





## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 半導體裝置

【技術領域】

【0001】

本發明係有關於半導體裝置，例如適用於內建光調變器的半導體裝置，該光調變器具備矽光導波路。

【先前技術】

【0002】

近年，由於寬頻電路普及，再加上越來越多用戶以智慧型手機為主的行動裝置使用高速通訊，所以光纖通訊網之數據通訊需求一路增加。為了因應此通訊需求，長距離通訊網從既往所使用的10Gb/S傳輸方式，進展到40Gb/S及100Gb/S而高速化。

【0003】

於國際專利公開公報第2014／076813號(專利文獻1)，揭露一種馬赫·詹德(Mach-Zehnder)型的光調變器，其係由具有凸條結構之矽光導波路元件所構成。

[習知技術文獻]

[專利文獻]

【0004】

[專利文獻1]國際公開第2014／076813號

【發明內容】

[發明所欲解決的問題]

**【0005】**

於內建有具備矽光導波路之光調變器的半導體裝置，謀求光調變器之小型化。換言之，謀求內建有光調變器的半導體裝置之小型化。

**【0006】**

至於其他課題及新穎之特徵，可參見本說明書之記載及隨附圖式以進行瞭解。

[解決問題之技術手段]

**【0007】**

一實施形態之半導體裝置，具有光調變器，此光調變器依序連接第1光導波路、相位調變部、第2光導波路，並在第1方向上將光加以導波。然後，相位調變部具有：半導體層，由單晶矽所形成，且第1方向上的長度，大於與第1方向正交之第2方向上的寬度；核心部，係形成於半導體層的光導波區域，並在第1方向上延伸；一對平板部，在第2方向上配置於核心部之兩側；第1電極，與其中一個平板部連接；以及第2電極，與另一個平板部連接。然後，核心部具有在第1方向上延伸之p型半導體區域及n型半導體區域；第2方向，係與半導體層的晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致。

[發明之效果]

**【0008】**

若藉由一實施形態，可實現半導體裝置之小型化。

**【圖式簡單說明】****【0009】**

**【圖1】**繪示作為本實施形態之半導體裝置的光調變器之結構的圖式。

【圖2】繪示作為本實施形態之光調變器之局部的相位調變部之結構的俯視圖。

【圖3】圖2之A-A'線上的剖面圖。

【圖4】繪示本實施形態之半導體裝置之結構的圖式。

【圖5】於本實施形態之相位調變部之製程中的剖面圖。

【圖6】接續圖5之相位調變部之製程中的剖面圖。

【圖7】接續圖6之相位調變部之製程中的剖面圖。

【圖8】接續圖7之相位調變部之製程中的剖面圖。

【圖9】接續圖8之相位調變部之製程中的剖面圖。

【圖10】繪示變形例1之相位調變部之結構的剖面圖。

【圖11】繪示比較例之光調變器之結構的俯視圖。

## 【實施方式】

### 【0010】

於下述實施形態，視便於說明之所需，會分割成複數之分節或實施形態來進行說明；但除非有特別明示之情況，否則該等並非彼此互不相關，其關係是一方為另一方之局部或全部的變形例、詳情、補充說明等。

### 【0011】

再者，於下述實施形態，在述及要件的數量等(包含個數、數值、量、範圍等)的情況下，除非有特別明示、及原理上明顯限定為特定數量之情況，否則並不限定於該特定數量，在該特定數量以上或以下皆可。

### 【0012】

再者，於下述實施形態，其構成要素(包含要素步驟等)，除非有特別明示、及原理上明顯必要之情況，否則當然不見得為必要。

**【0013】**

再者，於提到「A所形成」、「A所構成」、「具有A」、「包含A」時，除非有特別明示僅有該要素之要旨的情況，否則當然並不排除在此以外的要素。同樣地，於下述實施形態，在述及構成要素等的形狀、位置關係等時，除非有特別明示、及原理上可聯想到係明顯不然之情況，否則都包含實質上與該形狀等相近或類似者等等。此原則亦適用於上述數值及範圍。

**【0014】**

再者，於下述實施形態所使用的圖式，有時即使是俯視圖，也會為了易於辨識圖式而標示影線。再者，用於說明下述實施形態的所有圖式中，對於具有相同功能者，原則上會標示相同符號，並省略重複說明。以下，將根據圖式，針對本實施形態進行詳細說明。

