留預定區域的方式去除形成。

【0036】 接著如圖9所示，以殘留被蝕刻遮罩15所覆蓋的預定部分並且露出緩衝層11的方式，透過選擇蝕刻法去除第2半導體層14、光吸收部13、以及第1半導體層12而形成例如具有直徑D為 $20\mu\text{m}$ 的光吸收部13的受光部4後，去除蝕刻遮罩15。化學蝕刻的情況下，通常所用的蝕刻液為溴化氫(HBr)與甲醇的混合液，但不限定於此，可使用習知的蝕刻液。也可透過乾式蝕刻形成受光部4。

【0037】 去除蝕刻遮罩15後，為了保護具有受光部4的半導體基板2的正面側3，例如以光阻劑等組成的保護膜(圖示省略)來覆蓋。然後在半導體基板2的背面7形成蝕刻遮罩16，覆蓋形成第2凸透鏡部9的例如直徑 $20\mu\text{m}$ 的預定區域。

蝕刻遮罩16是將在半導體基板2的背面7成膜的例如氮化矽膜，透過選擇蝕刻法以僅殘留預定區域的方式去除形成。

【0038】 接著如圖10所示，在半導體基板2的背面7側，透過選擇蝕刻法以突出於半導體基板2的方式將形成有第2凸透鏡部9的約略圓柱狀的區域17形成後，去除蝕刻遮罩16。此時可使用上述的蝕刻液，也可以乾式蝕刻形成區域17。

【0039】 接著如圖11所示，透過上述的蝕刻液將半導體基板2的背面7整面蝕刻而形成部分球面狀的凸部18。此時，成為第2凸透鏡部9的約略圓柱狀的區域17的角部中，由於是由形成其角部的2個平面（圓柱的圓形平面以及圓周面）進行蝕刻，因此與平面部分相比促進了蝕刻而變圓。利用此區域17的角部變圓而形成部分球面狀的凸部18，但此凸部18的曲率半徑比曲率半徑R2還要大。

【0040】 接著如圖12所示，形成蝕刻遮罩19，覆蓋形成包含凸部18的第1凸透鏡部8的例如直徑80 $\mu\text{m}$ 的預定區域。然後在半導體基板2的背面7側，透過選擇蝕刻法以突出於半導體基板2的方式將約略圓柱狀的成為具有凸部18的第1凸透鏡部8的區域20形成後，去除蝕刻遮罩19。蝕刻遮罩19是將在半導體基板2的背面7成膜的例如氮化矽膜，透過選擇蝕刻法以僅殘留預定區域的方式去除形成。又，形成區域20時也可使用上述的蝕刻液，也可以乾式蝕刻形成。

【0041】 接著如圖13所示，透過上述的蝕刻液將半導體基板2的背面7整面蝕刻而形成部分球面狀的第1凸透鏡部8的同時，並蝕刻部分球面狀的凸部18而形成第2凸透鏡部9。此時，相較平面部分，約略圓柱狀的區域20的角部其蝕刻被促進而變圓，形成設定的曲率半徑R1的部分球面狀的第1凸透鏡部8。此外，利用凸部18的部分球面的蝕刻約略均等進行，形成設定的曲率半徑R2的部分球面狀的第2凸透鏡部9。

【0042】 雖然省略圖示，但以至少覆蓋第1、第2凸透鏡部8、9的方式，透過電漿CVD法等形成由氮化矽膜組成的抗反射膜10，去除半導體基板2的正面3側未圖示的保護膜，並且透過例如具有鉻膜、鎳膜作為密接層的層積構造的金屬膜，選擇性地形成p電極5及n電極6後，切割成預定大小而得到圖1的半導體受光元件1。

【0043】 針對涉及實施例的半導體受光元件1的作用、效果作說明。如圖2所示，半導體受光元件1能夠將射入第1凸透鏡部8的光聚光在光吸收部13，並且使射入第2凸透鏡部9的光聚焦在光吸收部13的前側，由此焦點朝向光吸收部13

擴散而射入光吸收部13。因此，可確保在光吸收部13的受光量的同時，並可抑制在光吸收部13所生成的電荷過度集中，迴避空間電荷效果，進而可實現半導體受光元件1的響應速度的高速化。

