

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-91164  
(P2011-91164A)

(43) 公開日 平成23年5月6日(2011.5.6)

(51) Int.Cl.  
H01S 5/026 (2006.01)

F I  
H01S 5/026 616

テーマコード(参考)  
5F173

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2009-242721 (P2009-242721)  
(22) 出願日 平成21年10月21日(2009.10.21)

(71) 出願人 000002130  
住友電気工業株式会社  
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
(74) 代理人 100088155  
弁理士 長谷川 芳樹  
(74) 代理人 100092657  
弁理士 寺崎 史朗  
(74) 代理人 100113435  
弁理士 黒木 義樹  
(74) 代理人 100108257  
弁理士 近藤 伊知良  
(72) 発明者 橋本 順一  
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内  
Fターム(参考) 5F173 AA05 AB13 AD12 AH14 AP05  
AP09 AP33 AR99

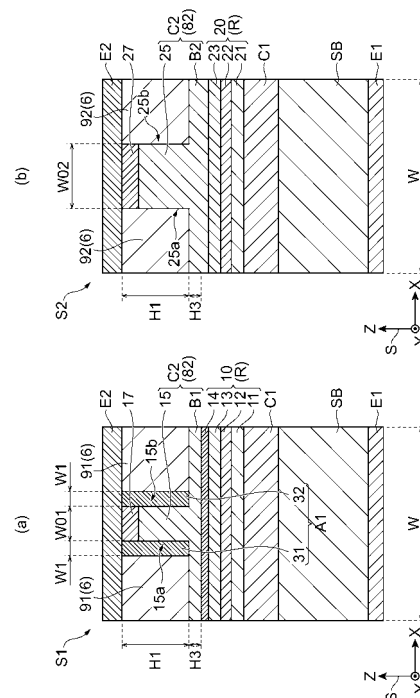
(54) 【発明の名称】 半導体集積素子

(57) 【要約】

【課題】テーパー領域を用いずに、導波光の接続損失を抑制することが可能な半導体集積素子を提供すること。

【解決手段】第一クラッド層C1と、第一リッジ部15及び第二リッジ部25を有する第二クラッド層C2と、第一コア層10及び第二コア層20を有し、第一クラッド層C1と第二クラッド層C2との間に設けられたコア領域と、埋め込み層6とを備え、第一リッジ部15の幅は第二リッジ部25の幅と異なり、第一コア層10は第二コア層20とバットジョイント法により接続されており、第一半導体光素子S1は第一クラッド層C1、第一コア層10、第二クラッド層C2、第一調整層A1、及び埋め込み層6を含み、第一調整層A1は、埋め込み層6と第一リッジ部15との間に設けられ、第一リッジ部15に接して所定の軸方向に延在し、第一調整層A1の屈折率は第一コア層10の屈折率より低く埋め込み層6の屈折率より高い、半導体集積素子1。

【選択図】図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第一半導体光素子及び第二半導体光素子を含む半導体集積素子であって、半導体基板上に設けられた第一クラッド層と、所定の軸方向に配列された第一及び第二リッジ部を有する第二クラッド層と、前記所定の軸方向に配列された第一及び第二コア層を有し、前記第一クラッド層と前記第二クラッド層との間に設けられたコア領域と、前記第一リッジ部を埋め込む埋め込み層と、を備え、前記第一リッジ部の幅は、前記第二リッジ部の幅と異なり、前記第一コア層は、前記第二コア層とバットジョイント法により接続されており、前記第一クラッド層、前記第一コア層、前記第二コア層、及び前記第二クラッド層は、半導体材料からなり、前記埋め込み層は、絶縁性材料からなり、前記第一半導体光素子は、前記第一クラッド層と、前記第一コア層と、前記第二クラッド層と、第一調整層と、前記埋め込み層と、を含み、前記第一調整層は、前記埋め込み層と前記第一リッジ部との間に設けられ、前記第一調整層は、前記第一リッジ部に接して前記所定の軸方向に延在し、前記第一調整層の屈折率は、前記第一コア層の屈折率より低く、前記埋め込み層の屈折率より高く、前記第二半導体光素子は、前記第一クラッド層と、前記第二コア層と、前記第二クラッド層と、を含む、半導体集積素子。

10

20

## 【請求項 2】

前記絶縁性材料は、ポリイミドまたは B C B である、請求項 1 に記載の半導体集積素子。

## 【請求項 3】

前記第二半導体光素子は、前記埋め込み層と第二調整層とを更に含み、前記埋め込み層は前記第二リッジ部を埋め込み、前記第二調整層の屈折率は、前記第二コア層の屈折率より低く、前記埋め込み層の屈折率より高く、前記第二調整層は、前記埋め込み層と前記第二リッジ部との間に設けられ、前記第二調整層は、前記第二リッジ部に接して前記所定の軸方向に延在している、請求項 1 または 2 に記載の半導体集積素子。

30

## 【請求項 4】

前記第一調整層は、InP、GaInAsP、GaInAs、AlGaInAs、及び AlInAs のうちのいずれかの半導体材料から構成されている、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の半導体集積素子。

## 【請求項 5】

前記第一調整層は、酸化チタン、酸化タンタル、酸化ジルコニウム、及び a - Si のうちのいずれかの材料から構成されている、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の半導体集積素子。

40

## 【請求項 6】

前記第一半導体光素子は、前記第一調整層及び前記埋め込み層に挟まれた第三調整層を更に有し、前記第三調整層の屈折率は、前記第一調整層の屈折率より低く、前記埋め込み層の屈折率より高い、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の半導体集積素子。

## 【請求項 7】

前記第二半導体光素子は、前記第二調整層及び前記埋め込み層に挟まれた第四調整層を更に有し、前記第四調整層の屈折率は、前記第二調整層の屈折率より低く、前記埋め込み層の屈折率より高い、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の半導体集積素子。

50

## 【請求項 8】

前記第一半導体光素子及び前記第二半導体光素子の一方が発光素子である、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の半導体集積素子。

## 【請求項 9】

前記第一半導体光素子及び前記第二半導体光素子の他方が電界吸収型光変調器である、請求項 8 に記載の半導体集積素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、光通信、光記録、光計測等に使用される半導体集積素子に関するものである 10

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、半導体レーザーダイオードなどの光源、光変調器、光増幅器、合分波器などの異種類の半導体光素子をバットジョイント法により接続し、1枚の半導体基板上に集積する半導体集積素子の開発が進んでいる。例えば、特許文献 1 には、メサ構造のゲイン領域及びリング共振器をバットジョイント法により接続した半導体波長可変レーザーが記載されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

20

## 【0003】

【特許文献 1】特開 2008 - 66318 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

異種類の半導体光素子では、光導波路を構成する第二クラッド層、コア層、及び第一クラッド層などの材料の違いに起因して、導波光のビーム形状が異なる。故に、異種類の半導体光素子の光導波路をバットジョイント法により接続すると、接続境界で導波光が乱反射する。従って、導波光の接続損失が生じる。

## 【0005】

30

特許文献 1 はメサ構造を採用しており、光導波路を構成する第二クラッド層はリッジ構造ではない。特許文献 1 において、バットジョイント法により接続された一方の半導体光素子のメサ幅は、他方の半導体光素子のメサ幅と同じである。この一方の半導体光素子のメサは、半絶縁性材料とポリイミドに埋め込まれている。対して、この他方の半導体光素子のメサは、ポリイミドに埋め込まれている。故に、この一方の半導体光素子における伝播光のモード形状は、この他方の半導体光素子における伝播光のモード形状と異なる。接続損失を低減するために、特許文献 1 では、メサ構造のゲイン領域及びリング共振器の間に、テーパ領域を設けている。テーパ領域により、一方の半導体光素子のモード形状を他方の半導体光素子のモード形状に徐々に連続的に近づけている。しかしながら、テーパ領域を付加することによって素子長が増加する。故に、半導体集積素子の小型化、低 40

## 【0006】

そこで、本発明は、テーパ領域を用いずに、導波光の接続損失を抑制することが可能な半導体集積素子を提供することを課題とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

本発明の半導体集積素子は、第一半導体光素子及び第二半導体光素子を含む半導体集積素子であって、半導体基板の上に設けられた第一クラッド層と、所定の軸方向に配列された第一及び第二リッジ部を有する第二クラッド層と、所定の軸方向に配列された第一及び第二コア層を有し、第一クラッド層と第二クラッド層との間に設けられたコア領域と、第一 50

リッジ部を埋め込む埋め込み層と、を備え、第一リッジ部の幅は第二リッジ部の幅と異なり、第一コア層は、第二コア層とバットジョイント法により接続されており、第一クラッド層、第一コア層、第二コア層、及び第二クラッド層は、半導体材料からなり、埋め込み層は絶縁性材料からなる。第一半導体光素子は、第一クラッド層と、第一コア層と、第二クラッド層と、第一調整層と、埋め込み層と、を含み、第一調整層は、埋め込み層と第一リッジ部との間に設けられ、第一調整層は、第一リッジ部に接して所定の軸方向に延在し、第一調整層の屈折率は、第一コア層の屈折率より低く、埋め込み層の屈折率より高い。第二半導体光素子は、第一クラッド層と、第二コア層と、第二クラッド層と、を含んでいる。

**【0008】**

本発明の半導体光集積素子では、第一半導体光素子では、第二クラッド層、第一コア層、及び第一クラッド層を含む光導波路に光が伝播する。第二半導体光素子では、第二クラッド層、第二コア層、及び第一クラッド層を含む光導波路に光が伝播する。第一コア層の屈折率と埋め込み層の屈折率との間の屈折率を有する第一調整層が、第一リッジ部に接して所定の軸方向に延在している。第一半導体光素子の第一リッジ部の隣に第一調整層を付加することにより、第一クラッド層、コア領域、及び第二クラッド層の積層方向と、所定の軸方向と、に直交する方向（以下、第一方向ともいう）における導波光の閉じ込めが弱まる。その結果、第一半導体光素子の導波光のビーム形状は、第一方向に広がる。一方、所定の軸方向に直交する方向であり、なおかつ、第一クラッド層、コア領域、及び第二クラッド層の積層方向と同じ方向（以下、第二方向ともいう）において、第一半導体光素子の導波光のビーム形状は、第一方向の広がりに連動して、逆に狭まる方向に変化する。故に、第一半導体光素子のビーム形状は、第二半導体光素子のビーム形状に近づく。よって、第一半導体光素子における導波光のビーム形状と、第二半導体光素子における導波光のビーム形状との違いを縮小できるので、第一半導体光素子と第二半導体光素子とのバットジョイント接続界面における導波光の散乱を低減できる。従って、テーパ領域を用いずに、導波光の接続損失を抑制できる。

**【0009】**

本発明の半導体集積素子において、絶縁性材料は、ポリイミドまたはBCB（ベンゾシクロブテン）であることが好ましい。ポリイミドまたはBCBは、高抵抗性を有する。また、ポリイミドまたはBCBは、電流をブロックする機能を有する。故に、ポリイミドまたはBCBは、埋め込み層を構成する材料として好適である。

**【0010】**

本発明の半導体集積素子において、第二半導体光素子は、埋め込み層と第二調整層とを更に含み、埋め込み層は第二リッジ部を埋め込み、第二調整層の屈折率は、第二コア層の屈折率より低く、埋め込み層の屈折率より高く、第二調整層は、埋め込み層と第二リッジ部との間に設けられ、第二調整層は、第二リッジ部に接して所定の軸方向に延在していることが好ましい。

**【0011】**

この半導体集積素子では、第二調整層が、第二リッジ部に接して所定の軸方向に延在している。この第二調整層は、第二コア層と埋め込み層との間の屈折率を有する。故に、第一調整層のみならず第二調整層を用いることにより、第一半導体光素子における導波光のビーム形状と第二半導体光素子における導波光のビーム形状との違いを縮小できる。従って、ビーム形状の違いを縮小するための設計の自由度が増す。

**【0012】**

本発明の半導体集積素子において、第一調整層は、InP、GaInAsP、GaInAs、AlGaInAs、及びAlInAsのうちのいずれかの半導体材料から構成されていることが好ましい。これらの半導体材料は、半導体基板上に形成することが可能である。また、これらの半導体材料は、第一コア層と埋め込み層との間の屈折率を有することができる。従って、これらの半導体材料を用いた第一調整層は、第一半導体光素子における導波光のビーム形状と第二半導体光素子における導波光のビーム形状との違いを縮小す

10

20

30

40

50

る層として、好適である。

【0013】

本発明の半導体集積素子において、第一調整層は、酸化チタン、酸化タンタル、酸化ジルコニウム、及び a - S i のうちのいずれかの材料から構成されていることが好ましい。当該材料は、半導体基板上に形成することが可能である。当該材料は、第一コア層の屈折率と、埋め込み層を構成しうる材料の屈折率との間の屈折率を有する。従って、当該材料を用いた第一調整層は、第一半導体光素子における導波光のビーム形状と第二半導体光素子における導波光のビーム形状との違いを縮小する層として、好適である。