**【0015】**

再者，於下述實施形態，晶向 $\langle 100 \rangle$ ，包含結晶學上等價的晶向 $[100]$ 、 $[010]$ 等。再者，晶面 $\{100\}$ ，包含結晶學上等價的晶面 $(100)$ 、 $(010)$ 等。

**【0016】**

(實施形態)

近年積極進行所謂矽光子技術之開發，亦即製作以矽(Si)為材料之傳輸線路，並以此傳輸線路所構成之光電路作為平台，而藉由整合各種光元件及電子元件，以實現光纖通訊用模組之技術。

**【0017】**

本實施形態係有關於一種半導體裝置，其內建有光元件，尤其是光調變器。於以下的說明中，將針對形成在SOI(Silicon On Insulator；絕緣層上覆矽)基板之光調變器的結構及其製造方法，進行說明。

**【0018】**

### <光調變器>

圖1係繪示作為本實施形態之半導體裝置之光調變器之結構的圖式。圖2係繪示作為本實施形態之光調變器之局部、且係利用載子電漿效果所造成之折射率變化的相位調變部之結構的俯視圖。圖3係圖2之A-A'線上的剖面圖。圖4係繪示本實施形態之半導體裝置的結構的圖式。

#### 【0019】

圖1係馬赫·詹德型的光調變器。如圖1所示，光調變器PC具有：入射光所入射的光導波路(輸入用光導波路)WG<sub>in</sub>、將出射光輸出的光導波路(輸出用光導波路)WG<sub>out</sub>、以及在光導波路WG<sub>in</sub>與WG<sub>out</sub>之間對於所分配的2個光進行導波的光導波路(分配光導波路)WG<sub>a</sub>及WG<sub>b</sub>。更進一步地，於光導波路WG<sub>a</sub>及WG<sub>b</sub>，分別連接著用以將光的相位加以調變的相位調變部PM。相位調變部PM亦可僅設於光導波路WG<sub>a</sub>或WG<sub>b</sub>中的任一方。

#### 【0020】

如圖2所示，相位調變部PM具有：核心部(光導波區域、厚板部)CR、以及配置於核心部兩側之一對的平板部(薄板部)SB。相位調變部PM在作為將光加以導波(傳播)之方向的Y方向(第1方向)上，具有長度L1(例如：1mm以上)，在與將光加以導波之Y方向正交的X方向(第2方向)上，具有寬度W1(例如：5μm)。也就是說，相位調變部PM係在Y方向上延伸，而相位調變部PM之長度L1大於寬度W1。因此，縮短相位調變部PM之長度方向的尺寸，對於光調變器PC之小型化係有效。於圖2中，將光加以導波之方向，係例如從紙面之右側朝向左側之Y方向。

#### 【0021】

核心部CR係光導波區域，在Y方向上的兩端部，分別與光導波路(分配光導波路)WG<sub>a</sub>連接；從圖2之右側之光導波路WG<sub>a</sub>所輸入的光，會輸出至左側之光

導波路WG<sub>a</sub>。核心部CR在Y方向上延伸，而核心部CR之Y方向的長度，比X方向的寬度更長。如圖2所示，於核心部CR，形成有p型半導體區域(第1半導體區域)CR<sub>p</sub>及n型半導體區域(第2半導體區域)CR<sub>n</sub>。p型半導體區域CR<sub>p</sub>及n型半導體區域CR<sub>n</sub>，係在X方向上接觸，而在Y方向上延伸。在p型半導體區域CR<sub>p</sub>與n型半導體區域CR<sub>n</sub>的境界，形成PN接合(PN接合部)；PN接合(PN接合部)係在Y方向上延伸。

#### 【0022】

在X方向上，於核心部CR之兩端配置著一對平板部SB。也就是說，在核心部CR之一端側(圖2之上側)，配置著p型半導體區域(第1平板部)SB<sub>p</sub>，其接觸著核心部CR中之p型半導體區域CR<sub>p</sub>；而在核心部CR之另一端側(圖2之下側)，配置著n型半導體區域(第2平板部)SB<sub>n</sub>，其接觸著核心部CR中之n型半導體區域CR<sub>n</sub>。p型半導體區域SB<sub>p</sub>及n型半導體區域SB<sub>n</sub>分別在Y方向上延伸；p型半導體區域SB<sub>p</sub>及n型半導體區域SB<sub>n</sub>各自在Y方向上的長度，都比在X方向上的寬度更長。