【0044】 此外，基於入射光的出射點至第2凸透鏡部9的距離 $L$ 、入射光的發散角 $\theta$ （半角）、光吸收部13的直徑 $D$ 、以及第2凸透鏡部9與光吸收部13之間的距離 $H$ ，利用式（4）～（11）的關係設定第2凸透鏡部9的曲率半徑 $R2$ ，以讓射入第2凸透鏡部9的光的全部擴散並且確實地射入光吸收部13。因此，確保受光量的同時並可迴避空間電荷效果，進而可實現半導體受光元件1的響應速度的高速化。

【0045】 此外，基於第2凸透鏡部9與光吸收部13之間的距離 $H$ ，其與第1凸透鏡部8與光吸收部13的距離 $H1$ 約略等同，以及基於相對空氣的半導體基板2的折射率 $n$ ，設定第1凸透鏡部8的曲率半徑 $R1$ 以滿足式（12）。因此，未射入第2凸透鏡部9的入射光透過第1凸透鏡部8以未聚焦在光吸收部13的方式聚光，進而可確保受光量。再者，由於半導體基板2為InP基板，因此可將光通訊用的半導體受光元件1的響應速度高速化。

【0046】 上述的發散角或各部分的長度為1個示例但不限定於此，可依據所需性能等而作適當設定。此外，所屬技術領域中具有通常知識者在不脫離本發明的主旨下，能夠在對上述實施例附加各種更改而成的方式下作實施，本發明亦包含這樣的更改方式。

## 【符號說明】

### 【0047】

- 1 半導體受光元件
- 2 半導體基板
- 3 正面
- 4 受光部
- 5 p 電極
- 6 n 電極
- 7 背面
- 8 第 1 凸透鏡部

- 9 第 2 凸透鏡部
- 10 抗反射膜
- 13 光吸收部

## 【發明申請專利範圍】

【第1項】一種半導體受光元件，為背面入射型的半導體受光元件，在相對入射光呈透明的半導體基板的正面附近具備光吸收部，在與前述正面對向的前述半導體基板的背面具備直徑比前述光吸收部大且曲率半徑為R1的第1凸透鏡部，前述光吸收部的中心位在前述第1凸透鏡部的光軸上，其特徵在於，

在前述第1凸透鏡部的中央部具有第2凸透鏡部，前述第2凸透鏡部與前述第1凸透鏡部為光軸共用，直徑比前述光吸收部小且曲率半徑R2比曲率半徑R1小，

前述第2凸透鏡部在與前述光吸收部之間具有焦點，並使射入前述第2凸透鏡部的光由前述焦點朝向前述光吸收部擴散。

【第2項】如申請專利範圍第1項所述之半導體受光元件，其中，

基於入射光的出射點至前述第2凸透鏡部的距離L、入射光的發散角 $\theta$ 、前述光吸收部的直徑D、以及前述第2凸透鏡部與前述光吸收部之間的距離H，設定前述第2凸透鏡部的曲率半徑R2，以讓射入前述第2凸透鏡部的入射光的全部射入前述光吸收部。

