(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2012-109630
(P2012-109630A)
(43)公開日　平成24年6月7日(2012.6.7)

(51)Int.Cl.	F I			テーマコード（参考）
H01S 5/026 (2006.01)	H01S	5/026	616	5F173
	H01S	5/026	618	

審査請求 有　請求項の数 3　OL　（全 16 頁）

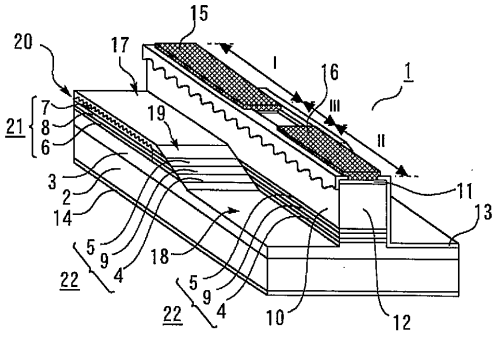
(21)出願番号　特願2012-54391 (P2012-54391)
(22)出願日　平成24年3月12日 (2012.3.12)
(62)分割の表示　特願2007-137573 (P2007-137573)の分割
原出願日　平成19年5月24日 (2007.5.24)
(31)優先権主張番号　特願2006-218762 (P2006-218762)
(32)優先日　平成18年8月10日 (2006.8.10)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(71)出願人　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
(74)代理人　100082175
弁理士　高田　守
(74)代理人　100106150
弁理士　高橋　英樹
(74)代理人　100148057
弁理士　久野　淑己
(72)発明者　大和屋　武
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　宮崎　泰典
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体光集積素子

(57)【要約】
【課題】本発明は、リッジ型導波路とハイメサ型導波路とを同一基板上に有する光導波路、半導体光集積素子において、リッジ型導波路とハイメサ型導波路の境界で発生する光の反射を低減させた構造を提供することを目的とする。
【解決手段】下部クラッド層と、該下部クラッド層の一部分の上層に形成された光を発生する第１コア層と、該下部クラッド層の上層かつ該第１コア層が形成されていない領域に形成された光を吸収する第２コア層と、該第１コア層と該第２コア層の上層に重なるように形成された上部クラッド層とを備え、該第２コア層の屈折率が該第１コア層の屈折率より低く、該第２コア層は、該第１コア層と接触面を有し該接触面と平行な方向の該第２コア層の幅が該接触面から離れる方向に所定幅まで漸減する漸減部と、該漸減部の幅が該所定幅である部分と接触し該所定幅で直線状に形成されたストライプ部とを有する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
下部クラッド層と、
前記下部クラッド層の一部分の上層に形成された光を発生する第１コア層と、
前記下部クラッド層の上層かつ前記第１コア層が形成されていない領域に形成された光を吸収する第２コア層と、
前記第１コア層と前記第２コア層の上層に重なるように形成された上部クラッド層とを備え、
前記第２コア層の屈折率が前記第１コア層の屈折率より低く、
前記第２コア層は、前記第１コア層と接触面を有し前記接触面と平行な方向の前記第２コア層の幅が前記接触面から離れる方向に所定幅まで漸減する漸減部と、
前記漸減部の幅が前記所定幅である部分と接触し前記所定幅で直線状に形成されたストライプ部とを有する事を特徴とする半導体光集積素子。
【請求項２】
前記上部クラッド層は、前記所定幅で、前記ストライプ部とその延長線上の上層に、連続的に他の部分よりは膜厚の厚い部分を有する事を特徴とする請求項１に記載の半導体光集積素子。
【請求項３】
前記上部クラッド層は、前記ストライプ部とその延長線上の上層に連続的に他の部分よりは膜厚の厚い部分を有し、
前記第１コア層の上層に形成された前記膜厚の厚い部分の幅は、前記第２コア層のストライプ構造の上層に形成された前記膜厚の厚い部分の幅よりも大きい事を特徴とする請求項１に記載の半導体光集積素子。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は半導体光集積素子に関し、特に、光導波路の境界部においてレーザ光反射を低減した半導体光集積素子に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
半導体レーザの光導波路として、上部クラッド層をメサストライプ状にエッチングして水平方向の光閉じ込めを行うリッジ型導波路や、上部クラッド層のみだけでなくコア層および下部クラッド層もメサストライプ状にエッチングしたハイメサ型導波路がある。
【０００３】
リッジ型導波路はコア層をエッチングしない構造であるため、半導体光素子の側面の欠陥準位を低減できる。一方、ハイメサ型導波路は、水平方向の光閉じ込めが大きいことや電気キャパシタンスを低減できるなどの特徴をもつ（例えば、特許文献１参照）。
【０００４】
リッジ型導波路とハイメサ型導波路は特性が異なるため、半導体光集積素子でこれらを組み合わせることで、全体の特性向上が図れる。例えば電界吸収型光変調器を集積した半導体レーザにおいて、半導体レーザ部をリッジ型導波路構造とし、光変調器部をハイメサ型導波路構造とする。このような構造とすることで、レーザ部では欠陥準位を低減できるためレーザ特性が向上し、光変調器部では電気キャパシタンスが低減でき、高速変調が可能になる。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】特開２０００－２２８５５８号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】

【０００６】
上述した半導体光集積素子において、リッジ型導波路とハイメサ型導波路では光モードの分布が異なる。このため、両者の境界部で光の反射が発生し、半導体光集積素子の特性を劣化させる。例えば、電界吸収型変調器集積半導体レーザでは、レーザ部と光変調器部の境界での光反射により、レーザの単一波長性が劣化するという問題があった。
【０００７】
本発明は上記課題を解決するためになされたもので、その目的は、リッジ型導波路とハイメサ型導波路とを同一基板上に有する光導波路、半導体光集積素子において、リッジ型導波路とハイメサ型導波路の境界で発生する光の反射を低減させた構造を提供することである。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
本発明に係る半導体光集積素子は、下部クラッド層と、該下部クラッド層の一部分の上層に形成された光を発生する第１コア層と、該下部クラッド層の上層かつ該第１コア層が形成されていない領域に形成された光を吸収する第２コア層と、該第１コア層と該第２コア層の上層に重なるように形成された上部クラッド層とを備え、該第２コア層の屈折率が該第１コア層の屈折率より低く、該第２コア層は、該第１コア層と接触面を有し該接触面と平行な方向の該第２コア層の幅が該接触面から離れる方向に所定幅まで漸減する漸減部と、該漸減部の幅が該所定幅である部分と接触し該所定幅で直線状に形成されたストライプ部とを有する事を特徴とする。
【発明の効果】
【０００９】
本発明によれば、リッジ型導波路とハイメサ型導波路とを同一基板上に有する光導波路、半導体光集積素子において、リッジ型導波路とハイメサ型導波路の境界で発生する光の反射を低減させた構造を得ることができる。
【図面の簡単な説明】
【００１０】
【図１】実施の形態１に係る光導波路及び半導体光集積素子の斜視図である。
【図２】実施の形態１に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図３】実施の形態１に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図４】実施の形態１に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図５】実施の形態１に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図６】実施の形態１に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図７】実施の形態１に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図８】実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子の斜視図である。
【図９】実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図１０】実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図１１】実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図１２】実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図１３】実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図で