#### 【0023】

再者，如圖2所示，在p型半導體區域SB<sub>p</sub>上，配置著電極(第1電極、配線、金屬配線)M<sub>p</sub>；而在n型半導體區域SB<sub>n</sub>上，配置著電極(第2電極、配線、金屬配線)M<sub>n</sub>。電極M<sub>p</sub>與p型半導體區域SB<sub>p</sub>電性連接，電極M<sub>n</sub>與n型半導體區域SB<sub>n</sub>電性連接。電極M<sub>p</sub>及M<sub>n</sub>分別在Y方向上延伸；電極M<sub>p</sub>及M<sub>n</sub>各自在Y方向上的長度，都比在X方向上的寬度更長。

#### 【0024】

圖3係圖2之A-A'線上的剖面圖，也就是相位調變部PM的剖面圖。核心部(光導波區域、厚板部)CR及平板部(薄板部)SB形成於半導體層SL，該半導體層SL係隔著絕緣層(埋入絕緣層)BOX而形成在半導體基板SUB上。半導體基板SUB



係由單晶矽(Si)所形成之支架基板，其膜厚係例如750 $\mu\text{m}$ 左右。又，在半導體裝置之完成階段，可以使半導體基板SUB之膜厚成為50~200 $\mu\text{m}$ 。絕緣層BOX係二氧化矽( $\text{SiO}_2$ )所構成，其膜厚係例如2~3 $\mu\text{m}$ 左右。

#### 【0025】

再者，半導體層SL係由單晶矽所構成，核心部CR之膜厚T1係例如200nm，平板部SB之膜厚T2係例如100nm。核心部CR之膜厚，比平板部SB之膜厚更厚。於核心部CR，形成有p型半導體區域CRp及n型半導體區域CRn，而在p型半導體區域CRp與n型半導體區域CRn之境界，則形成PN接合。再者，與核心部CR中之p型半導體區域CRp連接的平板部SB，形成有p型半導體區域SBp；與核心部CR中之n型半導體區域CRn連接的平板部SB，形成有n型半導體區域SBn。p型半導體區域SBp的雜質濃度，高於p型半導體區域CRp的雜質濃度；n型半導體區域SBn的雜質濃度，高於n型半導體區域CRn的雜質濃度。又，核心部CR之膜厚，亦可與平板部SB之膜厚相等。

#### 【0026】

半導體層SL之主面及側壁，覆蓋著例如由二氧化矽( $\text{SiO}_2$ )形成的層間絕緣層IL。換言之，核心部CR的主面CRa及側壁CRs、以及平板部SB的主面SBa及側壁SBs，皆覆蓋著層間絕緣層IL。再者，層間絕緣層IL係不存在半導體層SL之區域，並與絕緣層BOX接觸。也就是說，半導體層SL之主面、背面、及側壁，皆受到層間絕緣層IL及絕緣層BOX包圍。絕緣層BOX及層間絕緣層IL之折射率，小於半導體層SL之折射率；而絕緣層BOX及層間絕緣層IL具有把光封入半導體層SL的包覆層之功能。

#### 【0027】

再者，如圖3所示，平板部SB之p型半導體區域SBp，經由插塞電極(導體層)PG而與電極(第1電極、配線、金屬配線)Mp連接；平板部SB之n型半導體區域SBn，

則是經由插塞電極(導體層)PG，而與電極(第2電極、配線、金屬配線)Mn連接。插塞電極PG，係形成於開口OP內；該開口OP設置於層間絕緣層IL，而使平板部SB之主面SBa露出。插塞電極PG，係由障壁導體層、與障壁導體層上之主導體層，所積層而成的結構。障壁導體層，係由例如鈦(Ti)或氮化鈦(TiN)等等所形成。其厚度係例如5~20nm左右。主導體層，係例如由鎢(W)所形成。再者，電極Mp及Mn，係由障壁導體層、與障壁導體層上的主導體層，所積層而成的結構。障壁導體層，係例如由鉭(Ta)、鈦(Ti)、氮化鉭(TaN)或氮化鈦(TiN)等等所形成。主導體層，係例如由鋁(Al)、銅(Cu)或鋁-銅合金(Al-Cu合金)所形成。