【0014】

本発明の半導体集積素子において、第一半導体光素子は、第一調整層及び埋め込み層に挟まれた第三調整層を更に有し、第三調整層の屈折率は、第一調整層の屈折率より低く、埋め込み層の屈折率より高いことが好ましい。

10

【0015】

この半導体集積素子によれば、第三調整層が第一調整層及び埋め込み層に挟まれている。故に、第一半導体光素子における導波光のビーム形状と第二半導体光素子における導波光のビーム形状との違いを縮小するために、第三調整層をも用いることができる。従って、ビーム形状の違いを縮小するための設計の自由度がさらに増す。

【0016】

本発明の半導体集積素子において、第二半導体光素子は、第二調整層及び埋め込み層に挟まれた第四調整層を更に有し、第四調整層の屈折率は、第二調整層の屈折率より低く、埋め込み層の屈折率より高いことが好ましい。

20

【0017】

この半導体集積素子によれば、第四調整層が、第二調整層及び埋め込み層に挟まれている。故に、第一半導体光素子における導波光のビーム形状と第二半導体光素子における導波光のビーム形状との違いを縮小するために、第四調整層をも用いることができる。従って、ビーム形状の違いを縮小するための設計の自由度がさらに増す。

【0018】

本発明の半導体集積素子において、第一半導体光素子及び第二半導体光素子の一方が、発光素子であることが好ましい。この半導体集積素子によれば、第一調整層が設けられていることにより、第一半導体光素子及び第二半導体光素子の接続境界での導波光の乱反射と、この導波光の乱反射による接続損失を抑制できる。従って、導波光のビーム形状の悪化、及び出射光の出力低下といった、素子特性の劣化を抑制できる。

30

【0019】

本発明の半導体集積素子において、第一半導体光素子及び第二半導体光素子の他方が、電界吸収型光変調器であることが好ましい。この半導体集積素子によれば、電界吸収型光変調器と、第一半導体光素子または第二半導体光素子との接続境界での導波光の乱反射と、この導波光の乱反射による接続損失を抑制できる。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、テーパー領域を用いずに、導波光の接続損失を抑制することが可能な半導体集積素子を提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】図1は、第一実施形態に係る半導体集積素子を概略的に示す断面図である。

【図2】図2(a)は、図1のIIA-IIA線に沿った断面図である。図2(b)は、図1のIIB-IIB線に沿った断面図である。

【図3】図3は、図1のIII-III線に沿った断面図である。

【図4】図4(a)~(c)は、導波光のビームの強度分布の一例を示す図面である。

【図5】図5(a)~(b)は、実効屈折率の計算の一例を示す説明図である。

【図6】図6は、実効屈折率の計算の一例を示す説明図である。

50

【図 7】図 7 ( a ) ~ ( g ) は、第一実施形態に係る半導体集積素子の製造方法の一例を示す模式図である。

【図 8】図 8 ( a ) ~ ( d ) は、第一実施形態に係る半導体集積素子の製造方法の一例を示す模式図である。

【図 9】図 9 ( a ) ~ ( d ) は、第一実施形態に係る半導体集積素子の製造方法の一例を示す模式図である。

【図 10】図 10 ( a ) ~ ( d ) は、第一実施形態に係る半導体集積素子の製造方法の一例を示す模式図である。

【図 11】図 11 は、図 2 の変形例を示す断面図である。

【図 12】図 12 は、図 3 の変形例を示す断面図である。

【図 13】図 13 ( a ) ~ ( d ) は、導波光のビームの強度分布の一例を示す図面である。

【図 14】図 14 は、図 2 の変形例を示す断面図である。

【図 15】図 15 は、図 3 の変形例を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一の要素には同一の符号を付す。全ての図には、XYZ 直交座標系 S が示されている。

【0023】

(第一実施形態)

図 1 は、半導体集積素子 1 を概略的に示す断面図である。図 2 ( a ) は、図 1 のIIA - IIA 線に沿った断面図である。図 2 ( b ) は、図 1 のIIB - IIB 線に沿った断面図である。図 3 は、図 1 のIII - III 線に沿った断面図である。

【0024】

半導体集積素子 1 は、第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 を含む。第一半導体光素子 S 1 は、例えば分布帰還型 (DFB) レーザダイオードなどの発光素子である。第二半導体光素子 S 2 は、例えば電界吸収型光変調器 (EA) である。第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 は、接続境界 K において、バットジョイント法により接続されている。半導体集積素子 1 は、半導体基板 S B と、第一クラッド層 C 1 と、第二クラッド層 C 2 と、コア領域 R と、埋め込み層 6 とを備えている。コア領域 R は、所定の軸 Ax 方向に配列された第一コア層 10 及び第二コア層 20 を有する。第一コア層 10 は、第二コア層 20 とバットジョイント法により接続されている。第一コア層 10 と第二コア層 20 との境界に、接続界面が形成されている。コア領域 R は、第一クラッド層 C 1 と第二クラッド層 C 2 との間に設けられている。

【0025】

第一半導体光素子 S 1 は、半導体基板 S B と、第一クラッド層 C 1 と、第一コア層 10 と、第二クラッド層 C 2 と、第一調整層 A 1 と、埋め込み層 6 と、を含んでいる。具体的には、第一半導体光素子 S 1 は、第一クラッド層 C 1 の第一領域 7 1 と、第一コア層 10 と、第二クラッド層 C 2 の第一領域 8 1 と、第一調整層 A 1 と、埋め込み層 6 の第一領域 9 1 と、を含む。

【0026】

第二半導体光素子 S 2 は、半導体基板 S B と、第一クラッド層 C 1 と、第二コア層 20 と、第二クラッド層 C 2 と、を含んでいる。具体的には、第二半導体光素子 S 2 は、第一クラッド層 C 1 の第二領域 7 2 と、第二コア層 20 と、第二クラッド層 C 2 の第二領域 8 2 と、埋め込み層 6 の第二領域 9 2 と、を含む。本実施形態では、第二半導体光素子 S 2 には調整層が設けられていない。

【0027】

半導体基板 S B は、所定の軸 Ax 方向に配列された第一エリア 6 1 及び第二エリア 6 2 を有する主面 a 1 を含む。所定の軸 Ax は、Y 軸に平行な方向に向く。半導体基板 S B の

10

20

30

40

50

主面 a 1 は、XY 面と平行に延在する。半導体基板 S B は、主面 a 1 と対向する裏面 a 2 を含む。

【0028】

第一クラッド層 C 1 は、半導体基板 S B 上に設けられている。第一クラッド層 C 1 は、所定の軸 A x 方向に配置され、第一エリア 6 1 上に設けられた第一領域 7 1 及び第二エリア 6 2 上に設けられた第二領域 7 2 を有する。第一クラッド層 C 1 は、半導体基板 S B の主面 a 1 に接していても良い。

【0029】

第二クラッド層 C 2 は、第一クラッド層 C 1 上に設けられている。第二クラッド層 C 2 は、所定の軸 A x 方向に配置され、第一エリア 6 1 上に設けられた第一領域 8 1 及び第二エリア 6 2 上に設けられた第二領域 8 2 を有する。第二クラッド層 C 2 は、所定の軸 A x 方向に配列された第一リッジ部 1 5 及び第二リッジ部 2 5 を有する。具体的には、第二クラッド層 C 2 の第一領域 8 1 が第一リッジ部 1 5 を有し、第二クラッド層 C 2 の第二領域 8 2 が第二リッジ部 2 5 を有する。第一リッジ部 1 5 は、第一コア層 1 0 の幅 W よりも狭い幅 W O 1 を有する。第一リッジ部 1 5 の幅 W O 1 は一定である。第一リッジ部 1 5 の幅 W O 1 は、所定の軸 A x 方向に直交する方向と、半導体基板 S B と平行な方向（図 3 では X 方向）とにおいて、一定である。図 3 に示す例では、第一リッジ部 1 5 の幅 W O 1 は、半導体集積素子 1 の一端 P から接続境界 K に亘って一定である。第二リッジ部 2 5 は、第二コア層 2 0 の幅 W よりも狭い幅 W O 2 を有する。第二リッジ部 2 5 の幅 W O 2 は一定である。第二リッジ部 2 5 の幅 W O 2 は、所定の軸 A x 方向に直交する方向と、半導体基板 S B と平行な方向（図 3 では X 方向）とにおいて、一定である。図 3 に示す例では、第二リッジ部 2 5 の幅 W O 2 は、半導体集積素子 1 の他端 Q から接続境界 K に亘って一定である。第一リッジ部 1 5 の幅 W O 1 は第二リッジ部 2 5 の幅 W O 2 と異なる。本実施形態では、第一リッジ部 1 5 の幅 W O 1 は、第二リッジ部 2 5 の幅 W O 2 よりも狭い。なお、第一リッジ部 1 5 の幅 W O 1 と第二リッジ部 2 5 の幅 W O 2 は同じ場合もあり、また違っていても良い。第 1 半導体光素子 S 1 及び第 2 半導体光素子 S 2 の実効屈折率を同一にするために、必要に応じて第 1 調整層 A 1、及び第 2 調整層 A 2 との組み合わせにおいて、リッジ幅 W O 1、W O 2 の値を適宜調整しても良い。

10

20

【0030】

第二クラッド層 C 2 の第一領域 8 1 は、第一リッジ部 1 5 に加えて、第一底部 B 1 を有することができる。第一底部 B 1 は、所定の軸 A x 方向に延在する。第一底部 B 1 の幅 W は、第一リッジ部 1 5 の幅 W O 1 より大きい。第一リッジ部 1 5 は、所定の軸 A x 方向に延在する第一側面 1 5 a 及び第二側面 1 5 b を有する。

30

【0031】

第二クラッド層 C 2 の第二領域 8 2 は、第二リッジ部 2 5 に加えて、第二底部 B 2 を有することができる。第二底部 B 2 は、所定の軸 A x 方向に延在する。第二底部 B 2 の幅 W は、第二リッジ部 2 5 の幅 W O 2 より大きい。第二リッジ部 2 5 は、所定の軸 A x 方向に延在する第三側面 2 5 a 及び第四側面 2 5 b を有する。

【0032】

第一コア層 1 0 は、第一クラッド層 C 1 の第一領域 7 1 と第二クラッド層 C 2 の第一領域 8 1 との間に設けられている。第一コア層 1 0 は、第一クラッド層 C 1 の第一領域 7 1 上に接して設けられている。第二クラッド層 C 2 の第一領域 8 1 は、第一コア層 1 0 上に接して設けられている。第一コア層 1 0 は、第一下部光閉じ込め層 1 1、活性層 1 2、第一上部光閉じ込め層 1 3、及び回折格子層 1 4 を含む。

40

【0033】

第二コア層 2 0 は、第一クラッド層 C 1 の第二領域 7 2 と第二クラッド層 C 2 の第二領域 8 2 との間に設けられている。第二コア層 2 0 は、第一クラッド層 C 1 の第二領域 7 2 上に接して設けられている。第二クラッド層 C 2 の第二領域 8 2 は、第二コア層 2 0 上に接して設けられている。第二コア層 2 0 は、第二下部光閉じ込め層 2 1、光吸収層 2 2、及び第二上部光閉じ込め層 2 3 を含む。

50

## 【0034】

埋め込み層6は、所定の軸Ax方向に延在しており、第一エリア61上に設けられた第一領域91及び第二エリア62上に設けられた第二領域92を有する。埋め込み層6の第一領域91は、第二領域92と連続している。埋め込み層6の第一領域91は、第一リッジ部15を埋め込んでいる。埋め込み層6の第二領域92は、第二リッジ部25を埋め込んでいる。

## 【0035】

第一調整層A1は、第一リッジ部15に接して所定の軸Ax方向に延在している。第一調整層A1は、埋め込み層6と第一リッジ部15との間に設けられている。第一調整層A1は、所定の軸Ax方向に延在する第一部分31及び第二部分32を有する。第一調整層A1の第一部分31は、第一側面15aに接する。第一調整層A1の第二部分32は、第二側面15bに接する。具体的には、第一調整層A1の第一部分31は、埋め込み層6の第一領域91と第一リッジ部15の第一側面15aとの間に設けられている。第一調整層A1の第二部分32は、埋め込み層6の第一領域91と第一リッジ部15の第二側面15bとの間に設けられている。本実施形態では、第一調整層A1は、埋め込み層6と接している。第一調整層A1の第一部分31は、第二部分32と分離されている。第一調整層A1の屈折率は、第一コア層10の屈折率より低く、埋め込み層6の第一領域91の屈折率より高い。なお、第一コア層10が活性層12を含む複数の半導体層を含む場合は、第一コア層10の屈折率は、その実効屈折率で表される。同様に、第二コア層20が光吸収層22を含む複数の半導体層からなるときは、第二コア層20の屈折率は、その実効屈折率で表される。なお、実効屈折率については、後で詳述する。

