

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6375960号
(P6375960)

(45) 発行日 平成30年8月22日 (2018. 8. 22)

(24) 登録日 平成30年8月3日 (2018. 8. 3)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 S 5/026 (2006. 01)

H O 1 S 5/026 6 1 8

H O 1 S 5/227 (2006. 01)

H O 1 S 5/227

G O 2 B 6/12 (2006. 01)

G O 2 B 6/12 3 0 1

請求項の数 3 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2015-8745 (P2015-8745)
(22) 出願日 平成27年1月20日 (2015. 1. 20)
(65) 公開番号 特開2016-134522 (P2016-134522A)
(43) 公開日 平成28年7月25日 (2016. 7. 25)
審査請求日 平成29年6月15日 (2017. 6. 15)

(73) 特許権者 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 境野 剛
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
審査官 大和田 有軌

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

n 型半導体基板と、

前記 n 型半導体基板上に形成され、メサストライプ状に加工された活性層と、前記活性層上に形成された p 型クラッド層とを有する半導体レーザ部と、

前記 n 型半導体基板上において前記活性層の光出力側に形成され、メサストライプ状に加工された光導波路層と、前記光導波路層上に形成された上クラッド層とを有する光導波路部と、

前記活性層及び前記光導波路層の両側を埋め込む半導体の電流狭窄層と、

前記半導体レーザ部上に形成された p 型半導体層と、

前記光導波路部上に形成されたリーク電流抑制層とを備え、

前記上クラッド層は、前記 p 型クラッド層よりキャリア濃度が低い第 1 の低キャリア濃度層と、前記第 1 の低キャリア濃度層上に形成された第 1 の F e ドープ半導体層とを有し、

前記リーク電流抑制層は、前記 p 型半導体層のサイドに配置された第 2 の F e ドープ半導体層を有し、

前記第 1 の低キャリア濃度層は前記 p 型クラッド層の側面に接する側壁部を有し、

前記第 1 の F e ドープ半導体層は、前記第 1 の低キャリア濃度層の前記側壁部を介して前記 p 型クラッド層のサイドに配置され、前記 p 型クラッド層に接していないことを特徴とする光半導体装置。

10

20

【請求項 2】

前記第 2 の F e ドープ半導体層は前記 p 型半導体層の側面に接することを特徴とする請求項 1 に記載の光半導体装置。

【請求項 3】

前記リーク電流抑制層は、前記 p 型半導体層よりキャリア濃度が低い第 2 の低キャリア濃度層を更に有し

前記第 2 の低キャリア濃度層は前記 p 型半導体層の側面に接する側壁部を有し、

前記第 2 の F e ドープ半導体層は、前記第 2 の低キャリア濃度層の前記側壁部を介して前記 p 型半導体層のサイドに配置され、前記 p 型半導体層に接していないことを特徴とする請求項 1 に記載の光半導体装置。

10

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、半導体レーザ部と光導波路部を集積した光半導体装置において、半導体レーザ部と光導波路部の間の電气的分離と高い光結合効率を両立することができる光半導体装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

光半導体装置において、半導体レーザと光導波路や光変調器などを集積することにより小型化や高性能化が進んでいる。基板上に半導体レーザに代表される光能動素子と光導波路を集積した集積型光半導体装置が知られている。一般に集積型光半導体装置では集積された複数の構成間の電气的分離が行われる。半導体レーザ部及び光導波路部に設けられた p 型半導体層は半導体レーザ部に電流を供給する必要から高抵抗層ではない。そこで、半導体レーザ部と光導波路部の間において p 型半導体層に分離溝を設けることで、半導体レーザ部と光導波路部を電气的に分離した装置が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

20

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【特許文献 1】特許第 5 4 6 3 7 6 0 号公報

30

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

半導体レーザ部からの信号光を光導波路部に高い結合効率で結合する必要がある。しかし、半導体レーザ部と光導波路部を電气的に分離する分離溝を深くすると半導体レーザ部からの光を光導波路部に結合する際に光の反射や散乱が発生し、高い結合効率を得られないという問題がある。