#### 【0028】

藉由對電極Mp及Mn供給所要的電位，就可以對於形成在核心部CR的PN接合部，施加順向偏壓或逆向偏壓。

#### 【0029】

於光調變器PC之相位調變部PM，係利用載子電漿效果，而以電子訊號來控制光的相位。所謂的載子電漿效果，係仰賴著存在於作為光導波區域之核心部CR的自由載子(電子及電洞)密度，而使核心部CR之折射率增減的現象。於相位調變部PM，係利用此現象，而對於所輸入之光，形成相位不同的光，並將其加以輸出。

#### 【0030】

如前文所述，於核心部CR形成有PN接合部，但在PN接合部，會產生稱為空乏層之自由載子密度偏低的區域。空乏層的寬度，可以藉由對PN接合部施加順向偏壓或逆向偏壓，而任意地變化。也就是說，藉由對PN接合部施加順向偏壓或逆向偏壓，來使核心部CR的自由載子密度變化，而得以任意地使核心部CR的折射率變化。然後，使得相對於核心部CR所傳遞之光的實效折射率(換言之，就是光的傳輸速度)變化，就可以使相位調變部PM所輸出之光的相位變化。

**【0031】**

具備此種相位調變部PM的光調變器PC，藉由調整偏壓電壓，而可以控制輸出光的相位狀態。就偏壓電壓而言，例如供給逆向偏壓電壓。再者，雖未圖示，不過在電極Mn及Mp之間，夾著開關(開關元件)；例如在開關導通(on)時，會對電極Mn側，供給比電極Mp側更高的電壓。在此，光的導波(傳播)方向(Y方向)、與偏壓電壓的電場方向(X方向)係正交。再者，偏壓電壓的電場方向，係前述空乏層之寬度所變動之方向，可以說是自由載子(電子及電洞)之實質的移動方向。本案之發明人，構思藉由提高自由載子(尤其是電洞)之移動度，以達成相位調變部PM(換言之，光調變器PC)之小型化、以及耗電量之降低。

**【0032】**

然後，於本實施形態，如圖3及圖4所示，係使偏壓電壓之電場方向(X方向)與半導體層SL之晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致。換言之，係使半導體層SL之寬度方向與晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致。藉由此結構，而在對相位調變部PM施加偏壓電壓之際，可以提升係自由載子之電洞的移動度，所以光調變器PC可以高速動作，並可達成光調變器PC之小型化、以及耗電量之降低。

**【0033】**

如圖4所示，例如，於晶向 $\langle 110 \rangle$ 具有切口NC之半導體晶圓WF的主面上，形成了具有光調變器PC的半導體晶片CH。半導體晶圓WF的主面，例如係晶面 $\{ 100 \}$ 。又，切口NC，亦可形成於晶向 $\langle 100 \rangle$ 。於半導體晶圓WF，僅繪示了1個半導體晶片CH，但實際上係行列狀地形成了許多個半導體晶片CH。在此，光調變器PC之光的導波方向，係與作為Y方向之晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致。然後，相位調變部PM之偏壓電壓的電場方向，係與作為X方向之晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致。也就是說，由於在對相位調變部PM施加偏壓電壓之際，在圖3所示之核心部CR，作為

自由載子的電洞，實質上會朝向與晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致的方向移動，所以作為自由載子之電洞的移動度就會提升。

#### 【0034】

再者，如圖3所示，半導體層SL之主面及側壁，覆蓋著由二氧化矽( $\text{SiO}_2$ )形成的層間絕緣層IL。然後，形成於半導體層SL之核心部CR的主面CRa及側壁CRs、以及平板部SB的主面SBa及側壁SBs，會與層間絕緣層IL接觸。

#### 【0035】

如此這般，於相位調變部PM，藉由使得偏壓電壓之電場方向(換言之，作為自由載子之電洞的移動方向)，與半導體層SL之晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致，而可以提升電洞的移動度。