ある。
【図１４】実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図１５】実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図１６】実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図１７】実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子の製造方法を示す断面図である。
【図１８】実施の形態３に係る光導波路及び半導体光集積素子の斜視図である。
【図１９】実施の形態３に係る下部クラッド層３、第１コア層２０、第２コア層２１、上部クラッド層１０の配置を説明する図である。
【図２０】実施の形態３に係る半導体光集積素子の上面図である。
【図２１】実施の形態３に係る半導体光集積素子の断面図である。
【図２２】実施の形態３に係る半導体光集積素子の断面図である。
【図２３】実施の形態３に係る半導体光集積素子の断面図である。
【図２４】実施の形態３に係る半導体光集積素子の断面図である。
【図２５】実施の形態３に係る半導体光集積素子の断面図である。
【図２６】実施の形態３に係るメサストライプの幅が最適化された半導体光集積素子の上面図である。
【図２７】実施の形態３に係るメサストライプの幅が最適化された半導体光集積素子の断面図である。
【図２８】実施の形態３に係るメサストライプの幅が最適化された半導体光集積素子の断面図である。
【図２９】実施の形態３に係るメサストライプの幅が最適化された半導体光集積素子の断面図である。
【発明を実施するための形態】
【００１１】
以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について説明する。なお、各図において同一または相当する部分には同一符号を付して、その説明を簡略化ないし省略する。
【００１２】
実施の形態１.
本実施の形態１に係る光導波路、及び半導体光集積素子について、図１を参照して説明する。図１は、電界吸収型光変調器（ＥＡ変調器）と分布帰還型半導体レーザ（ＤＦＢ－ＬＤ）をモノリシックに集積した光変調器集積レーザの斜視図である。
【００１３】
上述した光変調器および半導体レーザは、同一のｐ型InP基板（以下、単に「基板」という）上に形成されている。上記光変調器および半導体レーザにより、レーザ光を生成し、出射するための光導波路が構成されている。この光導波路は、分布帰還型半導体レーザ部（以下、単に「半導体レーザ部」という）Iと、電界吸収型光変調器部（以下、単に「光変調器部」という）IIと、これらの電気的分離を行う中間部としてのアイソレーション部IIIから構成されている。以下、基板、光導波路、半導体レーザ、及び光変調器を含む全体を「光変調器集積半導体レーザ」と称する。
【００１４】
図１に示すように、光変調器集積半導体レーザ１の長手方向に沿って、半導体レーザ部I、アイソレーション部III、及び光変調器部IIの中央を横断するように、メサストライプ１２が設けられている。半導体レーザ部Iのメサストライプ１２の両外側には面１７が延在し、この面の基板２の上面からの高さは、光変調器部IIのメサストライプ１２の両外側に延在する面１８よりも高くなっている。
【００１５】

また、アイソレーション部IIIのメサストライプ１２の両外側には面１９が延在し、この面の基板２の上面からの高さは、半導体レーザ部I側から光変調器部II側に向かって、傾斜状に低くなっている。

【００１６】

次に、半導体レーザ部Iの構造について説明する。この部分では、基板２の上に、ｐ型InPクラッド層（以下、「下部クラッド層」という）３が設けられ、その上に、InGaAsP分離閉じ込めヘテロ層（以下、「ＳＣＨ層」という）６、InGaAsP/InGaAsP歪MQW（多重量子井戸）で構成された半導体レーザの活性層（以下、単に「活性層」という）８、ＳＣＨ層７が順に積層されている。ＳＣＨ層６、活性層８、及びＳＣＨ層７により、第１コア層２１が構成されている。

【００１７】

ＳＣＨ層７の上部には、周期的エッチングにより形成された回折格子２０が設けられている。さらにその上には、メサストライプ１２の両外側がエッチングされたｎ型InPクラッド層（以下、「上部クラッド層」という）１０が設けられている。メサストライプ１２の上面には、ｎ型InGaAsコンタクト層（以下、単に「コンタクト層」という）１１が設けられ、その上にｎ型電極１５が設けられている。また、基板２の裏面側にはｐ型電極１４が設けられている。

【００１８】

このように半導体レーザ部Iでは、基板２の上に下部クラッド層３、第１コア層２１、上部クラッド層１０が積層され、メサストライプ１２の両外側には、上部クラッド層１０が延在している。そして、ｐ型電極１４とｎ型電極１５との間に電圧を印加することにより、第１コア層２１でレーザ光が発生する。

【００１９】

また、半導体レーザ部Iでは、活性層８およびＳＣＨ層６、７の屈折率は、下部クラッド層３、上部クラッド層１０の屈折率よりも高い。このため、第１コア層２１は、基板２に対して垂直方向の光の閉じ込めを行うことができる。メサストライプ１２の両外側の面１７は、第１コア層２１の上面、つまりＳＣＨ層７の上面より高い位置にあり、リッジ型光導波路構造となっている。

【００２０】

次に、アイソレーション部IIIについて説明する。アイソレーション部IIIは、基板２上の半導体レーザ部Iと光変調器部IIとの間に、隣接して設けられている。基板２の上には、下部クラッド層３が設けられ、その上にＳＣＨ層４、屈折率の高い光変調器吸収層（InGaAsP/InGaAsP歪MQW、以下、単に「吸収層」という）９、ＳＣＨ層５が順に積層されている。ＳＣＨ層４、吸収層９、及びＳＣＨ層５により、第２コア層２２が構成されている。さらにその上に、上部クラッド層１０が設けられている。第２コア層２２は、半導体レーザ部Iとアイソレーション部IIIとの境界で、第１コア層２１と接続されている。そして、メサストライプ１２の両外側で、傾斜状の面１９に、下部クラッド層３、第２コア層２２、上部クラッド層１０が延在している。