【0005】

本発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、その目的は半導体レーザ部と光導波路部の間の電气的分離と高い光結合効率を両立することができる光半導体装置を得るものである。

40

【課題を解決するための手段】**【0006】**

本発明に係る光半導体装置は、n 型半導体基板と、前記 n 型半導体基板上に形成され、メサストライプ状に加工された活性層と、前記活性層上に形成された p 型クラッド層とを有する半導体レーザ部と、前記 n 型半導体基板上において前記活性層の光出力側に形成され、メサストライプ状に加工された光導波路層と、前記光導波路層上に形成された上クラッド層とを有する光導波路部と、前記活性層及び前記光導波路層の両側を埋め込む半導体の電流狭窄層と、前記半導体レーザ部上に形成された p 型半導体層と、前記光導波路部に形成されたリーク電流抑制層とを備え、前記上クラッド層は、前記 p 型クラッド層より

50

キャリア濃度が低い第１の低キャリア濃度層と、前記第１の低キャリア濃度層上に形成された第１のＦｅドープ半導体層とを有し、前記リーク電流抑制層は、前記ｐ型半導体層のサイドに配置された第２のＦｅドープ半導体層を有し、前記第１の低キャリア濃度層は前記ｐ型クラッド層の側面に接する側壁部を有し、前記第１のＦｅドープ半導体層は、前記第１の低キャリア濃度層の前記側壁部を介して前記ｐ型クラッド層のサイドに配置され、前記ｐ型クラッド層に接していないことを特徴とする。

【発明の効果】

【０００７】

本発明では、半導体レーザ部上のｐ型半導体層のサイドに第２のＦｅドープ半導体層を設けたことにより、半導体レーザ部上のｐ型半導体層から光導波路部へのリーク電流を抑

10

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置を示す断面図である。

【図２】図１のⅠ－ⅠⅠに沿った断面図である。

【図３】図１のⅠⅠⅠ－ⅠⅠⅠに沿った断面図である。

【図４】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【図５】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。

20

【図６】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【図７】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【図８】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【図９】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【図１０】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【図１１】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【図１２】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【図１３】本発明の実施の形態１に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。

【図１４】比較例に係る光半導体装置を示す断面図である。

【図１５】本発明の実施の形態２に係る光半導体装置を示す断面図である。

30

【図１６】本発明の実施の形態３に係る光半導体装置を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【０００９】

本発明の実施の形態に係る光半導体装置について図面を参照して説明する。同じ又は対応する構成要素には同じ符号を付し、説明の繰り返しを省略する場合がある。

【００１０】

実施の形態１．

図１は、本発明の実施の形態１に係る光半導体装置を示す断面図である。図１は光半導体装置の共振器方向、即ちレーザ光の進行方向と平行に切断した断面図である。この光半導体装置は、ｎ型ＩｎＰ基板１上に半導体レーザ部２と光導波路部３とが集積された集積

40

型光半導体装置である。

【００１１】

半導体レーザ部２は、ｎ型ＩｎＰ基板１上に順に形成されたｎ型ＩｎＰクラッド層４、活性層５、ｐ型ＩｎＰクラッド層６を有する。ｎ型ＩｎＰクラッド層４に回折格子７が形成されており、半導体レーザ部２は分布帰還型半導体レーザである。ｎ型ＩｎＰクラッド層４のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。活性層５は厚さ $0.2 \mu\text{m}$ の AlGaInAs 歪量子井戸活性層である。ｐ型ＩｎＰクラッド層６のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

【００１２】

光導波路部３は活性層５の光出力側に形成されている。光導波路部３は、ｎ型ＩｎＰ基

50

板 1 上に順に形成された n 型 I n P クラッド層 4、光導波路層 8、上クラッド層 9 を有する。光導波路層 8 は厚さ 0.2 μm の I n G a A s P 光導波路層である。活性層 5 の端面は光導波路層 8 の端面と接し、活性層 5 からのレーザ光が光導波路層 8 を通って紙面右側に向かって進行する。