## 【0036】

第一調整層A1の第一部分31の幅(X軸方向の長さ)は、第一調整層A1の第二部分32の幅(X軸方向の長さ)と同じである。図2及び図3では、第一調整層A1の第一部分31及び第二部分32の幅をW1で示す。例えば、第一部分31または第二部分32の幅W1を100nm~500nmとすることができる。第一調整層A1の高さ(Z軸方向の長さ)H1を1.5μm~3.0μmとすることができる。第一調整層A1の長さ(Y軸方向の長さ)L1を200μm~1000μmとすることができる。第一調整層A1の幅W1は、バットジョイント接続境界Kに隣接する領域において一定であり、第一調整層A1はテーパ形状ではない。図3に示す例では、第一調整層A1の幅W1は、半導体集積素子1の一端Pから接続境界Kに亘って一定である。また、バットジョイント接続境界Kにおいて、第一調整層A1は、第二リッジ部25の端部とバットジョイント接続している。故に、本実施形態の半導体集積素子1では、特許文献1のようなテーパ領域が不要であり、特許文献1のようなテーパ領域を有する半導体集積素子よりも素子長を小さくできる。

## 【0037】

半導体集積素子1では、第一調整層A1を第一リッジ部15の両側面に付加することにより、第一半導体光素子における導波光のビーム形状と、第二半導体光素子における導波光のビーム形状との違いを縮小できるので、導波光の散乱を低減できる。従って、テーパ領域を用いずに、導波光の接続損失を抑制できる。なお、ビーム形状とは、所定の軸方向に直交する面内におけるビームの強度分布のことをいう。

## 【0038】

第一半導体光素子S1では、第二クラッド層C2、第一コア層10、第一クラッド層C1を含む光導波路に光が伝播する。第二半導体光素子S2では、第二クラッド層C2、第二コア層20、第一クラッド層C1を含む光導波路に光が伝播する。導波路の光伝播では、導波光のビーム形状は、実効屈折率を用いて決定される。実効屈折率は、マクスウエルの波動方程式に、光導波路を構成する各半導体層の屈折率を代入して算出される。

## 【0039】

次に、非特許文献(半導体レーザの基礎、栖原敏明著、共立出版株式会社)の101~102ページの記載に従って、実効屈折率Nの算出法を説明する。第一半導体光素子S1または

10

20

30

40

50



第二半導体光素子 S 2 を伝搬する導波光の電界  $E(x, y, z)$  は下記式 (1) で表される。本実施形態では、 $y$  方向が光の伝播方向である。但し、 $E(x, z)$  は  $xz$  平面における電界分布、 $\beta$  は伝搬定数である。

【数 1】

$$E(x, y, z) = E(x, z) \exp(i\beta y) \quad \dots (1)$$

【0040】

ここで  $E(x, z)$  は次のマクスウエルの波動方程式 (2) を満たす。但し、 $n(x, z)$  は  $xz$  平面における屈折率分布、 $k_0$  は真空中における導波光の波数 ( $k_0 = (2\pi/\lambda_0)$  であり、 $\lambda_0$  は真空中における導波光の波長) である。

10

【数 2】

$$[(\partial^2/\partial x^2) + (\partial^2/\partial z^2) + \{k_0^2 n^2(x, z) - \beta^2\}] E(x, z) = 0 \quad \dots (2)$$

【0041】

上記式 (2) を与えられた導波路の境界条件の下で解くことにより  $E(x, z)$  が求まる。次に、下記式 (3) の関係から、実効屈折率  $N$  を算出することが出来る。

【数 3】

$$\beta = Nk_0 \quad \dots (3)$$

【0042】

実効屈折率は、半導体光素子内の各半導体層の屈折率を、その領域に存在する導波光パワーの割合、即ち光閉じ込め係数で加重平均した値と同等になる。導波路内の光モードの分布は、導波路の加重平均的な屈折率である、この実効屈折率によって決定される。

20

【0043】

第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 は、それぞれ異なる半導体層から構成されるため、それぞれ異なる実効屈折率を有する。ここで、実効屈折率の調整に必要な屈折率と幅とを有する第一調整層 A 1 を導入することにより、第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 の実効屈折率を同一にできる。

【0044】

以下に、バットジョイント接続前で、第一半導体光素子の実効屈折率が、第二半導体光素子の実効屈折率よりも低い場合における、調整層を用いてビーム形状の差を縮小する原理について、図 4 を用いて説明する。本実施形態では、第一半導体光素子 S 1 の第一リッジ部 15 の幅  $W_{01}$  よりも、第二半導体光素子 S 2 の第二リッジ部 25 の幅  $W_{02}$  の方が大きい。

30

【0045】

図 4 (a) に、調整層を用いない第一半導体光素子 S 0 のビームの強度分布  $G_1$  を示し、図 4 (b) に第二半導体光素子 S 2 のビームの強度分布  $G_2$  を示し、図 4 (c) に第一調整層 A 1 を用いた第一半導体光素子 S 1 のビームの強度分布  $G_3$  を示す。ここで、第一半導体光素子 S 0 のリッジ幅  $W_{01}$  よりも第二半導体光素子 S 2 のリッジ幅  $W_{02}$  が大きい。即ち  $W_{01} < W_{02}$  なので、図 4 (a) 及び図 4 (b) に示すように、第二半導体光素子 S 2 のビーム形状は、第一半導体光素子 S 0 のビーム形状に比べて、導波光が所定の軸  $Ax$  方向と、半導体層の積層方向と、に直交する方向 (以下、第一方向ともいう) により大きく広がって分布する。図 4 では、第一方向は  $X$  軸方向である。一方、このビームの広がり起因して、所定の軸  $Ax$  方向に直交する方向であり、半導体層の積層方向と同じ方向 (以下、第二方向ともいう) に関しては、逆に第二半導体光素子 S 2 の導波光のビームの広がりが、第一半導体光素子 S 0 の導波光のビームの広がりよりも狭い。図 4 では、第二方向は  $Z$  軸方向である。

40

【0046】

そこで、第一半導体光素子 S 0 のビーム形状を第二半導体光素子 S 2 のビーム形状に合わせ込むには、例えば図 4 (c) に示すように、第一半導体光素子 S 1 において、第一調整層 A 1 を第一リッジ部 15 の両側面に付加する。例えば、第一調整層 A 1 が第一リッジ

50

部 1 5 と同様の屈折率を有する半導体材料で形成されている場合、第一方向における第一半導体光素子 S 1 の導波光の閉じ込めが弱まり、導波光分布は第一方向に広がる。一方、第二方向では、第一方向の広がりに関連して、逆に狭まるように変化する。

【 0 0 4 7 】

結局、図 4 ( c ) に示すように、第一半導体光素子 S 1 内のビームの強度分布 G 3 は、第二半導体光素子 S 2 のビームの強度分布 G 2 に近づく。ここで、第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 の実効屈折率が同等となるように、調整に必要な幅と屈折率を有する第一調整層 A 1 を挿入すれば、第一半導体光素子 S 1 において、第一方向では、第二半導体光素子 S 2 の導波光広がりと同様となるように、導波光分布が広がり、一方第二方向では、第二半導体光素子の導波光広がりと同様となるように、導波光分布が狭まる。故に、第一半導体光素子 S 1 における導波光のビームの強度分布 G 3 は、第二半導体光素子 S 2 のビームの強度分布 G 2 に略一致させることが出来、第一半導体光素子 S 1 の導波光のビーム形状を第二半導体光素子 S 2 の導波光のビーム形状と同等にできる。

10

【 0 0 4 8 】

次に、図 5 ( a ) は、図 4 ( a ) に示す第一半導体光素子の実効屈折率の計算の一例を示す説明図である。図 5 ( b ) は、図 4 ( b ) に示す第二半導体光素子の実効屈折率の計算の一例を示す説明図である。図 6 は、図 4 ( c ) に示す第一半導体光素子の実効屈折率の計算の一例を示す説明図である。

【 0 0 4 9 】

なお、図 5 及び図 6 に示す通り、実効屈折率の計算において、第二クラッド層 C 2 の第一底部 B 1 及び第二クラッド層 C 2 の第二底部 B 2 の高さを 0 として、第一底部 B 1 及び第二底部 B 2 が存在しない構造とする。第一半導体光素子及び第二半導体光素子を構成する各半導体層の組成、屈折率  $n$ 、厚さ、幅等の値は、図 5 及び図 6 に示す表の通りである。なお、第一半導体光素子の回折格子層は、組成の異なる半導体領域が周期的に存在するので、組成や屈折率はその平均値を示す。図 5 及び図 6 に示す構造では、第二クラッド層 C 2 の厚さが  $3 \mu\text{m}$  と厚いので、コンタクト層には殆ど導波光は分布しない。よって、実効屈折率の計算においては、コンタクト層は無視した。

20

【 0 0 5 0 】

まず、図 5 ( a ) の表に示すように、第一調整層 A 1 が無い場合は、第一半導体光素子 ( 本実施形態では、DFB レーザダイオード ) S 0 の実効屈折率が  $3.232$  であるのに対し、第二半導体光素子 ( 本実施形態では、EA ) S 2 の実効屈折率は  $3.240$  である。第一半導体光素子 S 0 の実効屈折率は、第二半導体光素子 S 2 の実効屈折率よりも有意に小さい。そこで、図 4 ( c ) や図 6 に示すように、第一半導体光素子 S 1 に第一調整層 A 1 を挿入すれば、第一半導体光素子 S 1 の実効屈折率を第二半導体光素子 S 2 の実効屈折率と同じ値にまで高めることが出来る。例えば、第一調整層 A 1 をフェドープした半絶縁性の InP 半導体 ( 幅  $0.2 \mu\text{m}$  ) とすれば、第一半導体光素子 S 1 の実効屈折率を  $3.240$  にすることができる。以上のようにして、第一半導体光素子 S 1 と第二半導体光素子 S 2 の実効屈折率を合わせ込むことが出来る。従って、第一調整層 A 1 の導入により、第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 の導波光のビーム形状の違いを縮小できる。

30

40

【 0 0 5 1 】

なお、特許文献 1 では、パットジョイント法により接続された半導体光素子では、一方の半導体光素子における伝播光のモード形状は、他方の半導体光素子における伝播光のモード形状と異なる。特許文献 1 では、接続損失を低減するために、テーパ領域を用いて、一方の半導体光素子のモード形状を他方の半導体光素子のモード形状に徐々に連続的に近づけている。対して、本発明では、調整層を導入することにより、予め、第一半導体光素子 S 1 のビーム形状と、第二半導体光素子 S 2 のビーム形状とを同一にして、あるいはビーム形状の差を縮小してパットジョイントする。言い換えると、特許文献 1 では、一方の半導体光素子の実効屈折率は、他方の半導体光素子の実効屈折率と異なるままパットジョイントされる。これに対して、本発明では、調整層を導入することにより、予め、第一

50

半導体光素子 S 1 の実効屈折率を第二半導体光素子 S 2 の実効屈折率と同一にして、あるいは第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 の実効屈折率の差を縮小してから、バットジョイントする。

【 0 0 5 2 】

以下、半導体集積素子 1 を構成する各層について説明する。第二クラッド層 C 2 の底部 B 1 , B 2 の高さ ( Z 軸方向の長さ ) H 3 は、例えば 8 0 0 n m 以下であることが好ましい。底部 B 1 の高さ H 3 が 8 0 0 n m を超えると、第一コア層 1 0 と第一調整層 A 1 との距離が大きくなり、第一調整層 A 1 を付加しても、実効屈折率が変化しにくくなる。故に、効果的なビーム形状の調整を妨げるおそれがある。また、底部 B 1 の高さ H 3 が 8 0 0 n m を超えると、第一リッジ部 1 5 が形成されている領域と、その周辺部の領域との屈折率差が過小となるため、第一方向のモード閉じ込めが弱まり、ビーム形状が不安定化しやすい。

10

【 0 0 5 3 】

第一調整層 A 1 には、 I n P 半導体基板 S B 上に成長可能な半導体材料を用いることができる。第一調整層 A 1 は、 I n P 、 G a I n A s P 、 G a I n A s 、 A l G a I n A s 、 及び A l I n A s のうちのいずれかの半導体材料からなる。これらの半導体材料は、 3 以上の屈折率を有する。

【 0 0 5 4 】

第一調整層 A 1 に半導体材料を用いる場合、第二クラッド層 C 2 から調整層への電流リークによる素子特性の劣化を抑制するために、調整層は高抵抗であることが望ましく、高抵抗化のために、キャリアを捕獲できる深い準位を形成する不純物を、第一調整層 A 1 にドーピングすることが好ましい。例えば F e を第一調整層 A 1 にドーピングすることができる。 F e を第一調整層 A 1 にドーピングする場合、例えば  $1 0 ^ 8$  c m を超える高抵抗な第一調整層 A 1 を得ることができる。よって、第二クラッド層 C 2 から第一調整層 A 1 へ電流がリークすることを抑制できる。