【００２１】

このようにアイソレーション部IIIでは、半導体レーザI部側から光変調器部II側に向かって、メサストライプ１２の両外側の面１９の高さが、ストライプ１２方向で徐々に低くなるように変化する。そして、半導体レーザ部Iと光変調器部IIのメサストライプ１２の両外側の面１７と面１８とを接続する構造になっている。

【００２２】

次に、光変調器部IIについて説明する。光変調器部IIは、基板２上のアイソレーション部IIIに隣接して設けられている。アイソレーション部IIIと同様に、基板２の上に、下部クラッド層３が設けられ、その上に第２コア層２２、上部クラッド層１０が積層されている。第２コア層２２は、屈折率の高い吸収層９を有しているため、第１コア層２１で発生したレーザ光を吸収することができる。メサストライプ１２の側面には上部クラッド層１０および第２コア層２２が露出し、さらにメサストライプ１２の両外側には下部クラッド

層３が延在している。メサストライプ１２の上面には、コンタクト層１１が設けられ、その上にｎ型電極１６が設けられている。また、基板２の裏面側には、ｐ型電極１４が設けられている。

【００２３】

このように光変調器部IIでは、屈折率の高い吸収層９及びＳＣＨ層４、５が第２コア層２２となり、メサストライプ１２の両外側の面１８は、第２コア層２２の下面、つまりＳＣＨ層４の下面より低いハイメサ型光導波路構造となっている。

【００２４】

すなわち、図１に示した構造により、アイソレーション部IIIの半導体レーザ部I側から光変調器部II側に向かって、レーザ光の光モード分布形状を徐々に変化させることができる。これにより、リッジ型導波路の半導体レーザ部Iとハイメサ型導波路の光変調器部IIの境界での光反射を、効果的に低減することができる。この結果、半導体レーザ部と光変調器部との境界部の反射により引き起こされる、レーザ単一波長性の劣化を抑制することができる。

【００２５】

次に、図１に示した光導波路及び半導体光集積素子の製造方法について、図２～図７を参照して説明する。まず、図２に示すように、基板２の上にＭＯＣＶＤ（有機金属気相成長）法により、ｐ型InPからなる下部クラッド層３、ＳＣＨ層６、活性層８、ＳＣＨ層７を順次積層する。さらに周期的エッチングにより、ＳＣＨ層７の上部に回折格子２０を形成する。

【００２６】

次に、最終的にアイソレーション部及び光変調器部が形成される領域（以下、それぞれ「領域III」、「領域II」という）の活性層８、ＳＣＨ層６、７を選択的にエッチングして除去する。この結果、図３に示すように、基板２の上で最終的に半導体レーザ部が形成される領域（以下、「領域I」という）、領域II、及び領域IIIのうち、領域Iの下部クラッド層３の上に、レーザ光が発生する第１コア層２１が形成される。

【００２７】

次に、図４に示すように、領域IIIおよび領域IIに、ＭＯＣＶＤ法によりＳＣＨ層４、吸収層９、ＳＣＨ層５を順次積層する。このとき領域Iの活性層８と、領域II及び領域IIIの吸収層９とを、バットジョイントにより結合させる。この結果、領域II、領域IIIの下部クラッド層３の上に、第１コア層２１と接続され、最終的に形成される半導体レーザ部で発生するレーザ光を吸収するための第２コア層２２が形成される。

【００２８】

次に、基板２上に、全面に上部クラッド層及びコンタクト層を、ＭＯＣＶＤ法により順次形成する。この結果、図５に示すように、第１コア層２１および第２コア層２２の上に、上部クラッド層１０及びコンタクト層１１が形成される。さらに、コンタクト層１１の上に、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、フォトレジストなどからなるマスクパターン１０１を形成する。

【００２９】

上記マスクパターン１０１を基板２の上面側から見た平面図を図６に示す。このマスクパターン１０１は、領域I、領域III、及び領域IIを所定幅で横断するストライプ状の第１パターン１０１ａと、このパターンに対向して配置された一対の第２パターン１０１ｂ、１０１ｃとにより構成されている。（なお、図６に、最終的に形成される光変調器集積半導体レーザ１のウェハ上での位置を示しておく）。

【００３０】

領域Iでは、第１パターン１０１ａと第２パターン１０１ｂとの間隔、及び第１パターン１０１ａと第２パターン１０１ｃとの間隔がd_1となるように配置されている。領域IIでは、第１パターン１０１ａと第２パターン１０１ｂとの間隔、及び第１パターン１０１ａと第２パターン１０１ｃとの間隔が、d_1よりも小さいd_2となるように配置されている。そして領域IIIでは、領域I側から領域II側に向かって、第１パターン１０１ａと第２

パターン１０１ｂとの間隔、及び第１パターン１０１ａと第２パターン１０１ｃとの間隔が、d_1からd_2に漸減するように配置されている。このようにして、マスクパターン１０１の第１パターン１０１ａと第２パターン１０１ｂ、及び第１パターン１０１ａと第２パターン１０１ｃとの間に、それぞれ開口部１０２が設けられている。

【００３１】

すなわち、マスクパターン１０１の中央部には、領域I、領域III、領域IIを横断するようにストライプ状の第１パターン１０１ａが延在し、その両脇に開口部１０２が設けられている。開口部１０２の幅は、領域Iの方が領域IIよりも大きくなっている。そして領域IIIでは、領域Iと領域IIの開口部１０２を接続するように、開口部の幅が徐々に変化する。

【００３２】

次に、マスクパターン１０１をマスクとして、基板２の上面を選択的にエッチングする。例えば、ＲＩＥ（Reactive Ion Etching)やＩＣＰ（Inductively Coupled Plasma）などのドライエッチングにより行う。この結果、図７（斜視図）に示す形状が得られる。

【００３３】

上述したエッチングの際には、図６に示したマスクパターン１０１の開口部１０２の幅に依存して、エッチングレートが変化する。領域Iでは開口部１０２の幅が大きいため、この箇所でのエッチングレートは小さく、領域IIでは領域Iと比較して開口部１０２の幅が小さいため、エッチングレートは領域Iよりも相対的に大きくなる。領域IIIでは、領域Iから領域IIに向かって開口幅が徐々に小さくなるため、領域I側から領域II側に向かってエッチングレートが徐々に大きくなる。