【 0 0 1 3 】

上クラッド層 9 は、低キャリア濃度 I n P 層 1 0 と、低キャリア濃度 I n P 層 1 0 上に形成された F e ドープ I n P 層 1 1 とを有する。低キャリア濃度 I n P 層 1 0 は p 型 I n P クラッド層 6 よりキャリア濃度が低く、電気抵抗が高い。F e ドープ I n P 層 1 1 のキャリア濃度は $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である。p 型 I n P クラッド層 6 の厚さ 0.2 μm に対して、低キャリア濃度 I n P 層 1 0 と F e ドープ I n P 層 1 1 の厚さはそれぞれ 0.1 μm である。

10

【 0 0 1 4 】

低キャリア濃度 I n P 層 1 0 は、光導波路層 8 の上面と p 型 I n P クラッド層 6 の側面を連続的に被覆し、p 型 I n P クラッド層 6 の側面に接する側壁部 1 2 を有する。F e ドープ I n P 層 1 1 は、低キャリア濃度 I n P 層 1 0 の上面及び側面を連続的に被覆し、低キャリア濃度 I n P 層 1 0 の側壁部 1 2 を介して p 型 I n P クラッド層 6 のサイドに配置され、p 型 I n P クラッド層 6 に接していない。

【 0 0 1 5 】

p 型 I n P 層 1 3 が半導体レーザ部 2 上に形成されている。p 型 I n P 層 1 3 のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。リーク電流抑制層 1 4 が光導波路部 3 上、即ち F e ドープ I n P 層 1 1 及び低キャリア濃度 I n P 層 1 0 の側壁部 1 2 上に形成されている。リーク電流抑制層 1 4 は、p 型 I n P 層 1 3 のサイドに配置された F e ドープ I n P 層 1 5 を有する。F e ドープ I n P 層 1 5 は p 型 I n P 層 1 3 の側面に接する。F e ドープ I n P 層 1 5 のキャリア濃度は $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である。

20

【 0 0 1 6 】

p 型 I n P 層 1 3 上には T i / P t / A u の p 型電極 1 6 が形成されている。F e ドープ I n P 層 1 5 上には S i O₂ 絶縁膜 1 7 が形成されている。n 型 I n P 基板 1 上の裏面には T i / P t / A u の n 型電極 1 8 が形成されている。

【 0 0 1 7 】

図 2 は図 1 の I - I I に沿った断面図である。即ち、図 2 は半導体レーザ部 2 を共振器方向と垂直に切断した断面図である。図 3 は図 1 の I I I - I V に沿った断面図である。即ち、図 3 は光導波路部 3 を共振器方向と垂直に切断した断面図である。半導体レーザ部 2 と光導波路部 3 の積層構造はメサストライプ状に加工されている。半導体の電流狭窄層 1 9 が活性層 5 及び光導波路層 8 の両側を埋め込む。電流狭窄層 1 9 は順に積層された p 型 I n P 埋込み層 2 0、F e ドープ I n P 埋込み層 2 1、n 型 I n P 埋込み層 2 2 を有する。p 型 I n P 埋込み層 2 0 のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。F e ドープ I n P 埋込み層 2 1 のキャリア濃度は $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である。n 型 I n P 埋込み層 2 2 のキャリア濃度は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

30

【 0 0 1 8 】

図 4 ~ 図 1 3 は、本発明の実施の形態 1 に係る光半導体装置の製造工程を示す断面図である。図 7 ~ 図 1 0 は図 6 の I - I I に沿って切断した断面を示す。即ち、図 7 ~ 図 1 0 は半導体レーザ部 2 を共振器方向と垂直に切断した断面図である。

40

【 0 0 1 9 】

まず、図 4 に示すように、n 型 I n P 基板 1 上に n 型 I n P クラッド層 4 を M O C V D 法により結晶成長させる。電子ビーム露光を用いて回折格子 7 を形成した後、n 型 I n P クラッド層 4 を追加再成長する。n 型 I n P クラッド層 4 上に A l G a I n A s 歪量子井戸の活性層 5 と p 型 I n P クラッド層 6 を結晶成長させる。