20

【 0 0 5 5 】

半導体基板 S B として、例えば n 型 I n P 基板が用いられる。第一クラッド層 C 1 は、半導体材料からなる。例えば、第一クラッド層 C 1 には、 n 型半導体が用いられる。第一クラッド層 C 1 に用いられる半導体材料として、 I n P 、 G a I n A s P 、 G a I n A s 、 A l G a I n A s 、 A l I n A s などが挙げられる。活性層 1 2 へのキャリア注入を効率良く行うために、第一クラッド層 C 1 は、活性層 1 2 及び第一下部光閉じ込め層 1 1 のバンドギャップより大きなバンドギャップの材料で構成されることが望ましい。

30

【 0 0 5 6 】

第一コア層 1 0 及び第二コア層 2 0 は、半導体材料からなる。活性層 1 2 を構成する材料は、第一半導体光素子 S 1 を構成する材料のうち、最大の屈折率を有する。光吸収層 2 2 を構成する材料は、第二半導体光素子 S 2 を構成する材料のうち、最大の屈折率を有する。活性層 1 2 または光吸収層 2 2 の屈折率は、例えば、 3 . 5 前後である。活性層 1 2 及び光吸収層 2 2 には、例えば、量子井戸層とバリア層とが交互に積層された量子井戸構造や、バルク層などを使用できる。活性層 1 2 及び光吸収層 2 2 を構成する材料の具体例としては、例えば、 G a I n A s P 、 G a I n A s 、 A l G a I n A s 、 A l I n A s 等が挙げられる。自由キャリアによる光吸収損を抑えるために、活性層 1 2 及び光吸収層 2 2 は、アンドープであることが好ましい。活性層 1 2 及び光吸収層 2 2 に p 型ドーパントや n 型ドーパントをドーピングしてもよい。 p 型ドーパントとしては、例えば Z n を用いることができる。 n 型ドーパントとしては、例えば S や S i を用いることができる。

40

【 0 0 5 7 】

具体例として、活性層 1 2 及び光吸収層 2 2 に、量子井戸層とバリア層とが共にアンドープの G a I n A s P から成る量子井戸構造を用いることができる。活性層 1 2 及び光吸収層 2 2 が G a I n A s P から成る量子井戸構造であることにより、半導体集積素子 1 を、波長 1  $\mu$  m 以上の長波長帯の信号光を送信できる E M L ( Electro Absorption Modulator Integrated Laser Diode ) として使用できる。光吸収層 2 2 は、活性層 1 2 より

50

バンドギャップの高い材料からなることが好ましい。何故なら、光吸収層 2 2 が活性層 1 2 よりバンドギャップの高い材料からなる場合、光吸収層 2 2 は活性層 1 2 で生じたレーザー光に対して透明と成り、従って 1 レベルの信号光出力時に、光吸収層 2 2 での過剰な光吸収によって、信号光パワーが減衰するのを防げるからである。

【 0 0 5 8 】

光閉じ込め層（第一下部光閉じ込め層 1 1、第一上部光閉じ込め層 1 3、第二下部光閉じ込め層 2 1、及び第二上部光閉じ込め層 2 3）を構成する材料の具体例としては、例えば、GaInAsP、GaInAs、AlGaInAs、AlInAs 等が挙げられる。光閉じ込め層は、アンドープとすることができる。光閉じ込め層がアンドープである場合、自由キャリアによる光吸収損を抑えることができる。また、必要に応じて、ドーピングにより、光閉じ込め層に p 型や n 型の導電性を付与しても良い。

10

【 0 0 5 9 】

第一半導体光素子 S 1 において、第一下部光閉じ込め層 1 1 は、第一クラッド層 C 1 のバンドギャップと活性層 1 2 のバンドギャップとの間のバンドギャップを有していることが望ましい。第一上部光閉じ込め層 1 3 は、第二クラッド層 C 2 のバンドギャップと活性層 1 2 のバンドギャップとの間のバンドギャップを有していることが望ましい。当該構成により、第一クラッド層 C 1 及び第二クラッド層 C 2 から注入されたキャリアは、第一下部光閉じ込め層 1 1 及び第一上部光閉じ込め層 1 3 で阻止され難い。よって、キャリアが活性層 1 2 へ効率良く注入される。

【 0 0 6 0 】

また上記バンドギャップの大小関係が満たされる場合、第一下部光閉じ込め層 1 1 は、第一クラッド層 C 1 と活性層 1 2 との間の屈折率を有している。第一上部光閉じ込め層 1 3 は、第二クラッド層 C 2 と活性層 1 2 との間の屈折率を有している。従って当該構成により、活性層 1 2 への光閉じ込めが強められる。

20

【 0 0 6 1 】

以上の理由により、第一下部光閉じ込め層 1 1 及び第一上部光閉じ込め層 1 3 の導入により、活性層 1 2 へのキャリア注入を効率良くし、活性層 1 2 への光の閉じ込めを増大することができる。よって、第一半導体光素子 S 1 がレーザーダイオードのとき、発振特性や温度特性を改善できる。特に、活性層 1 2 が薄膜の量子井戸構造の場合、第一下部光閉じ込め層 1 1 及び第一上部光閉じ込め層 1 3 を導入することにより、活性層 1 2 への光閉じ込めが大幅に強められる。なお光閉じ込め層は必須ではなく、例えば活性層 1 2 がバルク層の場合等、そのみで十分な光閉じ込めが得られる場合は、第一下部光閉じ込め層 1 1 及び第一上部光閉じ込め層 1 3 を省略してもよい。

30

【 0 0 6 2 】

第二半導体光素子 S 2 において、第二下部光閉じ込め層 2 1 は、第一クラッド層 C 1 と光吸収層 2 2 との間の屈折率を有していることが望ましい。第二上部光閉じ込め層 2 3 は、第二クラッド層 C 2 と光吸収層 2 2 との間の屈折率を有していることが望ましい。当該構成により、導波光は、光吸収層である光吸収層 2 2 に強く閉じ込められる。従って、電界印加時における光吸収層 2 2 での光吸収変化を増大させることが出来、電界吸収型光変調器として良好な動作を実現できる。なお、光吸収層 2 2 がバルク層の場合など、光吸収層 2 2 のみで十分な光閉じ込めが可能な場合には、第二下部光閉じ込め層 2 1 及び第二上部光閉じ込め層 2 3 を省略してもよい。

40

【 0 0 6 3 】

回折格子層 1 4 には、p 型半導体を用いられる。回折格子層 1 4 として、例えば、GaInAsP が用いられる。回折格子層 1 4 には、回折格子が形成されている。回折格子は、所定の軸 Ax に沿った周期的な凹凸パターンからなる。

【 0 0 6 4 】

第二クラッド層 C 2 は、半導体材料からなる。第二クラッド層 C 2 には、例えば p 型半導体を用いられる。第二クラッド層 C 2 に用いられる半導体材料として、InP、GaInAsP、GaInAs、AlGaInAs、AlInAs などが挙げられる。活性層 1

50

2へのキャリア注入を効率良く行うために、第二クラッド層C2は、活性層12及び第一上部光閉じ込め層13のバンドギャップより大きなバンドギャップの材料で構成されることが望ましい。

【0065】

図3のように、埋め込み層6の第一領域91は、第一調整層A1の第一部分31を介して、第一リッジ部15の第一側面15aを埋め込んでいる。埋め込み層6の第一領域91は、第一調整層A1の第二部分32を介して、第一リッジ部15の第二側面15bを埋め込んでいる。埋め込み層6の第二領域92は、第二リッジ部25の第三側面25aを埋め込んでいる。埋め込み層6の第二領域92は、第二リッジ部25の第四側面25bを埋め込んでいる。

10

【0066】

埋め込み層6は、電流ブロック層として機能する。埋め込み層6の第一領域91は、第二領域92と同一の材料からなる。埋め込み層6は、例えば誘電体樹脂などの絶縁性材料からなる。絶縁性材料として、BCB(ベンゾシクロブテン)やポリイミドが挙げられる。BCBやポリイミドは、屈折率が1.5前後の低屈折率材料である。BCBやポリイミドは、高抵抗性を有する。また、BCBやポリイミドを用いた埋め込み層6は、通常の半導体プロセスにて容易に形成できる。従って、生産性に優れ、また耐久性にも優れる。なお、埋め込み層6は、誘電体樹脂に限定されず、例えば調整層に用いられるものと同じ、不純物ドーパで高抵抗化された半導体を用いても良い。埋め込み層6には、第一調整層A1の屈折率より低い屈折率を有する材料を用いれば良い。

20

【0067】

コンタクト層17, 27は、上部電極E2とオーミックコンタクトしている。コンタクト層17, 27として、p型ドーパントが高濃度にドーパされた、バンドギャップの低いp型半導体材料を用いることができる。具体的には、コンタクト層17, 27として、GaInAsPやGaInAsが用いられる。なお、図1のように、接続境界Kにおいて、コンタクト層27の一部が除去された部分には、SiO<sub>2</sub>、SiN等の絶縁材料INが設けられている。半導体基板SB下には下部電極E1が設けられている。

【0068】

第一半導体光素子S1からの出射光パワーを増大させるために、半導体集積素子1の一端Pには、高反射膜M1が設けられている。半導体集積素子1の他端Qからの反射戻り光が素子特性に及ぼす悪影響を防ぐために、半導体集積素子1の他端Qには、低反射膜M2が設けられている。

30

【0069】

以下に、図7~図10を用いて半導体集積素子1の製造方法の一例を説明する。なお、図7(a)~(d)、図8(a)~(b)、図9(a)~(b)、図10(a)~(b)には、図1のIIA-IIA線に沿った断面図と同様に、第一半導体光素子S1をxz平面に平行な断面図で表す。また、図7(e)~(g)、図8(c)~(d)、図9(c)~(d)、図10(c)~(d)には、図1のIIB-IIB線に沿った断面図と同様に、第二半導体光素子S2をxz平面に平行な断面図で表す。

【0070】

まず、図7(a)に示すように、半導体基板SBの主面a1上全面に、第一クラッド層C1、第一コア層10を結晶成長する。第一コア層10としては、第一下部光閉じ込め層11、活性層12、第一上部光閉じ込め層13、及び回折格子層14を順次成長する。結晶成長には、例えば有機金属気相成長法や分子線エピタキシー法を用いることができる。次に、干渉露光法やEB露光法等を用いて、回折格子層14上にDFBレーザーの発振波長に対応した周期を有する回折格子を形成する。その後、図7(b)に示すように、半導体基板SBの主面a1上全面において、第一コア層10上に、半導体層C2aと、半導体層17aとを順次結晶成長する。このようにして、図7(b)に示すような、第1半導体光素子S1を構成するに必要な半導体層が半導体基板SBの全面に形成される。次に半導体基板SB上において、第1半導体光素子S1が形成されるべき領域の半導体層17aの

40

50

表面のみをSiN、SiO<sub>2</sub>等の誘電体マスク(図示せず)でカバーし、それ以外の領域、即ち第2半導体光素子S2が形成されるべき領域について、第一クラッド層C1より上に積層された第一コア層10、半導体層C2a、半導体層17aを全てエッチングで除去して、第一クラッド層C1を露出させる。その際、第1半導体光素子S1が形成されるべき領域は誘電体マスクでカバーされているため、全くエッチングされない。その後エッチングされた領域を埋め込むように、露出した第一クラッド層C1上に、第二下部光閉じ込め層21、光吸収層22、及び第二上部光閉じ込め層23から成る第二コア層20、半導体層C2a、及び半導体層17aを順次結晶成長することで、図7(e)に示す、第2半導体光素子S2に対応する半導体層が形成される。その際、第1半導体光素子S1が形成されるべき領域表面は、上記のように誘電体マスクでカバーされているため、この領域には第二コア層20、半導体層C2a、及び半導体層17aは成長されない。従って、図7(b)の素子構造がそのまま保存される。このようにして、第一半導体光素子S1を構成する各半導体層と、第二半導体光素子S2を構成する各半導体層とが、それらの境界面でバットジョイントで集積された構造を得る。

10

#### 【0071】

次に、第1半導体光素子S1の領域をカバーしていた上記誘電体マスクを除去した後、図7(c)に示すように、第一半導体光素子S1では、新たにマスク18を半導体層17aの一部上に設ける。また、図7(f)に示すように、第二半導体光素子S2では、マスク28を半導体層17aの一部上に設ける。一例では、マスク28の幅は、マスク18の幅よりも大きい。マスク18, 28には例えばSiN、SiO<sub>2</sub>等の誘電体膜を使用できる。マスク18, 28を用いて、半導体層17a及び半導体層C2aをエッチングする。すると、図7(d)に示すように、第一半導体光素子S1では、コンタクト層17と、凸型の第一リッジ部15及び第一底部B1を有する第二クラッド層C2とを得る。また、図7(g)に示すように、第二半導体光素子S2の領域では、コンタクト層27と、凸型の第二リッジ部25及び第二底部B2を有する第二クラッド層C2とを得る。