【第3項】如申請專利範圍第2項所述之半導體受光元件，其中，

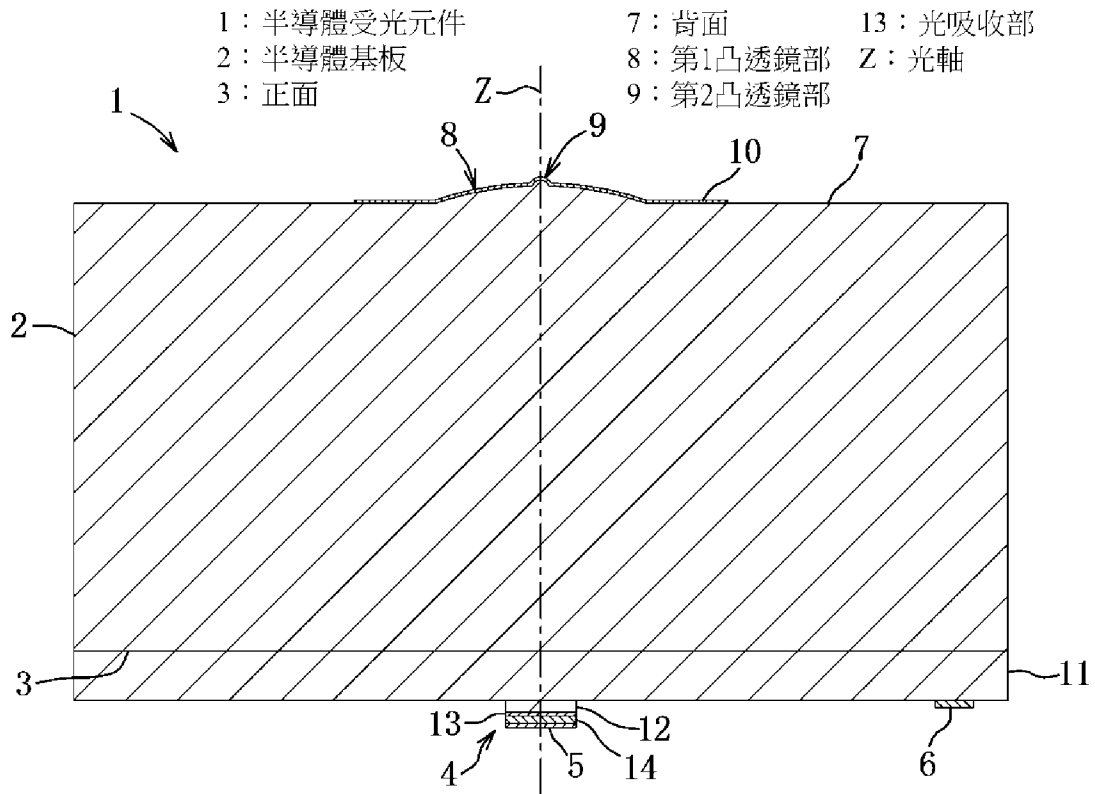
將相對空氣的前述半導體基板的折射率設為n時，前述第1凸透鏡部的前述曲率半徑R1滿足下式：