【 0 0 2 0 】

次に、図 5 に示すように、p 型 I n P クラッド層 6 上に S i O₂ 絶縁膜 2 3 を形成し、パターニング、ドライエッチングを行うことにより活性層 5 と p 型 I n P クラッド層 6 の

50

紙面右側部分をエッチング除去する。

【0021】

次に、図6に示すように、エッチング除去した部分にInGaAsPの光導波路層8をMOCVD法により結晶成長させる。さらに、光導波路層8の上面及びp型InPクラッド層6の側面に対して低キャリア濃度InP層10をMOCVD法により結晶成長させる。FeドープInP層11をp型InPクラッド層6に接しないよう結晶成長させる。その後、SiO₂絶縁膜23をエッチング除去する。

【0022】

次に、図7に示すように、SiO₂絶縁膜24を成膜、パターニングする。次に、図8に示すように、ドライエッチング等によりリッジを形成する。次に、図9に示すようにp型InP埋込み層20、FeドープInP埋込み層21、n型InP埋込み層22をMOCVD法により結晶成長させる。その後、SiO₂絶縁膜24をエッチング除去する。

【0023】

次に、図10に示すように、半導体レーザ部2のp型InP層13をMOCVD法により結晶成長させる。次に、図11に示すように、SiO₂絶縁膜25を形成し、パターニング、ドライエッチングを行うことにより、p型InP層13の紙面右側部分をエッチング除去する。

【0024】

次に、図12に示すように、エッチング除去した部分にFeドープInP層15をMOCVD法により結晶成長させる。その後、SiO₂絶縁膜25をエッチング除去する。次に、図13に示すように、SiO₂絶縁膜17、p型電極16、n型電極18を形成する。以上の工程により本実施の形態に係る光半導体装置が製造される。

【0025】

続いて、本実施の形態に係る光半導体装置の動作について説明する。半導体レーザ部2に電流を注入すると、p型InP層13とp型InPクラッド層6を介して活性層5に電流が流れ、活性層5でレーザ光が放射される。そのレーザ光は光導波路層8を通して図1の右方向へと進行し、出射される。

【0026】

続いて、本実施の形態の効果を比較例と比較して説明する。図14は比較例に係る光半導体装置を示す断面図である。比較例では光導波路部3上にFeドープInP層15ではなく、半導体レーザ部2上と同様にp型InP層13が形成されている。半導体レーザ部2と光導波路部3の間においてp型InP層13に分離溝26を設けることで、半導体レーザ部2と光導波路部3を電氣的に分離している。その他の構成は本実施の形態と同様である。

【0027】

図2のような埋込層を用いた場合、半導体レーザ部2にて高い電流注入効率を得るためにはp型InPクラッド層6の厚さを50～200nm程度とする必要がある。半導体レーザ部2と光導波路部3の十分に電氣的な分離を行うためには、分離溝26の底部をp型InPクラッド層6の上端から1μm程度まで接近させる必要がある。この時、半導体レーザ部2側からの導波光はp型InPクラッド層6の方向に広がりを持つため、その導波光が分離溝26の側面に干渉することで、反射や散乱を引き起こし、光導波路部3との光結合効率が十分に確保できない。

【0028】

また、光の反射や散乱を避けるために分離溝26の底部をp型InPクラッド層6の上端から離れた場合、電氣的な分離が不十分となり、一部の電流が図15の点線矢印に示すように光導波路部3側へと流れてしまう。この電流はレーザ光の発光に寄与せずリーク電流成分となり、この電流リークが電流光出力特性を悪化させてしまう。