20

#### 【0072】

次に、図8(a)及び(c)に示すように、第一リッジ部15の第一側面15a及び第二側面15bと、第二リッジ部25の第三側面25a及び第四側面25bとに、半導体層A1aを有機金属気相成長法や分子線エピタキシー法などにより成長する。第一リッジ部15及び第二リッジ部25を埋め込むように、半導体層A1aを形成する。必要に応じて、半導体層A1aの表面が、コンタクト層17, 27の上面と一致するように、平坦化処理を行う。以上のようにして、第一半導体光素子S1及び第二半導体光素子S2のための埋め込みリッジ構造が形成される。このようにして、第一半導体光素子S1と第二半導体光素子S2がバットジョイントで集積された構造を得る。続いて、図8(b)に示すように、第一半導体光素子S1において、第一リッジ部15の幅W01よりも大きい幅を有するマスク19を形成する。マスク19は、半導体層A1aにおける第一リッジ部15側の一部、及びコンタクト層17上に形成される。また、図8(d)に示すように、第二半導体光素子S2において、コンタクト層27上に、コンタクト層27の幅とほぼ同じ幅を有するマスク29を設ける。マスク19, 29には、例えばSiN、SiO<sub>2</sub>等の誘電体膜を使用できる。

30

40

#### 【0073】

そして、マスク19, 29を用いて、半導体層A1aをエッチングして、図9(a)及び(c)に示すように、第一半導体光素子S1では、第一部分31及び第二部分32を有する第一調整層A1を形成し、第二半導体光素子S2では半導体層A1aを除去する。ここで、エッチング後の第一調整層A1の幅が、バットジョイント接合部における実効屈折率の合わせ込みの調整に必要な幅となるように、予めマスク19の幅を調整して形成しておく。図9(c)に示すように、第二半導体光素子S2には、調整層が設けられない。続いて、マスク19, 29を除去し、図9(b)及び(d)に示すように、第一半導体光素子S1及び第二半導体光素子S2において、ウエハ全面にBCBやポリイミド等の誘電体樹脂6aを塗布する。その後、図10(a)及び(c)に示すように、第一半導体光素子

50

S 1 及び第二半導体光素子 S 2 において、例えばドライエッチングにより、表面に付着した余分な樹脂層を除去し、コンタクト層 1 7 , 2 7 の表面を露出させ、埋め込み層 6 を得る。

#### 【 0 0 7 4 】

次に、第二半導体光素子 S 2 のコンタクト層 2 7 のうち、接続境界 K 側の一部を除去する。図 1 を再び参照すると、コンタクト層 2 7 の一部が除去された部分に、絶縁材料 I N を形成する。その後、図 1 0 ( b ) 及び ( d ) に示すように、第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 のそれぞれにおいて、コンタクト層 1 7 , 2 7 上に、上部電極 E 2 を蒸着法やスパッタリング法などにより形成する。その後研磨等により、半導体基板 S B を劈開可能な厚さ(例えば 1 0 0 μ m 以下)まで薄くする。その後、蒸着法やスパッタリング法などにより、図 1 0 ( b ) 及び ( d ) に示すように、第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 のそれぞれにおいて、半導体基板 S B の裏面 a 2 に、下部電極 E 1 を設ける。以上の工程により、半導体集積素子 1 が完成する。

10

#### 【 0 0 7 5 】

以下に、半導体集積素子 1 の動作の例を説明する。第一半導体光素子 S 1 が分布帰還型レーザーダイオードである場合、活性層 1 2 に電流注入により注入された電子と正孔とが活性層 1 2 で再結合して、発光が生じる。注入する電流の増加と共に発光強度が増幅される。閾値電流以上の電流を流すと、回折格子層 1 4 の回折格子の周期で決まる波長にてレーザー発振する。第二半導体光素子 S 2 が電界吸収型光変調器である場合、光吸収層 2 2 における光吸収は、印加される逆バイアス電圧が高いほど大きくなる。そこで、1 レベルの信号光出力時には低電圧を印加すれば、この場合光吸収は小さいため、1 レベルに対応した大きな光出力が得られる。また 0 レベルの信号光出力時には高電圧を印加すれば、この場合光吸収は大となるため、0 レベルに対応した小さな光出力が得られる。そこで、伝送信号パターンに対応させて、第二半導体光素子 S 2 への逆バイアス電圧の大きさを変化させれば、例えば分布帰還型レーザーダイオードである第一半導体光素子 S 1 から入射されるレーザー光を強度変調できる。

20

#### 【 0 0 7 6 】

##### ( 第二実施形態 )

以下、図 1 1 ~ 1 3 を用いて、第 2 実施形態に係る半導体集積素子について説明する。図 1 1 は、図 2 の変形例を示す断面図である。図 1 2 は、図 3 の変形例を示す断面図である。図 1 3 ( a ) ~ ( c ) は、導波光のビームの強度分布の一例を示す。第二実施形態に係る半導体集積素子が、第一実施形態に係る半導体集積素子 1 と異なるのは、調整層のみであるため、調整層以外の説明は省略する。

30

#### 【 0 0 7 7 】

図 1 1 ( a ) に示すように、第二実施形態に係る第一半導体光素子 S 1 は、第一実施形態に係る第一半導体光素子 S 1 と同様に、第一調整層 A 1 を有する。図 1 1 ( b ) に示すように、第二実施形態に係る第二半導体光素子 S 2 2 は、第一実施形態に係る第二半導体光素子 S 2 とは異なり、第二調整層 A 2 を有する。

#### 【 0 0 7 8 】

第二調整層 A 2 は、第一調整層 A 1 と同じ材料または異なる材料からなる。第二調整層 A 2 には、第一調整層 A 1 を構成しうる材料を適用することができる。第二調整層 A 2 の屈折率は、第二コア層 2 0 の屈折率より低く、埋め込み層 6 の第二領域 9 2 の屈折率より高い。第二調整層 A 2 は、埋め込み層 6 と第二リッジ部 2 5 との間に設けられている。第二調整層 A 2 は、第二リッジ部 2 5 に接して所定の軸 A x 方向に延在している。第二調整層 A 2 は、所定の軸 A x 方向に延在する第三部分 3 3 及び第四部分 3 4 を有する。第二調整層 A 2 の第三部分 3 3 は、第二リッジ部 2 5 の第三側面 2 5 a に接する。第二調整層 A 2 の第四部分 3 4 は、第二リッジ部 2 5 の第四側面 2 5 b に接する。第二調整層 A 2 の第三部分 3 3 は、埋め込み層 6 の第二領域 9 2 と第二リッジ部 2 5 の第三側面 2 5 a との間に設けられている。第二調整層 A 2 の第四部分 3 4 は、埋め込み層 6 の第二領域 9 2 と第二リッジ部 2 5 の第四側面 2 5 b との間に設けられている。本実施形態では、第二調整層

40

50

A 2 は、埋め込み層 6 と接している。第二調整層 A 2 の第三部分 3 3 は、第四部分 3 4 と分離されている。

【0079】

図 1 2 に示すように、パットジョイント接続境界 K において、第一調整層 A 1 の第一部分 3 1 は、第二調整層 A 2 の第三部分 3 3 と接している。接続境界 K において、第一調整層 A 1 の第二部分 3 2 は、第二調整層 A 2 の第四部分 3 4 と接している。第二調整層 A 2 の第三部分 3 3 の幅 (X 軸方向の長さ) は、第二調整層 A 2 の第四部分 3 4 の幅 (X 軸方向の長さ) と同じである。図 1 1 及び図 1 2 では、第二調整層 A 2 の第三部分 3 3 及び第四部分 3 4 の幅を  $W_2$  で示す。第二調整層 A 2 の幅  $W_2$  は、パットジョイント接続境界 K に隣接する領域において一定であり、第二調整層 A 2 はテーパ形状ではない。第二調整層 A 2 の幅  $W_2$  は、所定の軸 A x 方向に直交する方向であり、半導体基板 S B と平行な方向 (以下、第一方向ともいう) において、一定である。図 1 2 では、第一方向は X 方向である。図 1 2 に示す例では、第二調整層 A 2 の幅  $W_2$  は、半導体集積素子 1 の他端 Q から接続境界 K に亘って一定である。また、パットジョイント接続境界 K において、第一調整層 A 1 は、第二調整層 A 2 と対向してパットジョイント接続している。本実施形態の半導体集積素子 1 では、特許文献 1 のようなテーパ領域が不要であり、特許文献 1 のようなテーパ領域を有する半導体集積素子よりも素子長を小さくできる。

10

【0080】

本実施形態では、接続境界 K において、第一調整層 A 1 の第一部分 3 1 と第二調整層 A 2 の第三部分 3 3 とが階段状に連結しており、第一調整層 A 1 の第二部分 3 2 と第二調整層 A 2 の第四部分 3 4 とが階段状に連結している。また、接続境界 K において、第一部分 3 1 の幅  $W_1$  は第三部分 3 3 の幅  $W_2$  と異なり、第一調整層 A 1 の第二部分 3 2 の幅  $W_1$  は第二調整層 A 2 の第四部分 3 4 の幅  $W_2$  と異なる。図 1 1 に示される例では、第一部分 3 1 の幅  $W_1$  が第三部分 3 3 の幅  $W_2$  よりも大きく、第二部分 3 2 の幅  $W_1$  が第四部分 3 4 の幅  $W_2$  よりも大きい。例えば、第三部分 3 3 または第四部分 3 4 の幅  $W_2$  を  $100\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$  とすることができる。第二調整層 A 2 の高さ (Z 軸方向の長さ)  $H_2$  を  $1.5\text{ }\mu\text{m} \sim 3.0\text{ }\mu\text{m}$  とすることができる。第二調整層 A 2 の長さ (Y 軸方向の長さ)  $L_2$  を  $50\text{ }\mu\text{m} \sim 300\text{ }\mu\text{m}$  とすることができる。

20

【0081】

第一部分 3 1 及び第二部分 3 2 の幅  $W_1$ 、並びに第三部分 3 3 及び第四部分 3 4 の幅  $W_2$  を調整し、且つ必要に応じて第一リッジ部 1 5 の幅  $W_{O1}$  と第二リッジ部 2 5 の幅  $W_{O2}$  も調整することにより、第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 の導波光のビーム形状の違いを容易に縮小できる。

30

【0082】

例えば、第一調整層 A 1 と第二調整層 A 2 が、同じ屈折率を有する場合における、実効屈折率の合わせ込みを考える。この際、第二半導体光素子の実効屈折率が、第一半導体光素子の実効屈折率より高い場合、例えば、第一調整層 A 1 の幅  $W_1$  を、第二調整層 A 2 の幅  $W_2$  よりも大きくする。一方、第二半導体光素子の実効屈折率が、第一半導体光素子の実効屈折率より低い場合、例えば、第一調整層 A 1 の幅  $W_1$  を、第二調整層 A 2 の幅  $W_2$  よりも小さくする。

40

【0083】

また、例えば、第一調整層 A 1 の屈折率が第二調整層 A 2 の屈折率より大きい場合における、実効屈折率の合わせ込みを考える。この際、第二半導体光素子の実効屈折率が、第一半導体光素子の実効屈折率より高い場合、例えば、屈折率の大きい第一調整層 A 1 の幅  $W_1$  を第二調整層 A 2 の幅  $W_2$  以下としても、実効屈折率の合わせ込みは可能である。

【0084】

図 1 3 (a) に、調整層を用いない第一半導体光素子 S 0 のビームの強度分布  $G_1$  を、図 1 3 (b) に、調整層を用いない第二半導体光素子 S 2 のビームの強度分布  $G_2$  を、図 1 3 (c) に、第一調整層 A 1 を用いた第一半導体光素子 S 1 のビームの強度分布  $G_4$  を、図 1 3 (d) に、第二調整層 A 2 を用いた第二半導体光素子 S 2 2 のビームの強度分布  $G_5$  を

50



、各々示す。

【0085】

本実施形態では、第二半導体光素子 $S_2$ のリッジ幅 $W_{O2}$ の方が第一半導体光素子 $S_0$ のリッジ幅 $W_{O1}$ よりも大きい。即ち $W_{O2} > W_{O1}$ なので、図13(a)及び図13(b)に示すように、第二半導体光素子 $S_2$ の導波光が、第一半導体光素子 $S_0$ の導波光よりも、所定の軸 $A_x$ 方向と、半導体層の積層方向と、に直交する方向(以下、第一方向ともいう)。により大きく広がって分布する。図13では、第一方向は $X$ 軸方向である。一方、この広がり起因して、所定の軸 $A_x$ 方向に直交する方向であり、なおかつ半導体層の積層方向と同じ方向(以下、第二方向ともいう)に関しては、逆に第二半導体光素子 $S_2$ の導波光が、第一半導体光素子 $S_0$ の導波光よりも、広がり狭くなる。図13では、第二方向は、 $Z$ 軸方向である。この場合、第二半導体光素子 $S_2$ の実効屈折率が、第一半導体光素子 $S_0$ の実効屈折率よりも大となる。