【００３４】

このため、図７に示すように、領域Iではメサストライプ１２の両外側の面１７は、第１コア層２１の上面、つまりＳＣＨ層７の上面より高くなっている。また、光変調器部IIではメサストライプ１２両外側の面１８は、第２コア層２２の底面、つまりＳＣＨ層４の下面より低くなっている。更に領域IIIでは、メサストライプ１２の両外側の面１９の高さが、領域I側から領域II側に向かってストライプ方向で徐々に低くなり、面１７と面１８とを傾斜状に接続する形状となっている。

【００３５】

次に、上述したエッチングで用いたマスクパターン１０１を除去し、アイソレーション部IIIのコンタクト層１１を除去する。さらに、メサストライプ１２の直上以外の表面に、シリコン酸化膜を形成する。そして最後にｎ型電極、ｐ型電極を形成する。この結果、図１に示した構造が得られる。

【００３６】

以上説明した製造方法により、図１に示した構造、即ち半導体レーザ部Iがリッジ型導波路であり、光変調器部IIがハイメサ型導波路であり、これらを接続するアイソレーション部IIIを有する構造が得られる。そして、アイソレーション部IIIでメサストライプ両脇部の面の高さが徐々に変化し、半導体レーザ部と光変調器部を接続する光導波路、およびこの光導波路を有する光変調器集積半導体レーザを得ることができる。

【００３７】

実施の形態２．

本実施の形態２に係る光導波路及び半導体光集積素子について、図８を参照して説明する。ここでは、実施の形態１と異なる点を中心に説明する。

【００３８】

図８に示すように、半導体レーザ部I、アイソレーション部III、及び光変調器部IIの中央部を横切るようにメサストライプ１２が設けられ、その両外側に延在する面２０４の基板２の上面からの高さは、一定となっている。そして、アイソレーション部IIIでは、基板２の上面からの第２コア層２２の高さが、半導体レーザ部I側から光変調器部II側に向かって高くなっている。

【００３９】

半導体レーザ部Iでは、活性層８およびＳＣＨ層６、７の屈折率は、下部クラッド層３、上部クラッド層１０の屈折率よりも高い。このため、第１コア層２１は、基板２に対して垂直方向の光の閉じ込めを行うことができる。第１コア層２１の上面つまりＳＣＨ層７の上面はメサストライプ１２の両外側の面２０４より低い位置にあり、リッジ型光導波路構造となっている。

【００４０】

一方、光変調器部IIでは、基板２の上面から第２コア層２２の下端までの高さは、半導体レーザ部Iの基板２の上面から第１コア層２１の上端までの高さよりも、高い構造となっている。すなわち、屈折率の高い吸収層９及びＳＣＨ層４、５が第２コア層２２となり、第２コア層２２の下面つまりＳＣＨ層４の下面は、メサストライプ１２の両外側の面２０４より高い位置にあり、ハイメサ型光導波路構造となっている。

【００４１】

半導体レーザ部Iと光変調器部IIとの間にあるアイソレーション部IIIでは、第２コア層２２を構成する吸収層２０３、ＳＣＨ層２０１、２０２の基板２の上面からの高さが徐々に変化する。そして、半導体レーザ部Iとアイソレーション部IIIの境界で、半導体レーザ部Iの活性層８、ＳＣＨ層６、７と、アイソレーション部IIIの吸収層２０３、ＳＣＨ層２０１、２０２とを、それぞれ接続する構造となっている。

【００４２】

図８に示した構造では、半導体レーザ部Iの第１コア層２１と光変調器部IIの第２コア層２２の基板２の上面からの高さを異ならせるようにした。そして、アイソレーション部IIIでは、第２コア層２２の基板２の上面からの高さを徐々に変化させ、半導体レーザ部Iの第１コア層２１と、光変調器部IIの第２コア層２２とを接続するようにした。これにより、リッジ型導波路とハイメサ型導波路の境界部での光反射を低減することが可能になる。その結果、半導体レーザ部と光変調器部との境界部の反射で引き起こされる、レーザ単一波長性の劣化を抑制することができる。

【００４３】

次に、図８に示した光導波路及び半導体光集積素子の製造方法について、図９～図１７を参照して説明する。まず、図９に示すように、基板２上の領域I、領域II及び領域IIIに、シリコン酸化膜などからなる第１マスクパターン３０１を形成する。基板２上の領域I、領域II、領域IIIは、それぞれ最終的に半導体レーザ部、光変調器部、アイソレーション部が形成される領域である。

【００４４】

上記第１マスクパターン３０１を基板２の上面側から見た平面図を図１０に示す。第１マスクパターン３０１は、上述した領域I、領域III、領域IIを所定間隔W_1で横断する２本のストライプ状のマスクパターン３０２ａ、３０２ｂにより構成されている。これらのマスクパターンは、領域Iでは第１の幅L_1で設けられ、領域IIでは第１の幅L_1よりも大きい第２の幅L_2で設けられている。そして領域IIIでは、領域I側から領域II側に向かって、幅がL_1からL_2まで漸増するように設けられている（なお、図１０に、最終的に形成される光変調器集積半導体レーザ１のウェハ上での位置を示しておく）。

【００４５】

このようにして、マスクパターン３０２ａとマスクパターン３０２ｂとの間には、ストライプ状に開口部３０３が形成されている。マスクパターン３０２ａ、３０２ｂの幅は、領域Iよりも領域IIで太くなっている。そして、領域IIIでは領域I、領域IIの第１マスクパターン３０２ａ、３０２ｂを接続するように、幅が変化している。

【００４６】

次に、上述した第１マスクパターン３０１をマスクとして、有機金属気相エピタキシャル成長により、下部クラッド層３を形成する。このとき、基板２の上で、領域I、領域III、及び領域IIの第１マスクパターン３０１の２本のストライプ間に設けられた開口部３０３の位置で、下部クラッド層３の選択結晶成長が行われる。この結果、図１０に示した開口部３０３の長手方向に沿った部分の断面は、図１１に示すようになる。すなわち半導体