【0029】

これに対して、本実施の形態では、p型InP層13とFeドープInP層15の間に分離溝は形成されていない。その代わりに半導体レーザ部2上のp型InP層13のサイ

10

20

30

40

50

ドに高抵抗層としてF eドープI n P層1 5を設けたことにより、半導体レーザ部2上のp型I n P層1 3から光導波路部3へのリーク電流を抑制することができる。また、低キャリア濃度I n P層1 0とF eドープI n P層1 1も高抵抗層として作用する。そして、F eドープI n P層1 5を設けても、半導体レーザ部2からの光を光導波路部3に結合する際に光の反射や散乱は発生しない。従って、半導体レーザ部2と光導波路部3の間の電气的分離と高い光結合効率を両立することができる。

【0030】

また、半導体レーザ部2のp型I n Pクラッド層6と光導波路部3のF eドープI n P層1 1の間に低キャリア濃度I n P層1 0の側壁部1 2が存在するため、F eとZ nの相互拡散による高抵抗化が進まない。従って、半導体レーザ部2の活性層5への電流注入阻

10

【0031】

また、F eドープI n P層1 5はp型I n P層1 3の側面に接する。半導体層中でドーパントとして用いられたF eとZ nは相互拡散が極めて大きいため、F eドープI n P層1 5とp型I n P層1 3との間でF eとZ nの相互拡散が発生する。従って、両者の境界部分でp型I n P層1 3のp型キャリア濃度が減少し、高抵抗化が進む。これにより、p型I n P層1 3とF eドープI n P層1 5の間の抵抗が更に高くなるため、F eドープI n P層1 5だけを高抵抗化した場合よりもリーク電流を低減することができる。

【0032】

20

実施の形態2 .

図1 5は、本発明の実施の形態2に係る光半導体装置を示す断面図である。本実施の形態では、リーク電流抑制層1 4は、p型I n P層1 3よりキャリア濃度が低い低キャリア濃度I n P層2 7を更に有する。低キャリア濃度I n P層2 7はp型I n P層1 3の側面に接する側壁部2 8を有する。F eドープI n P層1 5は、低キャリア濃度I n P層2 7の側壁部2 8を介してp型I n P層1 3のサイドに配置され、p型I n P層1 3に接していない。その他の構成は実施の形態1と同様である。

【0033】

半導体レーザ部2上のp型I n P層1 3と光導波路部3上のF eドープI n P層1 5の間に低キャリア濃度I n P層2 7の側壁部2 8が存在するため、F eとZ nの相互拡散による高抵抗化が進まない。従って、本来導電性が必要な半導体レーザ部2上のp型I n P層1 3の高抵抗化を防ぐことができる。これにより、半導体レーザ部2の活性層5への電流注入阻害を抑制しつつ、かつ半導体レーザ部2のp型I n P層1 3から光導波路部3へのリーク電流を抑制することができる。

30

【0034】

実施の形態3 .

図1 6は、本発明の実施の形態3に係る光半導体装置を示す断面図である。図1 6は光導波路部3を共振器方向と垂直に切断した断面図である。p型I n P層1 3が半導体レーザ部2、光導波路部3、及び電流狭窄層1 9上に形成されている。

40

【0035】

半導体レーザ部2の両側を埋め込む電流狭窄層1 9は、実施の形態1の図2と同様にp型I n P埋込み層2 0、F eドープI n P埋込み層2 1、n型I n P埋込み層2 2を有する。一方、光導波路層8の両側を埋め込む電流狭窄層1 9は、p型I n P埋込み層2 0とF eドープI n P埋込み層2 1である。

【0036】

製造方法としては、実施の形態1と同様に埋込層を形成した後、絶縁膜などを用いてパターンニング、ドライエッチングなどで光導波路部3のみn型I n P埋込み層2 2を除去する。その後、絶縁膜を除去し、光導波路部3上にF eドープI n P層1 5の代わりにp型I n P層1 3を形成する。その他の工程は実施の形態1と同様である。