10

【0086】

そこで、第一半導体光素子 $S_0$ 及び第二半導体光素子 $S_2$ のビーム形状を合わせ込むには、例えば、図13(c)に示すように、第一半導体光素子 $S_1$ において、第一調整層 $A_1$ を第一リッジ部15の両側面に付加し、且つ、図13(d)に示すように、第二半導体光素子 $S_2$ において、第一調整層 $A_1$ と同じ屈折率を有し、且つ第一調整層 $A_1$ の幅 $W_1$ より小さい幅 $W_2$ を有する第二調整層 $A_2$ を第二リッジ部25の両側面に付加する。そして、例えば、第一調整層 $A_1$ 及び第二調整層 $A_2$ が、第一リッジ部15及び第二リッジ部25と同様の屈折率を有する半導体材料で形成されている場合、第一及び第二半導体光素子のいずれにおいても、調整層の挿入で第一方向における導波光の閉じ込めが弱まる。その結果、導波光分布は第一方向に広がり、一方、第二方向の導波光分布は、第一方向の広がり連動して、逆に狭まるように変化する。しかしながら、第二調整層 $A_2$ の幅 $W_2$ の方が第一調整層 $A_1$ の幅 $W_1$ よりも小さいので、第一半導体光素子 $S_1$ の導波光の方が、第二半導体光素子 $S_2$ の導波光よりも、第一方向では大きく広がり、逆に第二方向では大きく狭まる。その結果、第一及び第二半導体光素子における導波光のビーム形状が接近する方向に変化する。ここで第一半導体光素子 $S_1$ の実効屈折率が第二半導体光素子 $S_2$ の実効屈折率と同等となるように、実効屈折率の調整に必要な幅と屈折率を有する第一調整層 $A_1$ 及び第二調整層 $A_2$ を挿入すれば、第一半導体光素子 $S_1$ 及び第二半導体光素子 $S_2$ の導波光分布は、第一方向及び第二方向において、同等な広がりとなる。従って、第一半導体光素子 $S_1$ における導波光のビームの強度分布 $G_4$ と第二半導体光素子 $S_2$ の導波光のビームの強度分布 $G_5$ は、共に図13(c)及び(d)に示すように、同じビーム形状として略一致させることができる。以上のようにして、第一半導体光素子 $S_1$ の導波光のビーム形状を第二半導体光素子 $S_2$ の導波光のビーム形状と同等にすることができる。

20

30

【0087】

即ち、実効屈折率の調整に必要な屈折率と幅とを有する第一調整層 $A_1$ 及び第二調整層 $A_2$ を、第一半導体光素子 $S_1$ 及び第二半導体光素子 $S_2$ のそれぞれに導入することにより、第一半導体光素子 $S_1$ 及び第二半導体光素子 $S_2$ の実効屈折率を同一にできる。あるいは、第一半導体光素子 $S_1$ 及び第二半導体光素子 $S_2$ の実効屈折率差を縮小できる。故に、第一半導体光素子 $S_1$ 及び第二半導体光素子 $S_2$ の導波光のビーム形状の違いを低減できる。よって、接続境界 $K$ での導波光の散乱を低減できる。従って、テーパー領域を用いずに、導波光の接続損失を抑制できる。

40

【0088】

以下に、第二調整層 $A_2$ の製造方法を説明する。例えば、第一実施形態で説明した、製造方法の図8(d)において、第二実施形態では、第二調整層 $A_2$ を形成するために、マスク29の幅を第二リッジ部25の幅 $W_{O2}$ よりも大きくすればよい。つまり、第二実施形態では、マスク29を、コンタクト層27と、半導体層 $A_{1a}$ の第二リッジ部25側の一部上とを覆うように形成する。そして、マスク19, 29を用いてエッチングすることにより、第一半導体光素子 $S_1$ に第一調整層 $A_1$ が形成され、第二半導体光素子 $S_2$ に

50

第二調整層 A 2 が形成される。マスク 1 9 , 2 9 の幅を適宜変更することにより、第一調整層 A 1 の幅 W 1 と、第二調整層 A 2 の幅 W 2 とを変更することができる。

【 0 0 8 9 】

( 第三実施形態 )

以下、図 1 4 及び図 1 5 を用いて、第三実施形態に係る半導体集積素子について説明する。図 1 4 は、図 2 の変形例を示す断面図である。図 1 5 は、図 3 の変形例を示す断面図である。第三実施形態に係る半導体集積素子が、第一実施形態に係る半導体集積素子と異なるのは、調整層のみであるため、調整層以外の説明は省略する。

【 0 0 9 0 】

図 1 4 ( a ) に示すように、第三実施形態に係る半導体集積素子の第一半導体光素子 S 1 3 は、第一調整層 A 1 に加えて、第三調整層 A 3 を有する。第三調整層 A 3 は、所定の軸 A x 方向に延在する第五部分 3 5 及び第六部分 3 6 を有する。第三調整層 A 3 の第五部分 3 5 は、第六部分 3 6 と分離されている。第三調整層 A 3 の第五部分 3 5 は、第一調整層 A 1 の第一部分 3 1 と埋め込み層 6 の第一領域 9 1 との間に設けられている。本実施形態では、第三調整層 A 3 の第五部分 3 5 は、第一調整層 A 1 の第一部分 3 1 及び埋め込み層 6 の第一領域 9 1 に接している。第三調整層 A 3 の第六部分 3 6 は、第一調整層 A 1 の第二部分 3 2 と埋め込み層 6 の第一領域 9 1 との間に設けられている。本実施形態では、第三調整層 A 3 の第六部分 3 6 は、第一調整層 A 1 の第二部分 3 2 及び埋め込み層 6 の第一領域 9 1 に接している。第三調整層 A 3 の屈折率は、第一調整層 A 1 の屈折率より低く、埋め込み層 6 の第一領域 9 1 の屈折率より高い。

10

20

【 0 0 9 1 】

図 1 4 ( b ) に示すように、第三実施形態に係る半導体集積素子の第二半導体光素子 S 2 3 は、第二調整層 A 2 及び第四調整層 A 4 を有する。第四調整層 A 4 は、所定の軸 A x 方向に延在する第七部分 3 7 及び第八部分 3 8 を有する。第四調整層 A 4 の第七部分 3 7 は、第八部分 3 8 と分離されている。第四調整層 A 4 の第七部分 3 7 は、第二調整層 A 2 の第三部分 3 3 と埋め込み層 6 の第二領域 9 2 との間に設けられている。本実施形態では、第四調整層 A 4 の第七部分 3 7 は、第二調整層 A 2 の第三部分 3 3 及び埋め込み層 6 の第二領域 9 2 に接している。第四調整層 A 4 の第八部分 3 8 は、第二調整層 A 2 の第四部分 3 4 と埋め込み層 6 の第二領域 9 2 との間に設けられている。本実施形態では、第四調整層 A 4 の第八部分 3 8 は、第二調整層 A 2 の第四部分 3 4 及び埋め込み層 6 の第二領域 9 2 に接している。第四調整層 A 4 の屈折率は、第二調整層 A 2 の屈折率より低く、埋め込み層 6 の第二領域 9 2 の屈折率より高い。

30

【 0 0 9 2 】

第三調整層 A 3 の幅 W 3 及び第四調整層 A 4 の幅 W 4 は、バットジョイント接続境界 K に隣接する領域において一定であり、第三調整層 A 3 及び第四調整層 A 4 はテーパ形状ではない。第三調整層 A 3 の幅 W 3 及び第四調整層 A 4 の幅 W 4 は、一定である。第三調整層 A 3 の幅 W 3 及び第四調整層 A 4 の幅 W 4 は、所定の軸 A x 方向と直交する方向であり、なおかつ半導体基板 S B と平行な方向 ( 以下、第一方向ともいう ) において、一定である。図 1 5 では、第一方向は X 軸方向である。図 1 5 に示す例では、第三調整層 A 3 の幅 W 3 は半導体集積素子 1 の一端 P から接続境界 K に亘って一定であり、第四調整層 A 4 の幅 W 4 は半導体集積素子 1 の他端 Q から接続境界 K に亘って一定である。バットジョイント接続境界 K において、第一調整層 A 1 は第二調整層 A 2 と対向しバットジョイント接続しており、第三調整層 A 3 は第四調整層 A 4 と対向しバットジョイント接続している。故に、本実施形態の半導体集積素子 1 では、特許文献 1 のようなテーパ領域が不要であり、特許文献 1 のようなテーパ領域を有する半導体集積素子よりも素子長を小さくできる。以上のように、第一調整層 A 1 のみならず、第二調整層 A 2 、第三調整層 A 3 及び第四調整層 A 4 をも用いることにより、第一半導体光素子 S 1 及び第二半導体光素子 S 2 の導波光のビーム形状の違いを縮小できる。従って、ビーム形状の違いを縮小するための設計の自由度が増す。

40

【 0 0 9 3 】

50

接続境界Kにおいて、第三調整層A3の第五部分35は、第四調整層A4の第七部分37と接している。接続境界Kにおいて、第三調整層A3の第六部分36は、第四調整層A4の第八部分38と接している。

【0094】

一例として、第三調整層A3の第五部分35の幅(X軸方向の長さ)は、第三調整層A3の第六部分36の幅(X軸方向の長さ)と同じである。図14(a)では、第三調整層A3の第五部分35及び第六部分36の幅をW3で示す。一例として、第四調整層A4の第七部分37の幅(X軸方向の長さ)は、第四調整層A4の第八部分38の幅(X軸方向の長さ)と同じである。図14(b)では、第四調整層A4の第七部分37及び第八部分38の幅をW4で示す。

10

【0095】

図15に示すように、接続境界Kにおいて、第一部分31及び第五部分35の合計幅W5は、第三部分33及び第七部分37の合計幅W6と異なる。接続境界Kにおいて、第一部分31及び第五部分35からなる層と、第三部分33及び第七部分37からなる層とは、階段状に連結している。接続境界Kにおいて、第二部分32及び第六部分36の合計幅W5は、第四部分34及び第八部分38の合計幅W6と異なる。接続境界Kにおいて、第二部分32及び第六部分36からなる層と、第四部分34及び第八部分38からなる層とは、階段状に連結している。

【0096】

第一部分31及び第五部分35の合計幅W5、第二部分32及び第六部分36の合計幅W5、第三部分33及び第七部分37の合計幅W6、第四部分34及び第八部分38の合計幅W6を調整することにより、第一半導体光素子S1及び第二半導体光素子S2の導波光のビーム形状の違いを容易に縮小できる。図15に示される例では、第一部分31及び第五部分35の合計幅W5が、第三部分33及び第七部分37の合計幅W6よりも小さい。

20

【0097】

第一部分31及び第五部分35、並びに第二部分32及び第六部分36の合計幅W5は、半導体集積素子1の一端Pから接続境界Kに亘って一定である。第三部分33及び第七部分37、並びに第四部分34及び第八部分38の合計幅W6は、半導体集積素子1の他端Qから接続境界Kに亘って一定である。

30

【0098】

実効屈折率の調整に必要な屈折率と幅とを有する第一調整層A1、第二調整層A2、第三調整層A3、及び第四調整層A4を導入し、且つ第一リッジ部15の幅W01と第二リッジ部25の幅W02を必要に応じて調整することにより、第一半導体光素子S13及び第二半導体光素子S23の実効屈折率を同一にできる。例えば、第一調整層A1の屈折率が第二調整層A2の屈折率と同じであり、第三調整層A3の屈折率が第四調整層A4の屈折率と同じ場合を考える。この際、第一半導体光素子の実効屈折率が第二半導体光素子の実効屈折率より高いとすると、実効屈折率の合わせ込みのために、例えば第一半導体光素子S13の第一調整層A1の第一部分31及び第三調整層A3の第五部分35の合計幅W5を、第二半導体光素子S23の第二調整層A2の第三部分33及び第四調整層A4の第七部分37の合計幅W6より小さくする。また、第一半導体光素子の実効屈折率が、第二半導体光素子の実効屈折率より低いとすると、実効屈折率の合わせ込みのために、例えば第一半導体光素子S13の第一部分31及び第五部分35の合計幅W5を、第二半導体光素子S23の第三部分33及び第七部分37の合計幅W6より大きくする。

40

【0099】

第三調整層A3は、第四調整層A4と同じ材料からなる、あるいは異なる材料からなる。第三調整層A3及び第四調整層A4には、第一調整層A1や第二調整層A2と同様の材料を適用することができ、InP半導体基板SB上に成長可能な半導体材料を用いることができる。第三調整層A3及び第四調整層A4は、例えばInP、GaInAsP、GaInAs、AlGaInAs、及びAlInAsのうちのいずれかの半導体材料からなる

50

。

## 【0100】

以下に、第三調整層A3及び第四調整層の製造方法を説明する。例えば、第二実施形態で説明したように、第二調整層A2を形成した後、第一半導体光素子S13の第一調整層A1と第二半導体光素子S23の第二調整層A2とを埋め込むように、更に半導体層を形成する。そして、第一半導体光素子S13において、第一リッジ部15と第一調整層A1の合計幅よりも大きな幅を有するマスク（以下、第三マスクともいう）を形成し、第二半導体光素子S23において、第二リッジ部25と第二調整層A2の合計幅よりも大きな幅を有するマスク（以下、第四マスクともいう）を形成する。つまり、第三実施形態では、第三マスクを、コンタクト層17と第一調整層A1上とを覆うように形成し、第四マスクを、コンタクト層27と第二調整層A2上とを覆うように形成する。続いて、第三マスクおよび第四マスクを用いて、エッチングすることにより、第一半導体光素子S13に第三調整層A3を形成し、第二半導体光素子S23に第四調整層A4を形成する。第三マスクおよび第四マスクの幅を適宜変更することにより、第三調整層A3の幅W3と、第四調整層A4の幅W4とを変更することができる。