$$(n-1) / (1/L + n/H) < R1 < (n-1) / (n/H)。$$

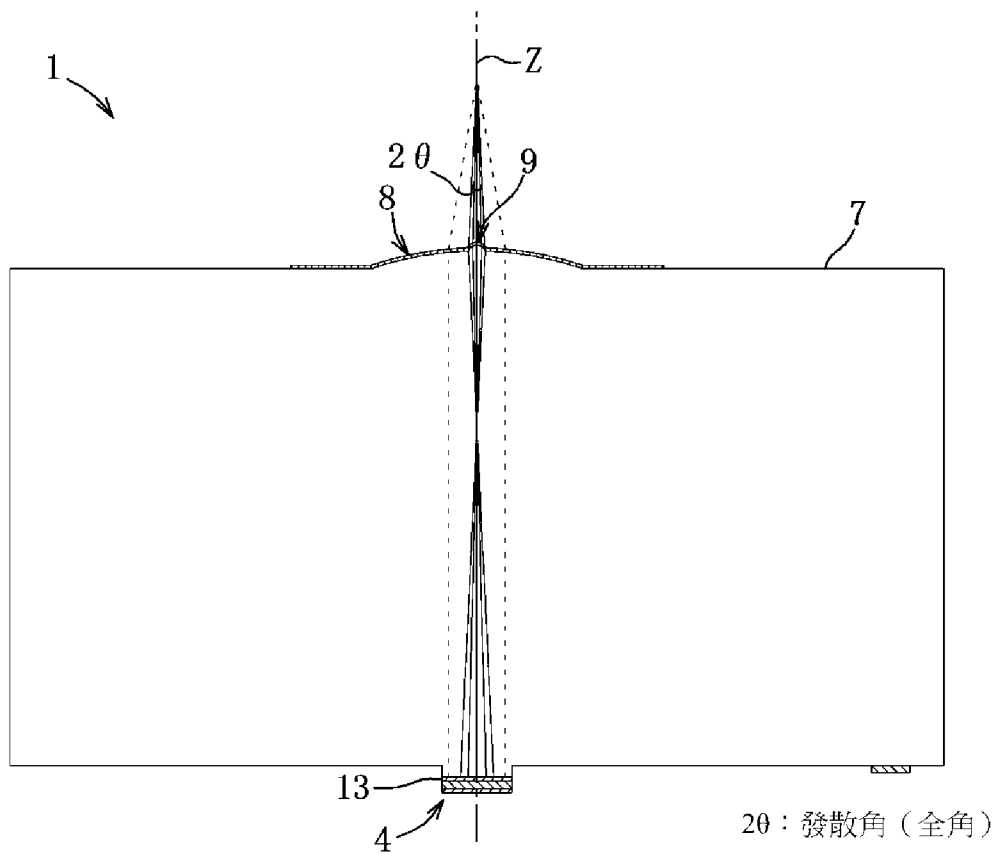
【第4項】如申請專利範圍第1至3項中任一項所述之半導體受光元件，其中，

前述半導體基板為InP基板。

【發明圖式】

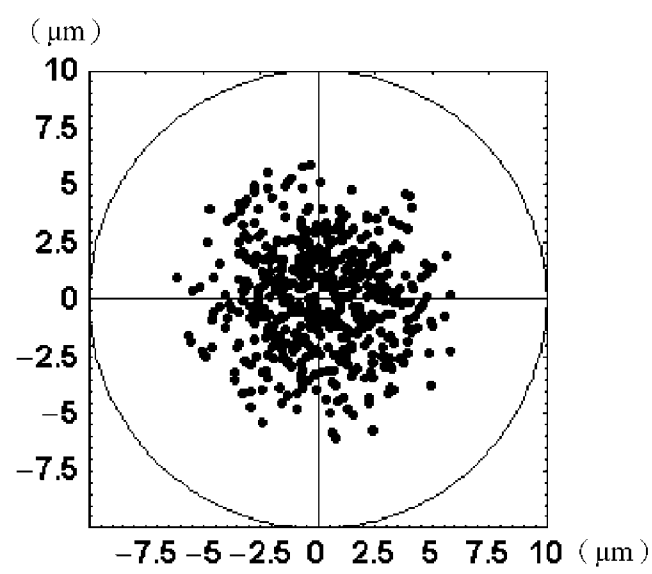


【圖1】