50

【 0 0 3 7 】

本実施の形態では、光導波路層 8 の両側を埋め込む電流狭窄層 19 の最上層が F e ドープ I n P 埋込み層 21 であり、この F e ドープ I n P 埋込み層 21 が p 型 I n P 層 13 に接している。両者の間で F e と Z n の相互拡散が起こり、p 型 I n P 層 13 の下部が高抵抗層として作用する。これにより、半導体レーザ部 2 の p 型 I n P 層 13 から光導波路部 3 へのリーク電流を抑制することができる。また、この構成では半導体レーザ部 2 からの光を光導波路部 3 に結合する際に光の反射や散乱は発生しない。従って、半導体レーザ部 2 と光導波路部 3 の間の電气的分離と高い光結合効率を両立することができる。

【 0 0 3 8 】

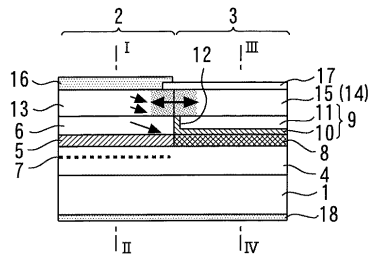
なお、実施の形態 1 ~ 3 にかかる光半導体装置は半導体レーザ部 2 と光導波路部 3 が集積された光導波路集積型光半導体装置である。しかし、本発明はこれに限られるものではない。光変調器や光増幅器などの光能動素子と光導波路とが隣接して集積されている構成にも実施の形態 1 ~ 3 と同様の構成を適用することができる。また、製造方法や使用する材料は実施の形態 1 ~ 3 で示したものに限られず、同様の効果が得られれば、構成や製造方法は必ずしも上述の内容に限定するものではない。

【 符号の説明 】

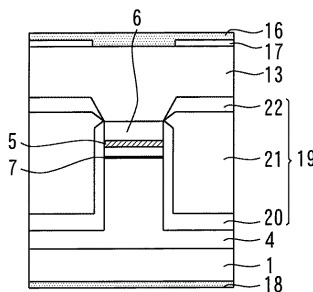
【 0 0 3 9 】

1 n 型 I n P 基板、2 半導体レーザ部、3 光導波路部、5 活性層、6 p 型 I n P クラッド層、8 光導波路層、9 上クラッド層、10 低キャリア濃度 I n P 層、11, 15 F e ドープ I n P 層、12, 28 側壁部、13 p 型 I n P 層、14 リーク電流抑制層、19 電流狭窄層、21 F e ドープ I n P 埋込み層、27 低キャリア濃度 I n P 層