10

## 【0101】

以上、本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。第一実施形態では、第一半導体光素子S1に第一調整層A1を用い、第二半導体光素子S2に第二調整層A2を用いない例を示したが、これに限定されず、例えば、第一半導体光素子に第一調整層A1を用いず、第二半導体光素子に第二調整層A2を用いる構成とすることもできる。あるいは第三実施形態では、第一半導体光素子に第一調整層A1及び第三調整層A3を用い、且つ第二半導体光素子に第二調整層A2及び第四調整層A4を用いる構成を示したが、これに限定されず、第一半導体光素子に第一調整層A1及び第三調整層A3を用い、第二半導体光素子に第二調整層A2及び第四調整層A4を用いない構成とすることができる。また、第一半導体光素子に第一調整層A1及び第三調整層A3を用いず、第二半導体光素子に第二調整層A2及び第四調整層A4を用いる構成とすることができる。いずれの場合においても、テーパ領域を用いずに、導波光の接続損失を抑制することが可能な半導体集積素子を提供できる。

20

## 【0102】

また、上記実施形態では、調整層が半導体材料である例を示したが、調整層の材料はこれに限定されない。例えば、調整層（第一調整層A1、第二調整層A2、第三調整層A3、第四調整層A4）は、誘電体材料からなってもよい。誘電体材料として、例えば、酸化チタン、酸化タンタル、及び酸化ジルコニウムのうちのいずれかの材料を挙げることができる。例えば、酸化チタンとしてTiO<sub>2</sub>がある。例えば、酸化タンタルとしてTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>がある。例えば、酸化ジルコニウムとしてZrO<sub>2</sub>がある。これらの誘電体材料は、2.2前後の屈折率を有する。誘電体材料からなる調整層は、コア領域Rを構成する半導体材料の屈折率（3以上）と、埋め込み層6を構成する絶縁性材料の屈折率（1.5前後）との間の屈折率を有する。

30

## 【0103】

故に、誘電体材料からなる調整層を用いることにより、第一クラッド層、コア領域、及び第二クラッド層の積層方向と、所定の軸方向と、に直交する方向（以下、第一方向ともいう）における導波光の閉じ込めが弱まる。その結果、第一半導体光素子の導波光のビーム形状は、第一方向に広がる。一方、所定の軸方向に直交する方向であり、なおかつ、第一クラッド層、コア領域、及び第二クラッド層の積層方向と同じ方向（以下、第二方向ともいう）において、第一半導体光素子の導波光のビーム形状は、第一方向の広がり連動して、逆に狭まる方向に変化する。故に、第一半導体光素子のビーム形状は、第二半導体光素子のビーム形状に近づく。よって、第一半導体光素子における導波光のビーム形状と、第二半導体光素子における導波光のビーム形状との違いを縮小できるので、接続界面における導波光の散乱を低減できる。従って、テーパ領域を用いずに、導波光の接続損失を抑制できる。

40

50

## 【 0 1 0 4 】

また、上記誘電体材料は、CVD法やスパッタ法を用いて、例えば200 以下の低温で成膜できる。故に、隣接する第一リッジ部15や第二リッジ部25へ熱的なダメージを及ぼす危険性は低い。また、半導体材料を調整層に用いる場合は、高抵抗化のためには上記のように不純物をドーピングする必要があるが、これらの不純物はクラッド中のドーパントと相互拡散しやすいため、これによって調整層の抵抗が再び低下してリーク電流が増加する等、素子特性を悪化させる可能性がある。一方、当該誘電体材料は、本質的に絶縁性を有するので、不純物をドーピングせずとも高抵抗性を有する。故に、上記のような相互拡散による素子劣化を避けることができるので、当該誘電体材料は、調整層の材料として好適である。

10

## 【 0 1 0 5 】

また、調整層（第一調整層A1，第二調整層A2，第三調整層A3，第四調整層A4）は、a-Siから構成されてもよい。成膜速度や成膜温度の好適な制御により、a-Siは、2～3の屈折率を有することができる。

## 【 0 1 0 6 】

上記実施形態では、第一半導体光素子及び第二半導体光素子の埋め込み層6に同じ材料を用いる例を示したが、これに限定されない。必要に応じて、第一半導体光素子の埋め込み層6の第一領域91は、第二半導体光素子の埋め込み層6の第二領域92と異なる材料からなってもよい。

## 【 0 1 0 7 】

上記実施形態では、第一半導体光素子が分布帰還型レーザーダイオードであり、第二半導体光素子が電界吸収型光変調器である例を示したが、本発明はこれに限られない。例えば、第一半導体光素子がレーザーダイオード(LD)であり、第二半導体光素子がマッハツェンダー変調器であってもよい。あるいは、第一半導体光素子がLDであり、第二半導体光素子が受光素子、SOA、及び合分波器といった変調器以外の素子であってもよい。また、第一半導体光素子が波長可変LDであり、第二半導体光素子が光マトリックススイッチであってもよい。さらに、パッドジョイントにより接続される半導体光素子の数は2に限らず、3以上としてもよい。

20

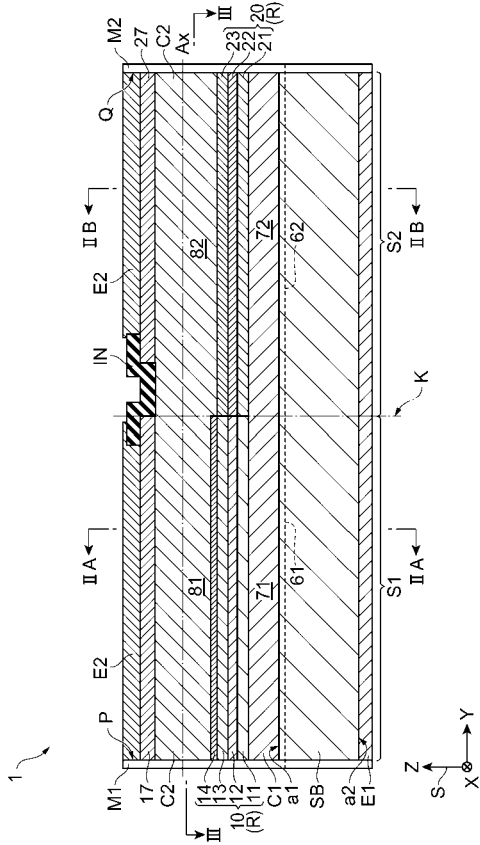
## 【 符号の説明 】

## 【 0 1 0 8 】

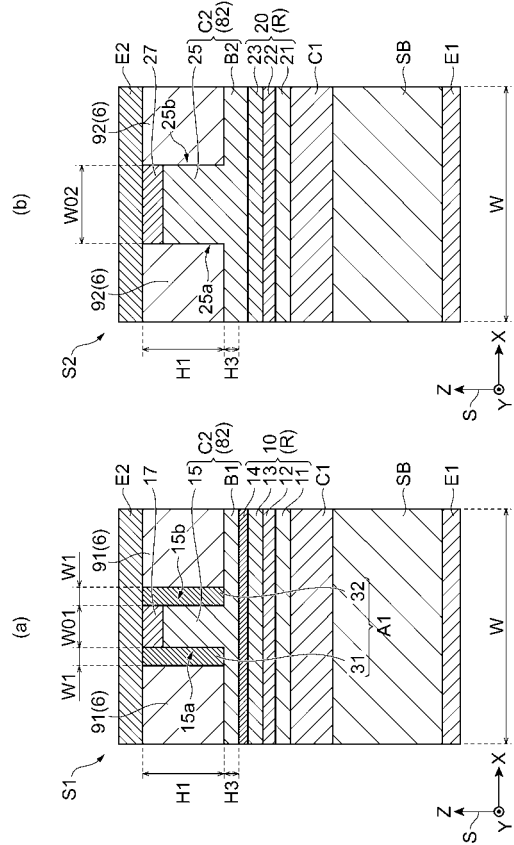
1...半導体集積素子、S0，S1，S13...第一半導体光素子、S2，S22，S23...第二半導体光素子、SB...半導体基板、C1...第一クラッド層、C2...第二クラッド層、6...埋め込み層、10...第一コア層(コア領域R)、11...第一下部光閉じ込め層、12...活性層、13...第一上部光閉じ込め層、14...回折格子層、15...第一リッジ部、20...第二コア層(コア領域R)、21...第二下部光閉じ込め層、22...光吸収層、23...第二上部光閉じ込め層、25...第二リッジ部、17，27...コンタクト層、A1...第一調整層、A2...第二調整層、A3...第三調整層、A4...第四調整層、31...第一部分、32...第二部分、33...第三部分、34...第四部分、35...第五部分、36...第六部分、37...第七部分、38...第八部分、E1...下部電極、E2...上部電極。