レーザ部I、アイソレーション部III、光変調器部IIで、開口部３０３に沿って、下部クラッド層３の厚さが変化する構造が得られる。

【００４７】

上記選択成長の際には、図１０に示したマスクパターン３０１の開口部３０３の両側のマスクパターン３０２ａ、３０２ｂの幅に依存して、成長速度が変化する。すなわち、領域Iではマスクパターン３０２ａ、３０２ｂの幅が小さいため、この箇所での結晶成長速度は小さい。領域IIでは、領域Iと比較して、マスクパターン３０２ａ、３０２ｂの幅が大きいため、この箇所での結晶成長速度は領域Iよりも相対的に大きくなる。領域IIIでは、領域I側から領域II側に向かってマスクパターン３０２ａ、３０２ｂの幅が徐々に大きくなるため、領域I側から領域II側に向かって、結晶成長速度が徐々に大きくなる。

【００４８】

この結果、図１１に示すように領域Iの下部クラッド層３の厚さが、領域IIの下部クラッド層３の厚さよりも薄くなり、領域IIIでは厚さが徐々に変化し、領域Iと領域IIの下部クラッド層３を接続する形状となる。このようにして、基板２上に形成された第１マスクパターン３０１の２本のストライプ間に設けられた開口部３０３の位置に、選択的に下部クラッド層を形成する。この後、図示しないが、第１マスクパターン３０１を除去する。

【００４９】

次に、図１２に示すように、基板２の上にＳＣＨ層６、活性層８、ＳＣＨ層７を順次積層する。さらに周期的エッチングにより、領域IのＳＣＨ層７の上部に、回折格子２０を形成する。次に、図示しないが、領域IIおよび領域IIIのＳＣＨ層６、７及び活性層８をエッチングして除去する。このようにして、領域Iの下部クラッド層３の上に、レーザ光が発生する第１コア層２１を形成する。

【００５０】

次に、図１３に示すように、ＭＯＣＶＤ法により、領域IIにＳＣＨ層４、吸収層９、ＳＣＨ層５を順次積層して、第２コア層２２を形成する。また、これと同時に領域IIIに、ＳＣＨ層２０１、吸収層２０３、及びＳＣＨ層２０２を順次積層して、第２コア層２２を形成する。このとき、領域Iの第１コア層２１の活性層８、ＳＣＨ層６、７と、領域IIIの第２コア層２２の吸収層２０３、ＳＣＨ層２０１、２０２とを、それぞれバットジョイントにより結合させる。このようにして、領域IIIおよび領域IIの下部クラッド層３の上に、第１コア層２１と接続され、レーザ光を吸収するための第２コア層２２を形成する。

【００５１】

次に、図１４に示すように、基板２の上で、領域I、領域II及び領域IIIの上に、第２マスクパターン３０４を形成する。この第２マスクパターン３０４を基板２の上面側から見た平面図を図１５に示す。第２マスクパターン３０４は、図１５に示すように、領域I、領域III、領域IIを所定間隔W_2（但し、W_2は、図１０に示したW_1と同一である必要はない）で横断する２本のストライプ状のマスクパターン３０５ａ、３０５ｂにより構成されている。これらのマスクパターンは、領域Iでは、第３の幅L_3で設けられ、領域IIでは、第３の幅L_3よりも小さい第４の幅L_4で設けられている（但し、L_3及びL_4は、L_1、L_2とは相関なし）。そして、領域IIIでは、領域I側から領域II側に向かって、幅がL_3からL_4に漸減するように設けられている。このとき、第２マスクパターン３０４のマスクパターン３０５ａ、３０５ｂの間に設けられた開口部３０６が、基板２上で、図１０に示した第１マスクパターン３０１の開口部３０３が形成されていた位置と重なる領域ができる位置に形成する（なお、図１５に、最終的に形成される光変調器集積半導体レーザ１のウェハ上での位置を示しておく）。

【００５２】

このようにして基板２の上に第２マスクパターン３０４を形成することにより、マスクパターン３０５ａ、３０５ｂの間に、ストライプ状の開口部３０６が形成される。このときマスクパターン３０５ａ、３０５ｂの幅は、領域IIよりも領域Iで太くなっている。そして、領域IIIでは領域I、IIのマスクパターン３０５ａ、３０５ｂを接続するように、幅が変化している。

【００５３】
次に、第２マスクパターン３０４をマスクとして、基板２上で、第１マスクパターン３０１の開口部３０３と第２マスクパターン３０４の開口部３０６とが重なる領域に、選択的に上部クラッド層１０を形成する。例えば、有機金属気相エピタキシャル成長を用いて形成する。
【００５４】
上述した上部クラッド層１０を形成する場合、図１５に示したマスクパターン３０４の開口部３０６の両側のマスクパターン３０５ａ、３０５ｂの幅に依存して、成長速度が変化する。すなわち、領域Iではマスクパターン３０５ａ、３０５ｂの幅が大きいため、この箇所での結晶成長速度は大きい。領域IIでは、領域Iと比較して、マスクパターン３０５ａ、３０５ｂの幅が小さいため、この箇所での結晶成長速度は領域Iよりも相対的に小さくなる。領域IIIでは、領域I側から領域II側に向かってマスクパターン３０５ａ、３０５ｂの幅が徐々に小さくなるため、領域I側から領域II側に向かって、結晶成長速度が徐々に小さくなる。
【００５５】
この結果、図１６に示すように、領域Iの上部クラッド層１０の厚さが、領域IIの上部クラッド層１０の厚さよりも厚くなり、領域IIIでは、領域I側から領域II側に向かって厚さが徐々に減少する形状となる。結局、上部クラッド層１０の基板２の上面からの高さは、領域I、II及びIIIでほぼ一定となり、上部クラッド層１０の上面は、領域I、III及び領域IIで、ほぼフラットな形状となる。
【００５６】
次に、図１４、図１５に示した第２マスクパターン３０４を除去する。そして、上部クラッド１０の上に、ｎ型InGaAsからなるコンタクト層を形成する。さらに、ＲＩＥ（Reactive Ion Etching)やＩＣＰ（Inductively Coupled Plasma）などのドライエッチングにより、基板２上にメサ状のストライプを形成する。この結果、図１７（斜視図）に示す構造が得られる。
【００５７】
この構造では、領域I（半導体レーザ部I）の第１コア層２１の上面、つまりＳＣＨ層７上面の高さは、メサストライプ１２の両外側の面２０４より低くなっている。領域II（変調器部II）の第２コア層２２の下面、つまりＳＣＨ層４の下面の高さは、メサストライプ１２の両外側の面２０４より高くなっている。領域III（アイソレーション部III）の第２コア層２２、つまり吸収層２０３、ＳＣＨ層２０１、２０２の高さは徐々に変化している。そして領域Iの活性層８と領域IIIの吸収層９を接続し、領域IのＳＣＨ層６、７と領域IIIのＳＣＨ層２０１、２０２とをそれぞれ接続する構造となっている。
【００５８】
次に、領域III（アイソレーション部III）のコンタクト層を除去する。さらにメサストライプ１２の直上以外の表面に、シリコン酸化膜を選択的に形成する。そして最後に、メサストライプ１２の上面にｎ型電極を形成し、基板２の裏面側にｐ型電極を形成する。
【００５９】
以上説明した製造方法により、図８に示した構造、即ち半導体レーザ部Iがリッジ型導波路であり、光変調器部IIがハイメサ型導波路であり、これらを接続するアイソレーション部IIIを有する構造が得られる。そして、アイソレーション部IIIでコア層の高さが徐々に変化し、半導体レーザ部と光変調器部のコア層を接続する光導波路、およびこの光導波路を有する光変調器集積半導体レーザを得ることができる。
【００６０】
実施の形態３
本実施形態は光変調器集積半導体レーザの半導体レーザ部と光変調器部との間の反射を抑制し、かつ諸特性を向上させた光変調器集積半導体レーザに関する。図１８は本実施形態の光変調器集積半導体レーザを説明するための図である。図１８は本実施形態の光変調器集積半導体レーザの斜視図である。本実施形態の光変調器集積半導体レーザが備える半