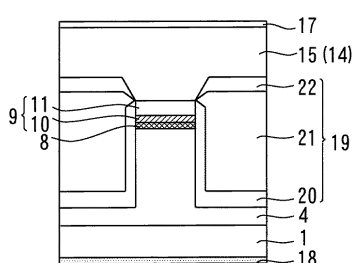
【 図 1 】



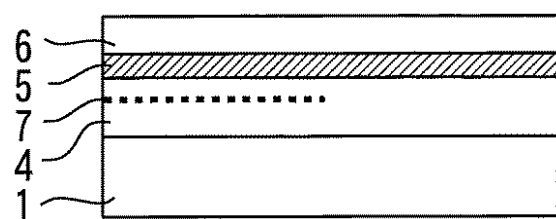
【 図 2 】



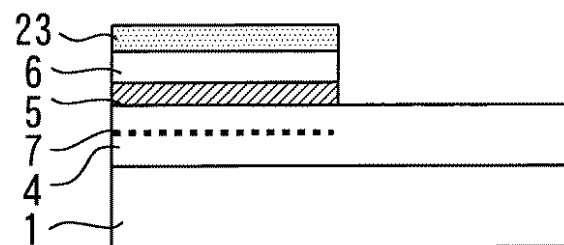
【 図 3 】



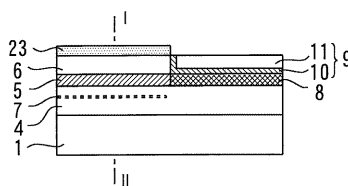
【 図 4 】



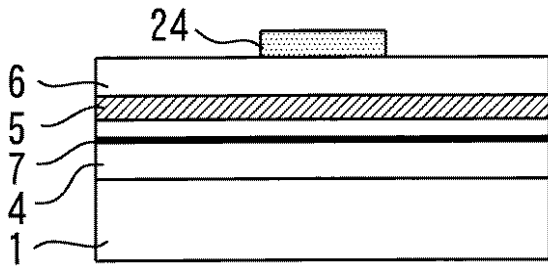
【 図 5 】



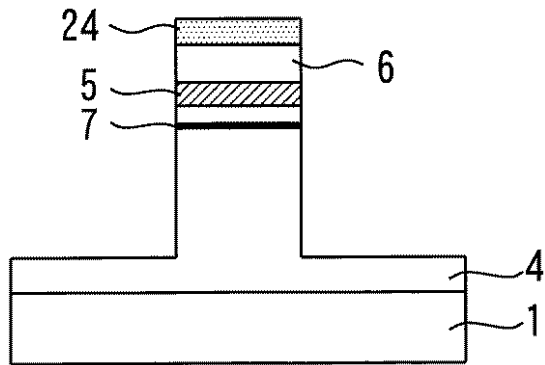
【 図 6 】



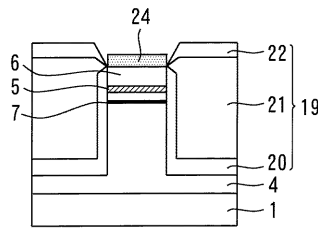
【図 7】



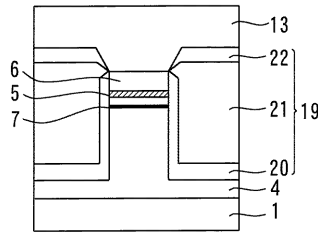
【図 8】



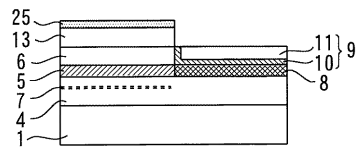
【図 9】



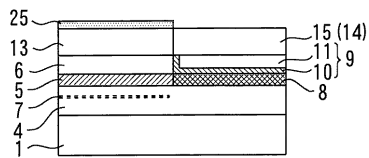
【図 10】



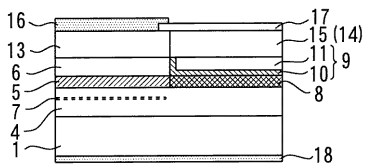
【図 11】



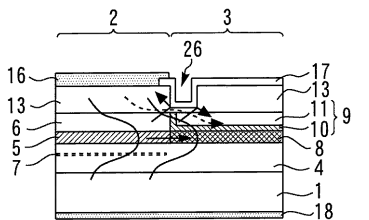
【図 12】



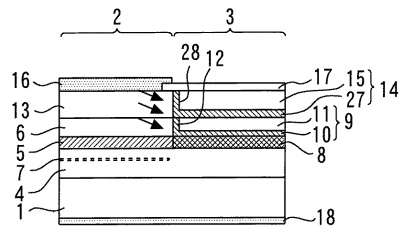
【図 13】



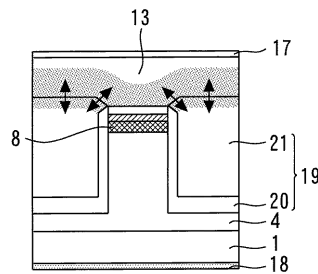
【図 14】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2005-317659(JP,A)
特開2003-069136(JP,A)
特開2011-014712(JP,A)
特開2009-038120(JP,A)
特開2008-071906(JP,A)
特開2003-229635(JP,A)
特開2002-299752(JP,A)
特開平08-148758(JP,A)
特開平06-077583(JP,A)
欧州特許出願公開第02403077(EP,A1)
米国特許出願公開第2002/0009114(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S	5/00	-	5/50
G02B	6/12	-	6/14
G02B	6/42	-	6/43
G02F	1/00	-	1/125