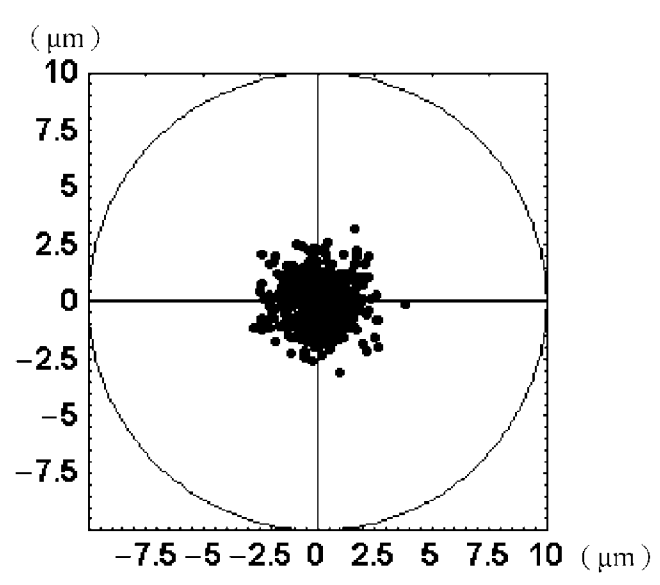


【圖2】

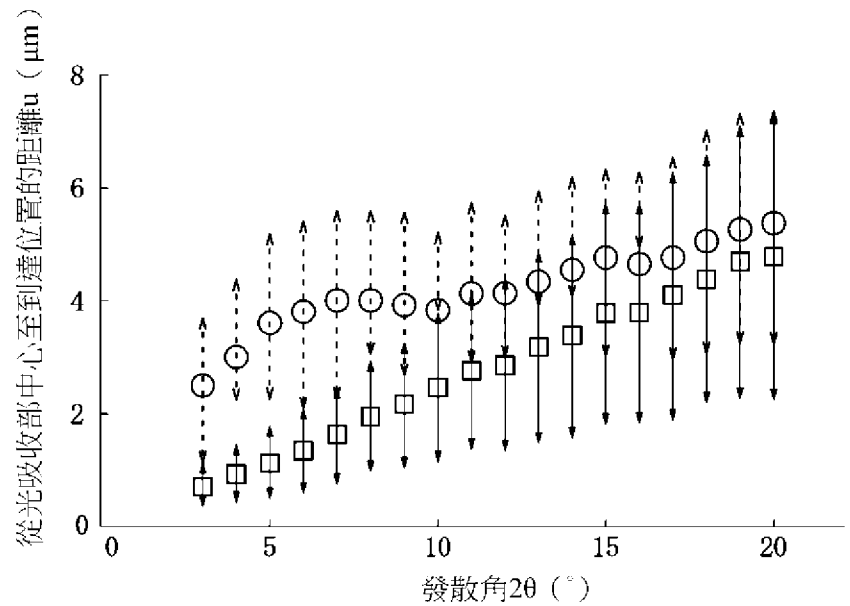




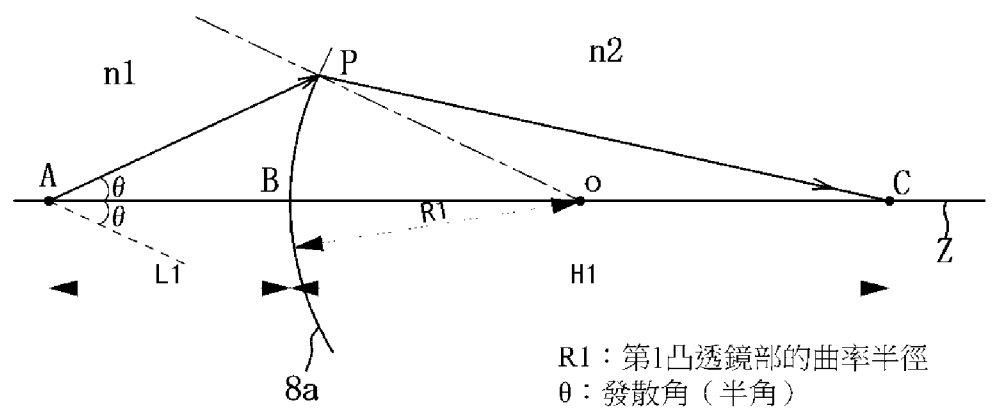
【圖3】



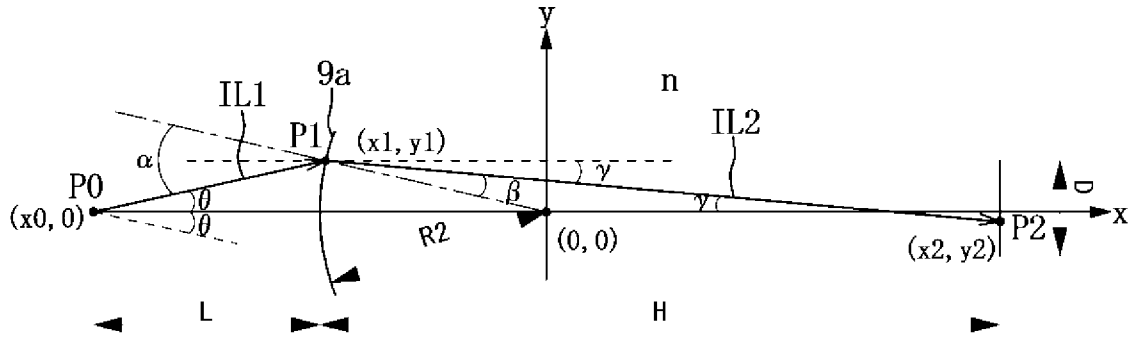
【圖4】



【圖5】