導体レーザ部、光変調器部の構成は図１で表される実施形態１の構成と同様である。本実施形態の特徴は光変調器集積半導体レーザが有する下部クラッド層３、第１コア層２１、第２コア層２３、上部クラッド層１０の配置にある。図１８に表される構造の下部クラッド層３、第１コア層２１、第２コア層２３、上部クラッド層１０について図１９を用いて詳細に説明する。

【００６１】

図１９は下部クラッド層３、第１コア層２１、第２コア層２３、上部クラッド層１０の上面図である。下部クラッド層３の上面図は図１９（Ａ）である。下部クラッド層３は半導体レーザ部I、光変調器部II、アイソレーション部IIIに形成されている。図１９（Ａ）の網掛け部分は、下部クラッド層３が僅かにエッチングされている部分を表している。従って下部クラッド層３の網掛け部分は斜線部部分よりも下部クラッド層３が薄い領域である。なお、下部クラッド層３斜線部分のエッチングは意図的に行われるものではないので、下部クラッド層３は半導体レーザ部I、光変調器部II、アイソレーション部IIIに渡って平坦な面を形成していても良い。

【００６２】

次に、図１９（Ｂ）に示される第１コア層２１と第２コア層２３の配置について説明する。図１８に示される通り、第１コア層２１とはＳＣＨ層６、活性層８、ＳＣＨ層７からなる構造である。第２コア層２３とはＳＣＨ層４、吸収層９、ＳＣＨ層５からなる構造の事である。第１コア層２１は半導体レーザ部Iに形成される。第２コア層２３はアイソレーション部IIIにおいては、半導体レーザ部Iに接する面から光変調器部IIに接する面に向かってその幅が漸減するように形成されている。また、第２コア層２３は第１コア層と接触する面を備えている。光変調器部IIにおける第２コア層２３は、前述のアイソレーション部IIIにおける第２コア層２３が光変調器部IIと接する面で有する幅を維持して形成される。そして光変調器部IIの第２コア層２３はアイソレーション部IIIの第２コア層２３と連続するようにストライプ状に形成されている。なお、第１コア層２１と第２コア層２３は図１９（Ａ）の斜線部と重なるように形成される。

【００６３】

次に図１９（Ｃ）に示されている上部クラッド層１０の配置について説明する。上部クラッド層１０は前述の第１コア層２１と第２コア層２３が形成される領域と重なるようにそれらの上層に形成されている。図１９（Ｃ）網掛け部、斜線部共に上部クラッド層１０が形成される領域である。しかし網掛け部はエッチングにより上部クラッド層の膜厚が減じられているため、斜線部よりは膜厚が薄くなっている。上述のエッチングはメサストライプ１２形成のために行われる。そして、図１９（Ｃ）斜線部分で表される上部クラッド層１０の幅は半導体レーザ部I、光変調器部II、アイソレーション部IIIに渡って一定である。この斜線部分で表される上部クラッド層１０が図１８に示されるメサストライプ１２の一部を構成している。

【００６４】

上述してきたように、本実施形態の光変調器集積半導体レーザは図１９（Ａ）で表される下部クラッド層３の上層に、下部クラッド層３の斜線部分と重なるように図１９（Ｂ）で示す第１コア層２１と第２コア層２３が形成される。さらに第１コア層２１と第２コア層２３の上層に、第１コア層２１又は第２コア層２３に重なるように上部クラッド層１０が形成される構成を備える（図１９（Ｃ））。ここで、図２０に、図１８の上面図を示す。なお図２０においては説明の便宜上電極１５、１６は省略している。また、面１７は上部クラッド層１０の表面であり、面１８は下部クラッド層３の表面である。図２０においてアイソレーション部IIIにおける面１７の、メサストライプ長手方向と垂直方向の幅は、幅Ｗとして記載されている。幅Ｗはアイソレーション部IIIの半導体レーザ部Iと接する部分で最大値をとり光変調器部IIと接する部分に向かって漸減する。Ｗは光変調器部IIに接する部分でメサストライプ１２の幅と一致する。図１９の破線Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｄ、Ｅにおける光変調器集積半導体レーザの断面をそれぞれ図２１～図２５に示す。

【００６５】

このように、本実施形態のアイソレーション部IIIにおけるメサストライプ１２の両外側は、半導体レーザ部Iと接する部分から光変調器部IIに接する部分にかけて前述したＷが漸減する構成である。このような構造により、光変調器部IIに伝送されるべき半導体レーザ部Iで発生した光の光モード分布形状をアイソレーション部IIIにおいて徐々に変化させる事ができる。半導体レーザ部Iから光変調器部IIへの光の光モード分布形状を段階的に変化させる事により、半導体レーザ部Iと光変調器部IIとの間の光の反射を抑制できる。そして前述の反射を抑制する事で光パワーの損失低減とレーザの単一波長性を維持する事ができる。