30

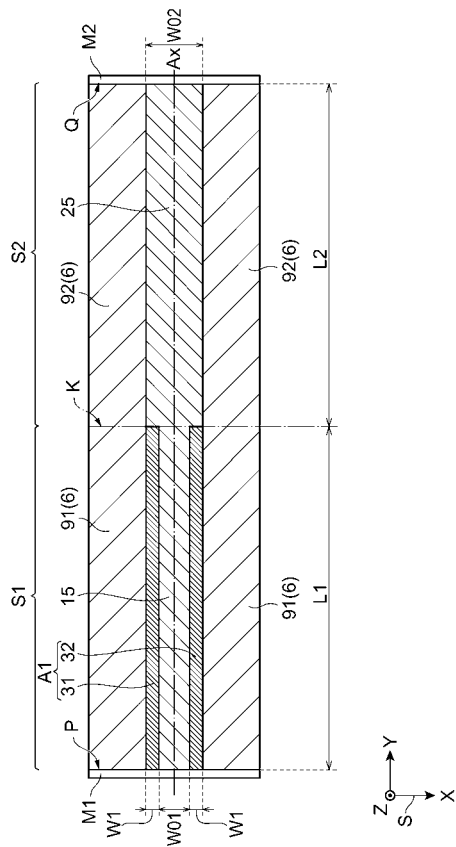
【 図 1 】



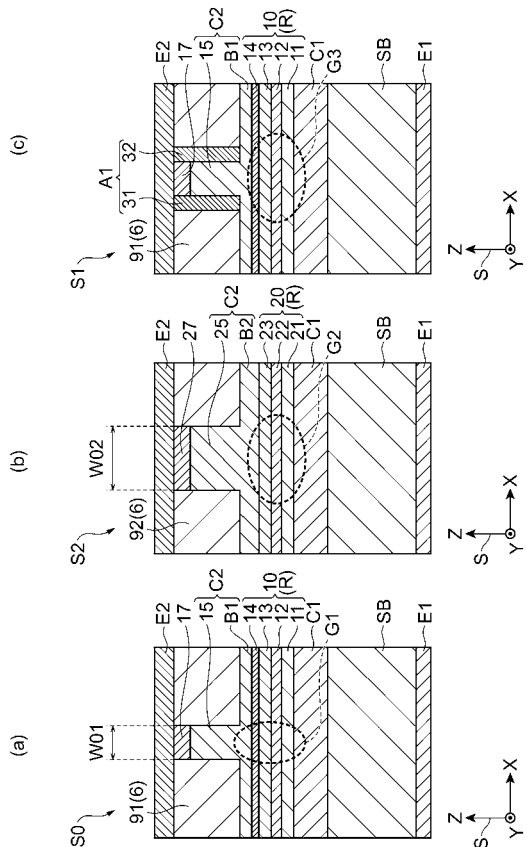
【 図 2 】



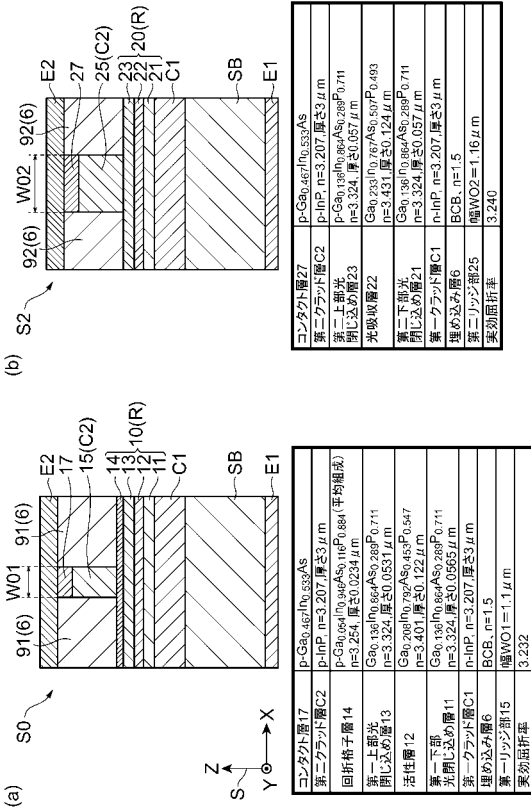
【 図 3 】



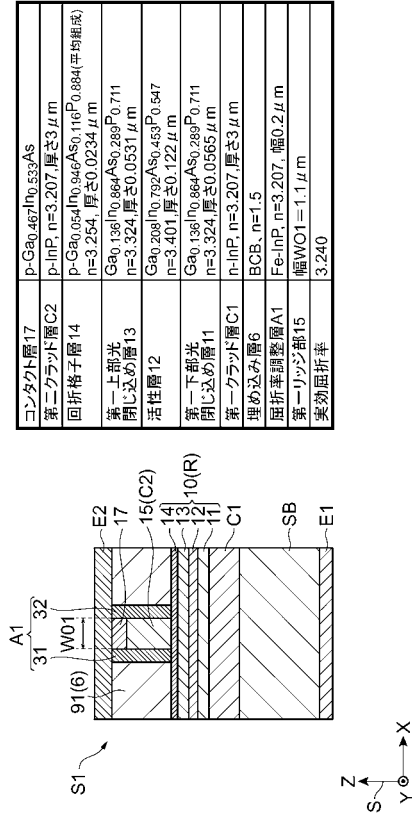
【 図 4 】



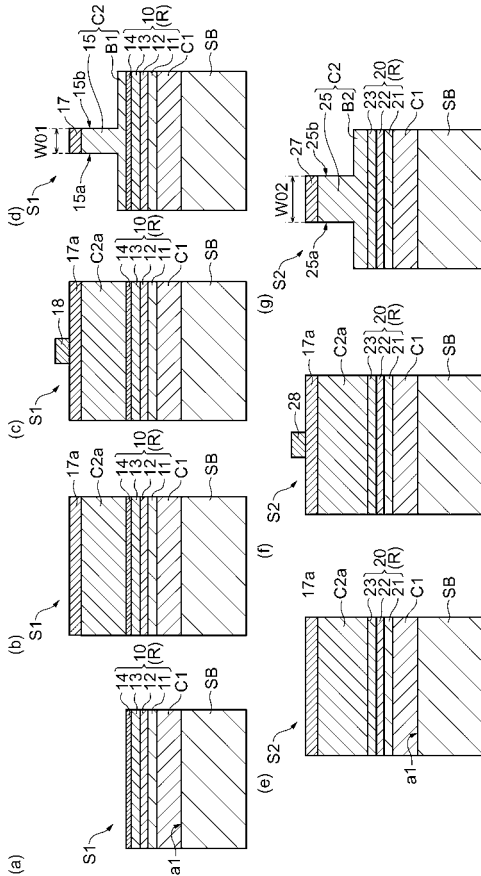
【図 5】



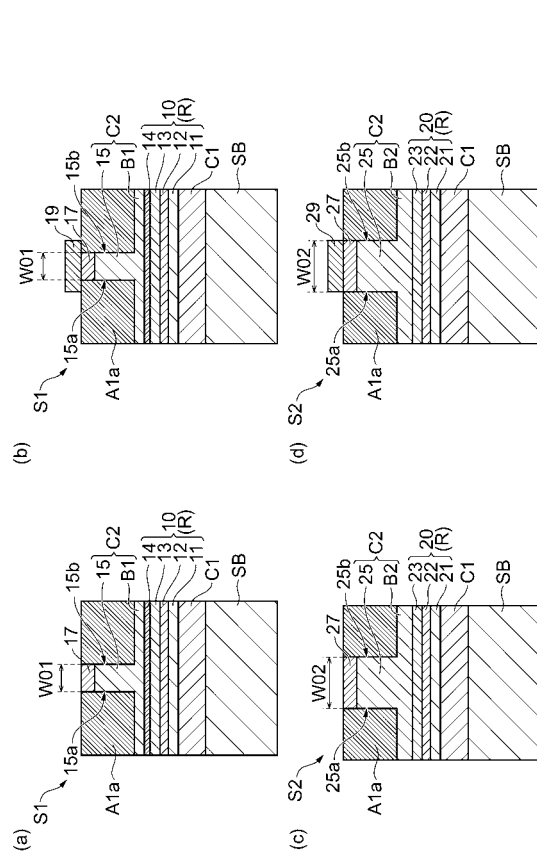
【図 6】



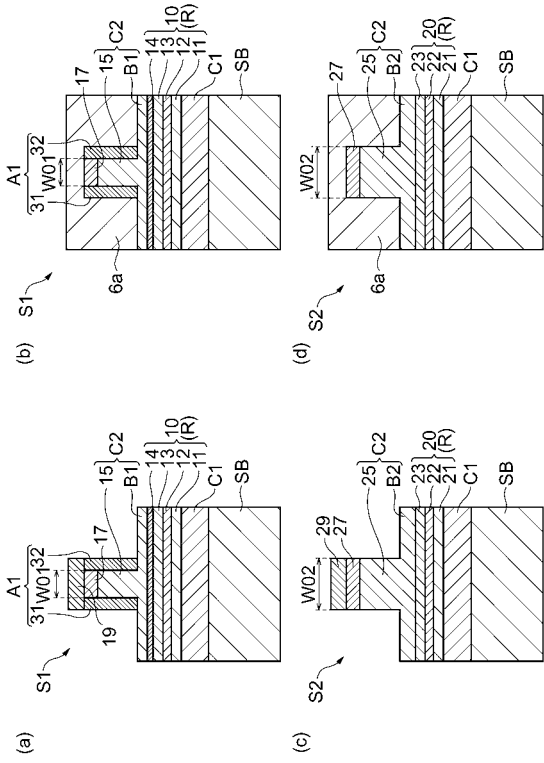
【図 7】



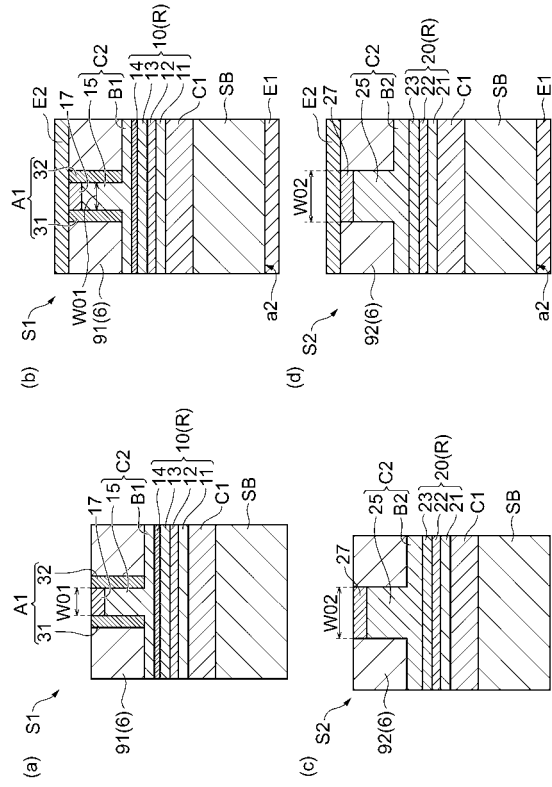
【図 8】



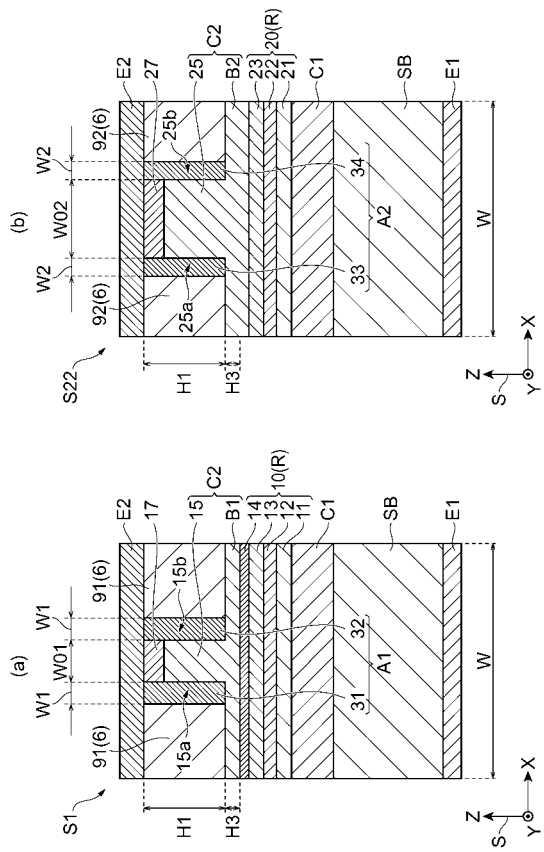
【 図 9 】



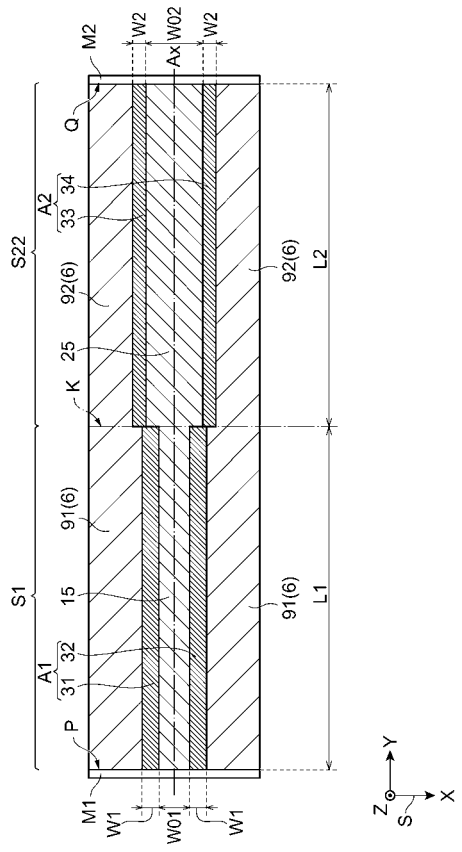
【 図 10 】



【 図 11 】

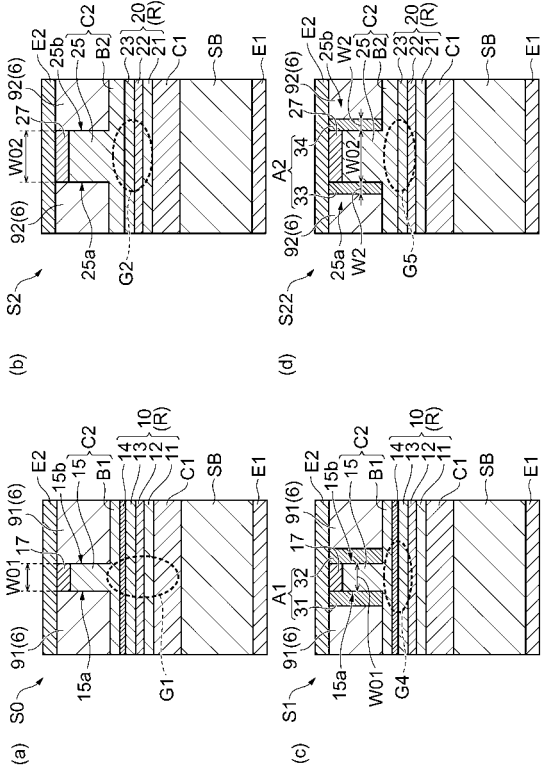


【 図 12 】

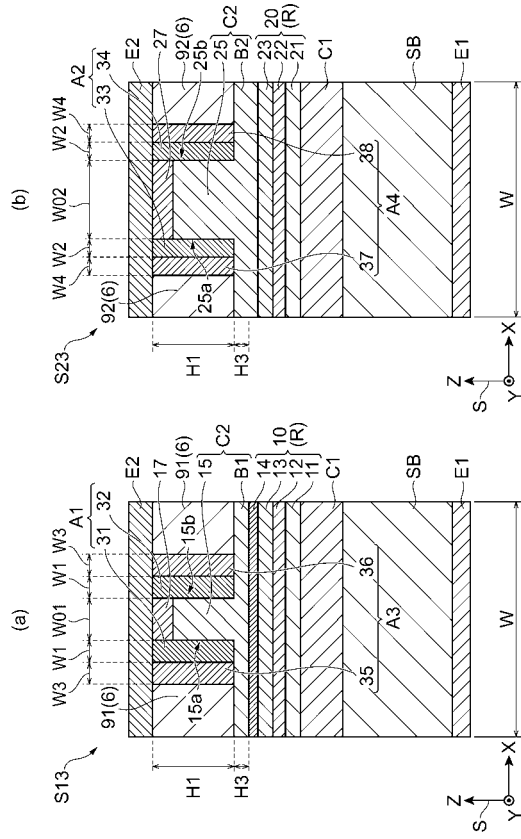




【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】