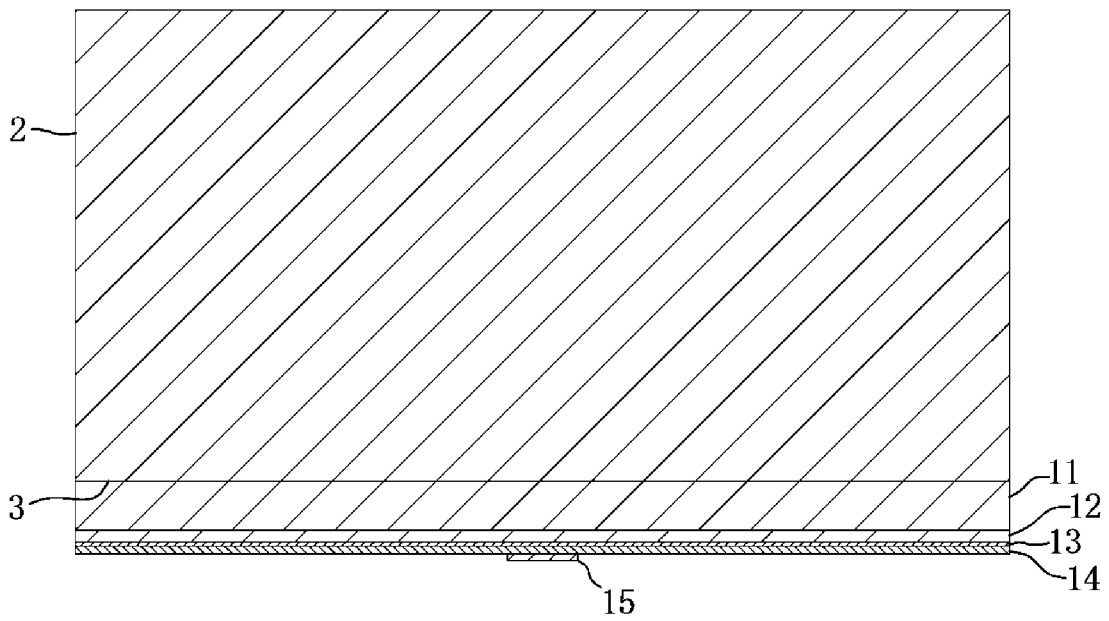


【圖6】

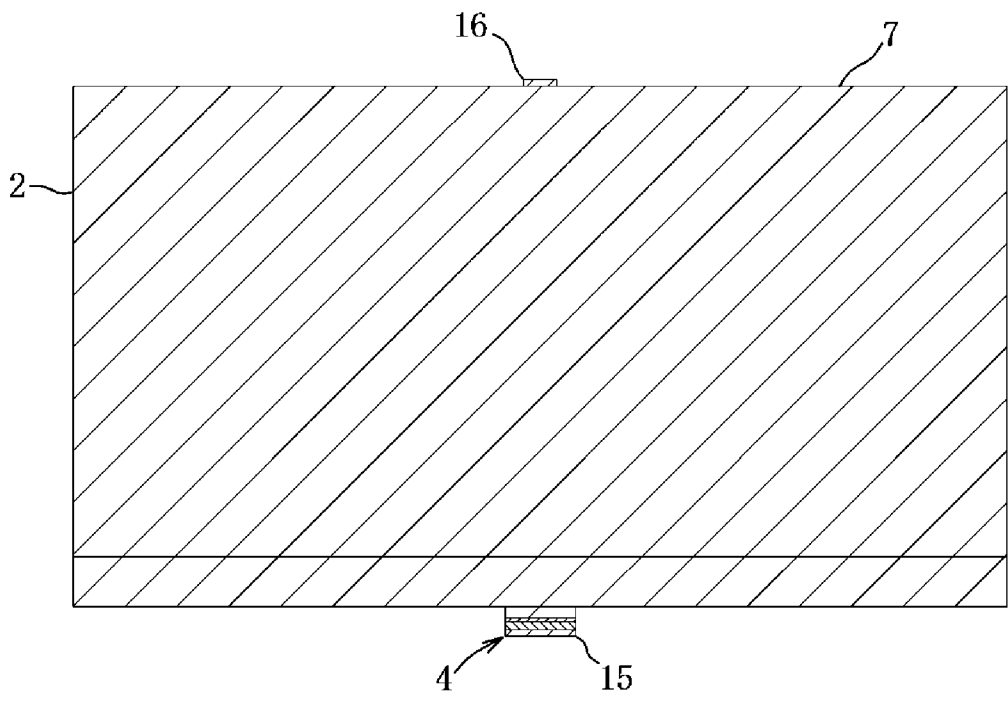


$R_2$  : 第2凸透鏡部的曲率半徑  
 $H$  : 第2凸透鏡部與光吸收部之間的距離  
 $L$  : 從入射光的出射點到第2凸透鏡部的距離  
 $D$  : 光吸收部的直徑  
 $\theta$  : 發散角 (半角)