【００６６】

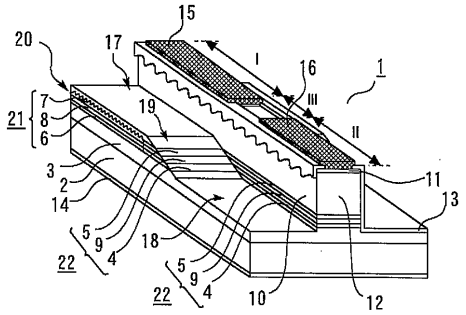
本実施形態ではメサストライプ１２の長手方向と垂直方向のメサストライプ１２の長さ（以後、メサストライプ幅と称する）は、半導体レーザ部I、光変調器部II、アイソレーション部IIIに渡って一定としたが本発明はこれに限定されない。すなわち、図２６に示す光変調器集積半導体レーザの上面図のように、半導体レーザ部Iのメサストライプ幅Ｗ１が光変調器IIのメサストライプ幅Ｗ２と異なっていても、前述したアイソレーション部IIIの幅Wが半導体レーザ部Iとの接触面から光変調器部IIとの接触面へ漸減する限り本発明の効果は得られる。図２６の破線Ｆ、破線Ｇ、破線Ｈの断面をそれぞれ図２７、図２８、図２９に示す。このように半導体レーザ部Iのメサストライプ幅Ｗ１と光変調器部IIのメサストライプ幅Ｗ３をそれぞれ最適な値とする事で特性の最適化が可能である。具体的には、半導体レーザの電流－光出力特性、閾値電流・光出力の温度依存性、光変調器の変調帯域、消光比などの特性をそれぞれ最適化できる。従って図２６のような構成によれば、半導体レーザ部Iと光変調器部IIとの間の光の反射を抑制しながらも、メサストライプ幅の最適化により諸特性を最適化できる。

【符号の説明】

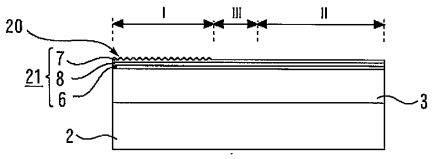
【００６７】

１　光変調器集積半導体レーザ、２　ｐ型InP基板、３　ｐ型InPクラッド層（下部クラッド層）、４、５、６、７　InGaAsP分離閉じ込めヘテロ層（ＳＣＨ層）、８　InGaAsP/InGaAsP歪MQW層（活性層）、９　光変調器吸収層（InGaAsP/InGaAsP歪MQW）、１０　ｎ型InPクラッド層（上部クラッド層）、１１　コンタクト層、１２　メサストライプ、１４　ｐ型電極、１５、１６　ｎ型電極、２０　回折格子、２１　第１コア層、２２　第２コア層、２３　実施形態３の第２コア層