#### 【0036】

順帶一提，圖11係繪示比較例之光調變器之結構的俯視圖。光調變器PC1係形成於例如在晶向 $\langle 110 \rangle$ 具有切口NC之半導體晶圓WF1的主面上。半導體晶圓WF1的主面，係例如晶面 $\{100\}$ 。光調變器PC1之光的導波方向，係配置於晶向 $\langle 110 \rangle$ 。然後，相位調變部PM之偏壓電壓的電場方向，係配置於晶向 $\langle 110 \rangle$ 。在對相位調變部PM施加偏壓電壓之際，作為自由載子之電洞，會朝向晶向 $\langle 110 \rangle$ 移動。

#### 【0037】

本實施形態之光調變器PC，相較於比較例之光調變器PC1，能實現大約2成之耗電量的降低。本案發明人對於耗電量之降低要因，分析如下。也就是說，藉由以晶向 $\langle 100 \rangle$ 作為相位調變部PM之偏壓電壓的電場方向，而提升作為自由載子之電洞(正孔)的移動度。此推測係由於電洞之有效質量會變小所致。從(式1)可知，若電洞之有效質量變小，則會引發大的載子電漿效果，所以可以加大折射率之變化量。

【0038】

【數1】

$$\Delta n = -\frac{e^2 \lambda^2}{8\pi^2 c^2 \epsilon_0 n} \left( \frac{\Delta N_e}{m_e} + \frac{\Delta N_h}{m_h} \right) \quad \dots(\text{式1})$$

式中， $\Delta n$ 代表矽層之折射率變化的實部及虛部。 $e$ 係電荷， $\lambda$ 係光波長， $\epsilon_0$ 係真空中的介電係數， $n$ 係本徵半導體矽的折射率， $m_e$ 係電子載子的有效質量， $m_h$ 係電洞載子的有效質量， $\Delta N_e$ 係電子載子的濃度變化， $\Delta N_h$ 係電洞載子的濃度變化。

【0039】

因此，藉由提升作為自由載子之電洞的移動度，而可以達成光調變器PC之小型化(換言之，相位調變部PM的縮短)、以及耗電量之降低(換言之，低偏壓電壓)。

【0040】

<<相位調變部之製造方法>>

針對作為本實施形態之半導體裝置之局部的相位調變部之製造方法，使用圖5～圖9，依步驟順序進行說明。圖5～圖9係於本實施形態之相位調變部之製程中的剖面圖。

【0041】

首先，如圖5所示，準備由以下所構成的SOI基板(於此階段，係稱作「SOI晶圓」而平面大致圓形的基板)：半導體基板SUB、形成在半導體基板SUB之主面上的絕緣層BOX、以及形成在絕緣層BOX上的半導體層SL0。此SOI基板，對應於以圖4說明過的半導體晶圓WF。

【0042】

半導體基板SUB係由單晶矽(Si)所形成之支架基板，絕緣層BOX係由二氧化矽(SiO<sub>2</sub>)所形成，半導體層SL0係由單晶矽(Si)所形成。半導體層SL0之主面SL0a，具有晶面{100}。半導體基板SUB之厚度，係例如750 $\mu$ m左右。絕緣層BOX之厚度，係例如2~3 $\mu$ m左右。半導體層SL0之厚度，係例如100~400nm左右，不過在此設為200nm以作為一例。又，為了將光封入半導體層SL，絕緣層BOX之折射率小於半導體層SL0之折射率。

#### 【0043】

接著，如圖6所示，對前述之半導體層SL0施用光微影技術及蝕刻技術，以形成具有凸條結構的半導體層SL。半導體層SL，具有核心部CR、以及位於其兩側之一對平板部SB。在X方向上，半導體層SL的寬度W1係例如5 $\mu$ m。然後，在X方向上，核心部CR係位於半導體層SL之中央部，核心部CR之寬度W2係例如400~600nm。核心部CR之膜厚T1係例如200nm，平板部SB之膜厚T2係例如100nm。因此，自平板部SB之主面SBa突出的核心部CR之膜厚T3，係例如100nm。

#### 【0044】

接著，如圖7所示，對核心部CR的局部區域注入p型雜質(例如硼(B))，以形成p型半導體區域CRp。更進一步地，於核心部CR，對p型半導體區域CRp以外的區域注入n型雜質(例如磷(P)或者是砷(As))，以形成n型半導體區域CRn。於核心部CR，p型半導體區域CRp與n型半導體區域CRn，係彼此接觸，並形成PN接合(PN接合部)。