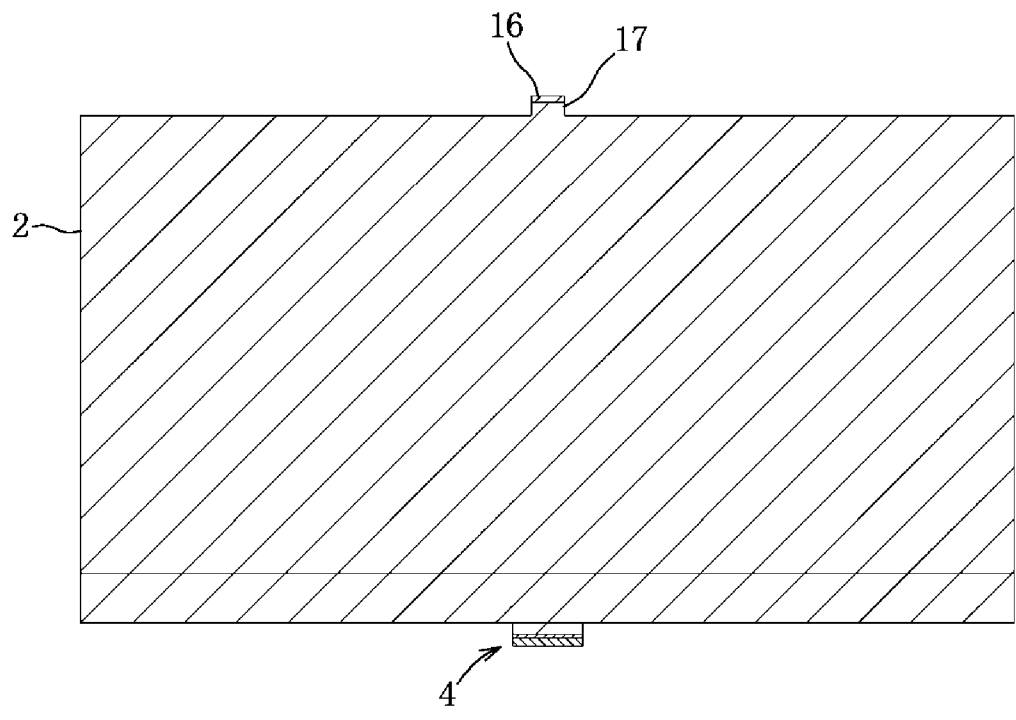
【圖7】



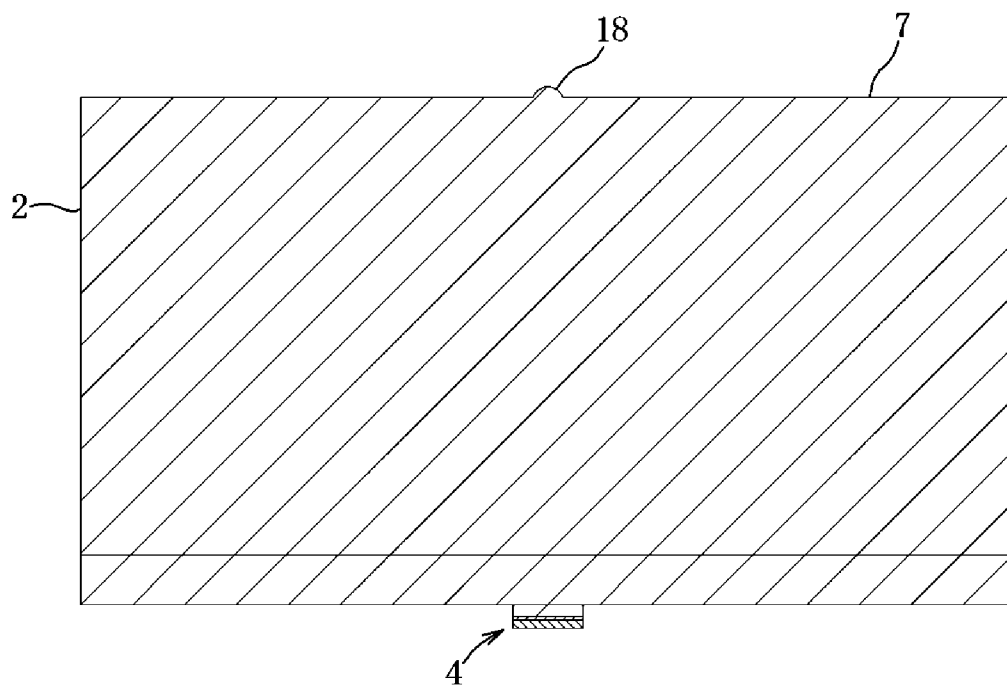
【圖8】