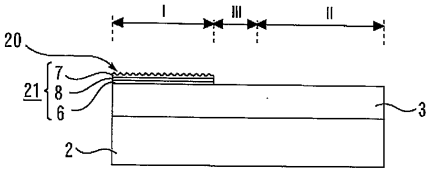
【図１】



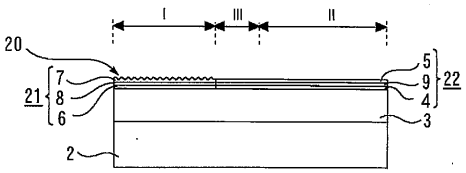
【図２】



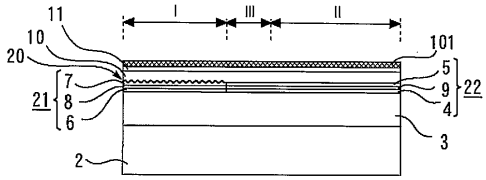
【図３】



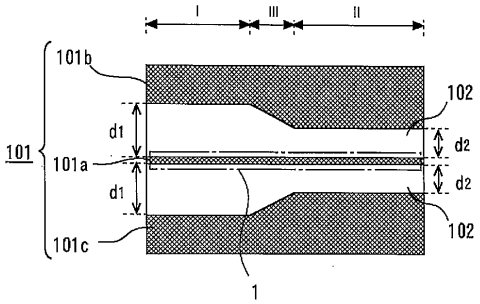
【図４】



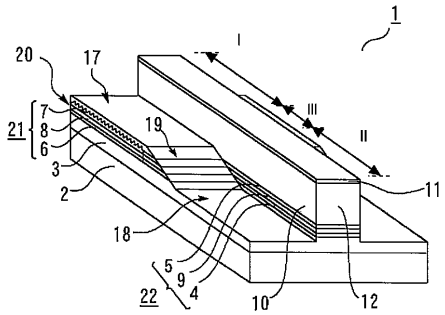
【図５】



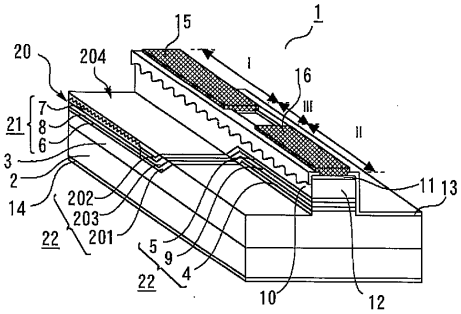
【図６】



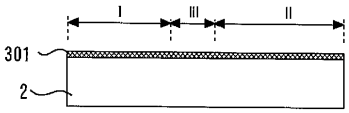
【図７】



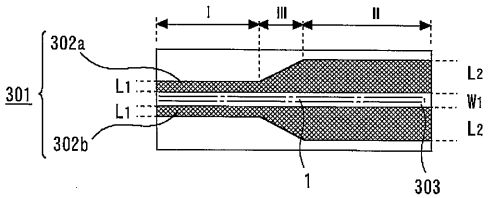
【図８】



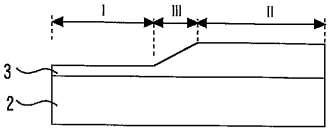
【図９】



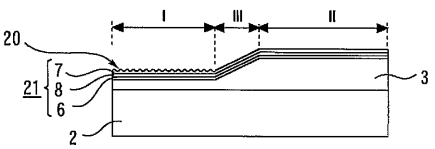
【図１０】



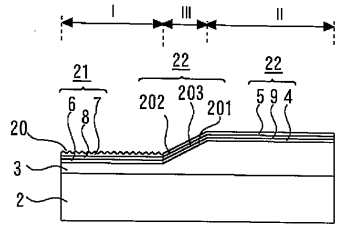
【図１１】



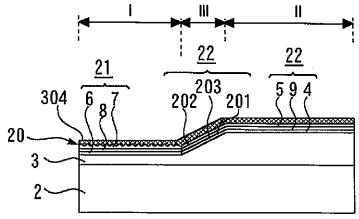
【図１２】



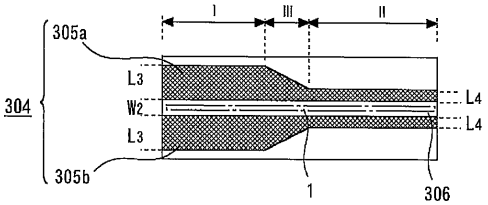
【図１３】



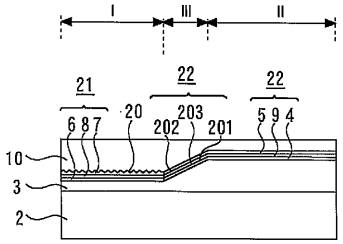
【図１４】



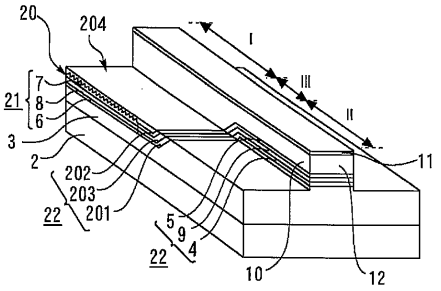
【図１５】



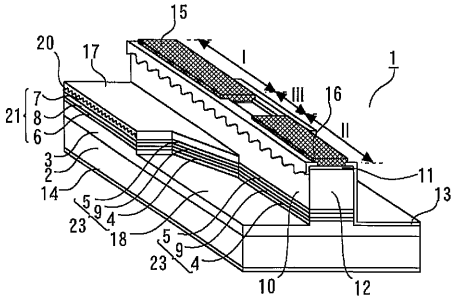
【図１６】



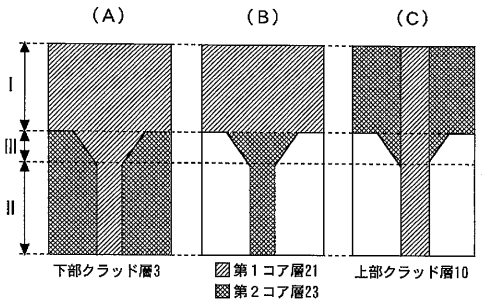
【図１７】



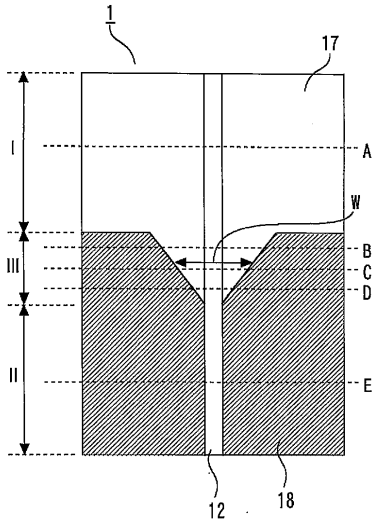
【図１８】



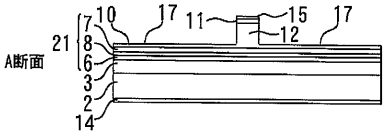
【図１９】



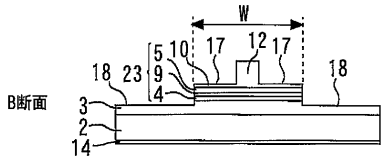
【図２０】



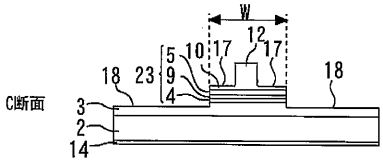
【図２１】



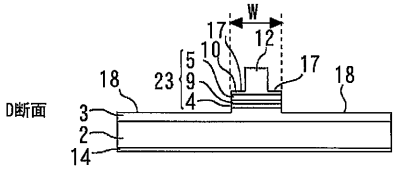
【図２２】



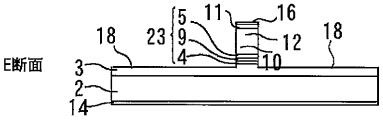
【図２３】



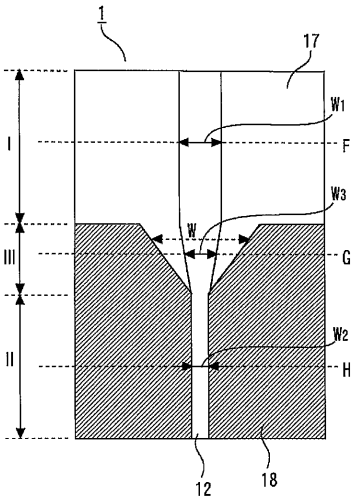
【図２４】



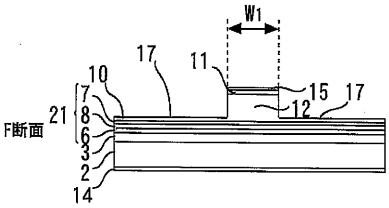
【図２５】



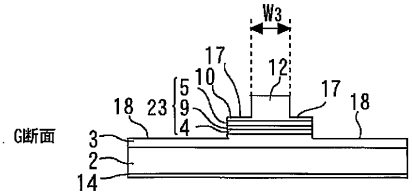
【図２６】



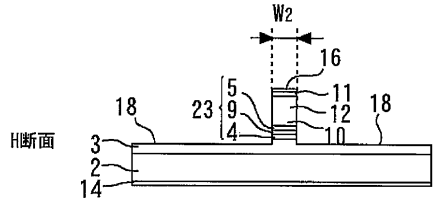
【図２７】



【図２８】



【図２９】



フロントページの続き

(72)発明者　青柳　利隆
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内

Ｆターム(参考) 5F173 AA08 AB13 AB64 AB82 AD12 AF33 AG01 AH14 AP05 AP13
AP33 AR04 AR23