#### 【0045】

更進一步地，對一邊之平板部SB注入p型雜質(例如硼(B))，以形成p型半導體區域SBp而使其與p型半導體區域CRp接觸；對另一邊的平板部SB注入n型雜質(例如磷(P)或砷(As))，以形成n型半導體區域SBn而使其與n型半導體區域CRn接觸。

## 【0046】

在此，p型半導體區域SBp的雜質濃度，高於p型半導體區域CRp的雜質濃度，而p型半導體區域SBp的阻抗低於p型半導體區域CRp。再者，n型半導體區域SBn的雜質濃度，高於n型半導體區域CRn的雜質濃度，而n型半導體區域SBn的阻抗低於n型半導體區域CRn。再者，p型半導體區域CRp及n型半導體區域CRn的雜質濃度，較佳係使其為 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。p型半導體區域CRp及n型半導體區域CRn的雜質濃度，較佳係例如對於「向形成於核心部CR的PN接合施加逆向偏壓而形成的空乏層之寬度」進行控制，而使其為 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上。再者，p型半導體區域CRp及n型半導體區域CRn的雜質濃度，例如為了防止在核心部CR傳播之光的散射，所以較佳係使其為 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下。再者，關於p型半導體區域SBp及n型半導體區域SBn的雜質濃度，為了要設為低阻抗，較佳係 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上。

## 【0047】

接著，如圖8所示，形成層間絕緣層IL以覆蓋半導體層SL。層間絕緣膜IL，例如係由具有壓縮應力的二氧化矽( $\text{SiO}_2$ )所形成。核心部CR之主面CRa及側壁CRs、以及平板部SB之主面SBa及側壁SBs，皆與層間絕緣層IL接觸。然後，在X方法及Y方向上，核心部CR及平板部SB皆承受來自層間絕緣層IL的壓縮應力。再者，為了將光封入半導體層SL，層間絕緣膜IL之折射率，會小於半導體層SL0的折射率。更進一步地，為了不讓半導體層SL0所透出的漏光(瞬逝光；evanescent light)之散射導致導波光減損，層間絕緣層IL之膜厚，較佳係 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 。

## 【0048】

接著，如圖9所示，在層間絕緣層IL形成開口OP，而露出一對平板部SB之主面SBa的局部。接著，在開口OP內形成插塞電極PG。接著，形成以圖3所說明過的電極Mp及Mn，並經由插塞電極PG而使電極Mp與平板部SB之p型半導體層

SB<sub>p</sub>連接，並經由插塞電極PG而使電極M<sub>n</sub>與平板部SB之n型半導體層SB<sub>n</sub>連接。如此一來就完成了本實施形態之半導體裝置的相位調變部PM。

#### 【0049】

根據本實施形態，係以單晶矽所形成之半導體層SL，來形成光調變器PC的相位調變部PM；半導體層SL在與作為光之導波方向的第1方向(Y方向)正交的第2方向(X方向)上，具有第1寬度W<sub>1</sub>，而在第1方向上則具有大於第1寬度W<sub>1</sub>的第1長度L<sub>1</sub>。半導體層SL，具有在第1方向上延伸的核心部CR、以及配置於核心部CR之兩端的第1平板部SB及第2平板部SB；該核心部CR包含p型半導體區域CR<sub>p</sub>及n型半導體區域CR<sub>n</sub>。更進一步地，第1平板部SB連接第1電極M<sub>p</sub>，第2平板部SB連接第2電極M<sub>n</sub>。然後，作為半導體層SL之寬度方向的第2方向(X方向)，係與半導體層SL之晶向<100>一致。

#### 【0050】

藉由此種結構，於相位調變部PM，可以使作為自由載子之電洞的移動方向與晶向<100>一致，而可以使電洞的移動度相較於例如比較例更為提升，所以可以實現相位調變部PM之小型化或耗電量之降低。

#### 【0051】

再者，構成核心部CR的p型半導體區域CR<sub>p</sub>及n型半導體區域CR<sub>n</sub>，具有PN接合部，藉由使得施加在PN接合之電場的方向，與半導體層SL之晶向<100>一致，就可以提升電洞的移動度。