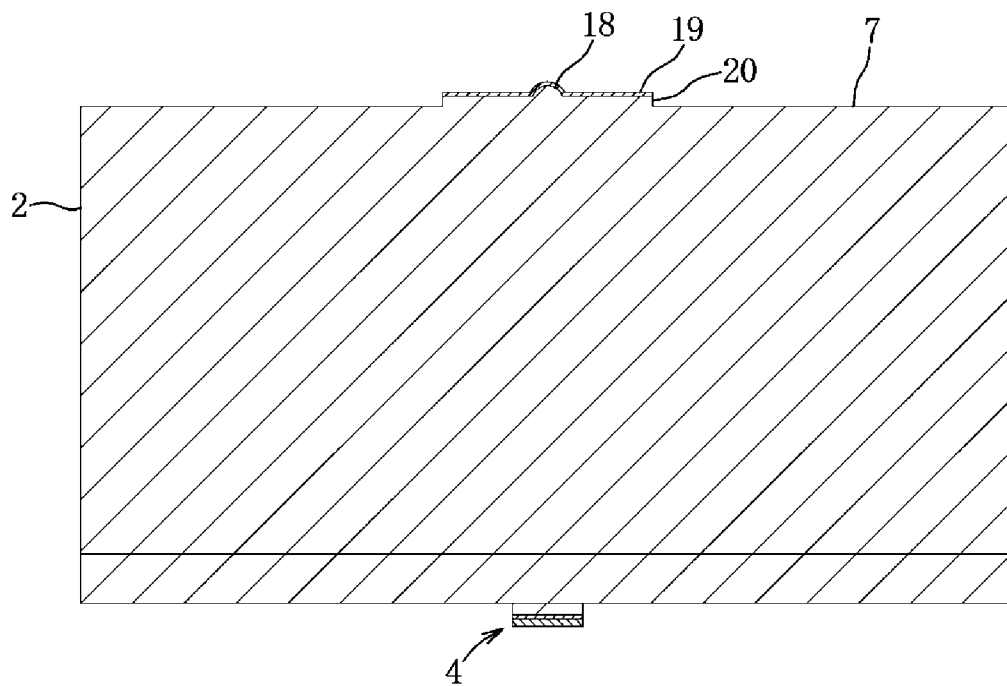
【圖9】



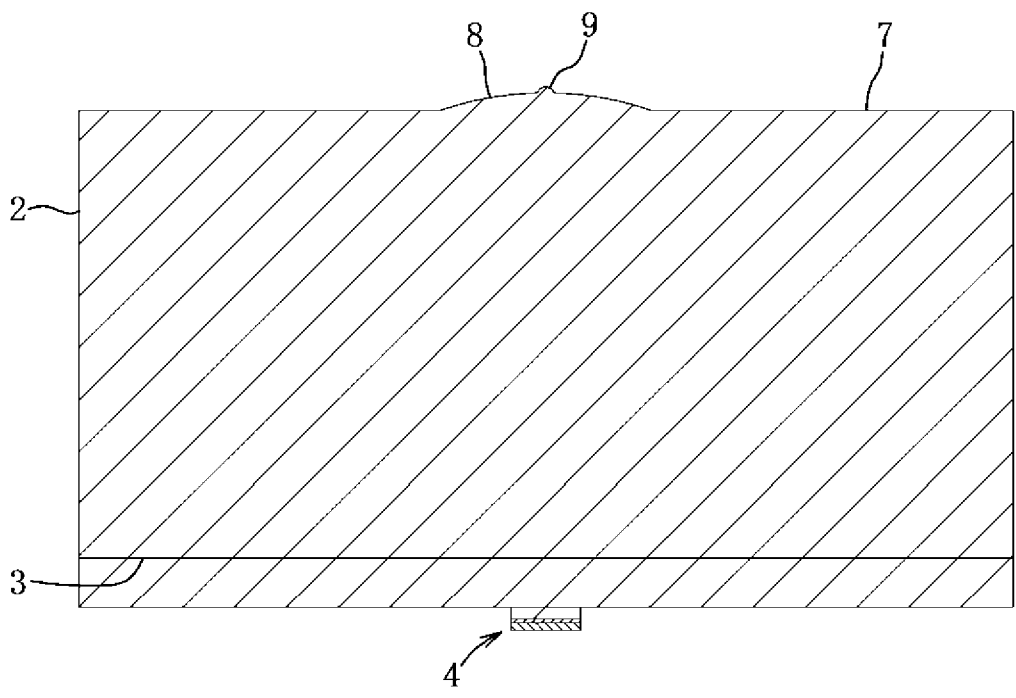
【圖10】



【圖11】



【圖12】



【圖13】