#### 【0052】

##### <變形例1>

變形例1，係上述實施形態之相位調變部PM的變形例。變形例1的相位調變部PM<sub>1</sub>，係以本徵半導體區域CR<sub>i</sub>來形成核心部CR。對於與上述實施形態共通的部分，會標註同樣的符號。



**【0053】**

圖10係繪示變形例1之相位調變部之結構的剖面圖。如圖10所示，半導體層SL1具有：作為光導波區域的核心部CR、以及配置於核心部CR之兩端的一對平板部SB。此外，核心部CR係以本徵半導體區域CRi所構成。在X方向上接觸核心部CR之一端的平板部SB，形成了p型半導體區域SBp；接觸另一端的平板部SB，形成了n型半導體區域SBn。也就是說，在半導體層SL1，形成了PIN二極體(正一本一負二極體)。在變形例1的相位調變部PM1，係對於電極Mp及Mn之間，施加例如順向偏壓，而藉由使核心部CR的自由載子(電子及電洞)密度變化，以利用載子電漿效果，使核心部CR的光之折射率變化。

**【0054】**

與上述實施形態相同，藉由使得施加在PIN二極體之偏壓電壓的電場方向，與半導體層SL1之晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致，而可以提升電洞的移動度，實現相位調變部PM1之小型化及耗電量之降低。

**【0055】**

變形例1的相位調變部PM1之平面結構，係將圖2中的核心部CR之p型半導體區域CRp及n型半導體區域CRn，置換成本徵半導體區域CRi的結構。也就是說，施加於PIN二極體之偏壓電壓的電場方向(換言之，係作為自由載子之電洞的移動方向)，係與半導體層SL1之寬度方向(圖2的X方向)一致。

**【0056】**

以上基於實施形態，針對本案發明人之發明進行了具體的說明，但本發明並不限定於前述實施形態，只要在不脫離其要旨之範圍內可進行各種變更，該等變更當然皆包含在本發明之範圍內。

**【符號說明】**

## 【0057】

BOX	絕緣層(埋入絕緣層)
CH	半導體晶片(半導體裝置)
CR	核心部(光導波區域，厚板部)
CRa	主面
CRb	裏面
CRs	側壁
CRi	本徵半導體區域
CRn	n型半導體區域(第2半導體區域)
CRp	p型半導體區域(第1半導體區域)
IL	層間絕緣層
Mn	電極(第2電極，配線，金屬配線)
Mp	電極(第1電極，配線，金屬配線)
NC	切口
OP	開口
PC、PC1	光調變器
PG	插塞電極(導體層)
PM、PM1	相位調變部
SB	平板部(薄板部)
SBa	主面
SBb	裏面
SBs	側壁
SBn	n型半導體區域
SBp	p型半導體區域

SL、SL0、SL1 半導體層

SL0a 主面

SUB 半導體基板

WF、WF1 半導體晶圓

WGa、WGb 光導波路(分配光導波路)

WGin 光導波路(輸入用光導波路)

WGout 光導波路(輸出用光導波路)

X 第2方向

Y 第1方向

L1 長度

T1、T2、T3 膜厚

W1、W2 寬度



201901979

**【發明摘要】****【中文發明名稱】** 半導體裝置**【中文】**

本發明之課題係實現內建有矽光調變器之半導體裝置的小型化。

其解決手段係提供一種半導體裝置，具有光調變器，此光調變器依序連接第1光導波路、相位調變部PM、第2光導波路，並在第1方向Y上將光加以導波；相位調變部PM具有：半導體層SL，由單晶矽所形成，且第1方向Y上的長度L1，大於與第1方向Y正交之第2方向X上的寬度W1；核心部CR，係形成於半導體層SL的光導波區域，並在第1方向Y上延伸；一對平板部SB，在第2方向X上配置於核心部CR之兩側；第1電極Mp，與其中一個平板部SB連接；以及第2電極Mn，與另一個平板部SB連接。然後，核心部CR具有在第1方向Y上延伸之p型半導體區域CRp及n型半導體區域CRn；第2方向X，係與半導體層SL的晶向<100>一致。

**【指定代表圖】** 圖2**【代表圖之符號簡單說明】**

- CR 核心部
- CRn n型半導體區域
- CRp p型半導體區域
- Mn 第2電極
- Mp 第1電極
- PM 相位調變部
- SB 平板部

SBn n型半導體區域

SBp p型半導體區域

SL 半導體層

WGa 光導波路

X 第2方向

Y 第1方向

L1 長度

W1 寬度

【特徵化學式】 無

## 【發明申請專利範圍】

### 【第1項】

一種半導體裝置，包括光調變器，該光調變器依序連接第1光導波路、相位調變部、第2光導波路，並在第1方向上將光加以導波；

該相位調變部包括：

半導體層，由單晶矽所形成，在與該第1方向正交之第2方向上具有第1寬度，並且於該第1方向具有大於該第1寬度的第1長度；

核心部，係形成於該半導體層的光導波區域，並在該第1方向上延伸；

第1平板部及第2平板部，形成於該半導體層，並且在該第2方向上配置於該核心部之兩側；

第1電極，與該第1平板部連接；以及

第2電極，與該第2平板部連接；

該核心部包括在該第1方向上延伸之p型的第1半導體區域、以及在該第1方向上延伸之n型的第2半導體區域；

該第1平板部，包括與該第1半導體區域連接之該p型的第3半導體區域；

該第2平板部，包括與該第2半導體區域連接之該n型的第4半導體區域；該第2方向，係與該半導體層的晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致。

### 【第2項】

如申請專利範圍第1項之半導體裝置，其中，

該第1半導體區域與該第2半導體區域，形成PN接合；

由該第1電極及該第2電極對該PN接合所施加之電場的方向，與該晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致。

### 【第3項】

如申請專利範圍第1項之半導體裝置，其中，

該第1半導體區域及該第2半導體區域的雜質濃度，係 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上，且係 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下。

**【第4項】**

如申請專利範圍第1項之半導體裝置，其中，

該第3半導體區域的雜質濃度，高於該第1半導體區域的雜質濃度；該第4半導體區域的雜質濃度，高於該第2半導體區域的雜質濃度。

**【第5項】**

如申請專利範圍第1項之半導體裝置，其中，

該核心部之膜厚，係大於或等於該第1平板部及該第2平板部之膜厚。

**【第6項】**

如申請專利範圍第1項之半導體裝置，其中，更包括：

第1絕緣層，與該核心部之該半導體層的背面、以及該第1平板部及該第2平板部之該半導體層的背面接觸；

該第1絕緣層的折射率，低於該半導體層的折射率。

**【第7項】**

如申請專利範圍第6項之半導體裝置，其中，更包括：

第2絕緣層，覆蓋該核心部之該半導體層的主面及側壁、以及該第1平板部及該第2平板部之該半導體層的主面及側壁，並與該第1絕緣層接觸；

該第2絕緣層的折射率，低於該半導體層的折射率。

**【第8項】**

如申請專利範圍第1項之半導體裝置，其中，

該第1電極及該第2電極，係在該第1方向上延伸。

**【第9項】**

一種半導體裝置，包括光調變器，該光調變器依序連接第1光導波路、相位調變部、第2光導波路，並在第1方向上將光加以導波；

該相位調變部包括：

半導體層，由單晶矽所形成，在與該第1方向正交之第2方向上具有第1寬度，並且於該第1方向具有大於該第1寬度的第1長度；

核心部，係形成於該半導體層的光導波區域，並在該第1方向上延伸；

第1平板部及第2平板部，形成於該半導體層，並且在該第2方向上配置於該核心部之兩側；

第1電極，與該第1平板部連接；以及

第2電極，與該第2平板部連接；

該核心部，包括本徵半導體區域；

該第1平板部，包括與該本徵半導體區域連接之p型的第1半導體區域；

該第2平板部，包括與該本徵半導體區域連接之n型的第2半導體區域；

該第2方向，係與該半導體層的晶向 $\langle 100 \rangle$ 一致。

#### 【第10項】

如申請專利範圍第9項之半導體裝置，其中，更包括：

第1絕緣層，與該核心部之該半導體層的背面、以及該第1平板部及該第2平板部之該半導體層的背面接觸；以及

第2絕緣層，覆蓋該核心部之該半導體層的主面及側壁、以及該第1平板部及該第2平板部之該半導體層的主面及側壁，並與該第1絕緣層接觸；

該第1絕緣層及該第2絕緣層的折射率，低於該半導體層的折射率。





















