

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 7 部門第 2 区分

【発行日】平成 24 年 5 月 10 日 (2012.5.10)

【公開番号】特開 2010-267871 (P2010-267871A)

【公開日】平成 22 年 11 月 25 日 (2010.11.25)

【年通号数】公開・登録公報 2010-047

【出願番号】特願 2009-118900 (P2009-118900)

【国際特許分類】

H 0 1 S 5/22 (2006.01)

【F I】

H 0 1 S 5/22

【手続補正書】

【提出日】平成 24 年 3 月 15 日 (2012.3.15)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

活性層と、

前記活性層の上方に設けられた帯状のリッジ部と、

前記活性層および前記リッジ部を当該リッジ部の延在方向から挟み込む一対の共振器端面と、

前記一対の共振器端面のうち少なくとも一方の共振器端面およびその近傍において前記リッジ部の両側面に接して設けられた高台部と

を備え、

前記活性層から前記高台部の表面までの厚さが前記共振器端面側で厚く、前記リッジ部の中央側で薄くなっており、かつ前記共振器端面側の厚い部分から前記リッジ部の中央側の薄い部分にかけて連続的に変化している

半導体レーザ。

【請求項 2】

前記高台部の表面に溝部を備え、

前記溝部は、前記リッジ部の延在方向と平行な方向に延在しているか、または前記共振器端面に近づくにつれて前記リッジ部との間隙が小さくなるように延在している

請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 3】

前記高台部は、双方の共振器端面およびその近傍において前記リッジ部の両側面に接して設けられ、かつ、それ以外の領域において前記リッジ部から離れて設けられている

請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体レーザ。

【請求項 4】

前記溝部は、一方の共振器端面の近傍から他方の共振器端面の近傍にかけて延在すると共に、前記共振器端面に近づくにつれて前記リッジ部との間隙が小さくなるように延在している

請求項 3 に記載の半導体レーザ。

【請求項 5】

基板上に、下部クラッド層および活性層を前記基板側から順に含む第 1 半導体層を形成する第 1 工程と、

前記第 1 半導体層の上面のうち、後に前記基板の切断箇所となる格子状の切断領域で囲まれた一の素子領域内において、後にリッジ部の形成箇所となる帯状のリッジ領域の両脇のうち少なくとも一方の領域であって、前記リッジ領域から離れた領域であり、かつ少なくとも前記素子領域の外縁に溝部を設ける第 2 工程と、

前記溝部を含む、前記第 1 半導体層の上面に、少なくとも上部クラッド層によって構成された第 2 半導体層を形成する第 3 工程と、

前記第 2 半導体層の上面のうち前記リッジ領域に対応する領域に絶縁層を形成し、前記絶縁層をマスクとして前記第 2 半導体層を選択的にエッチングする第 4 工程と

を含む半導体レーザの製造方法。

【請求項 6】

前記第 4 工程のエッチングにより、前記第 2 半導体層に前記リッジ部を形成すると共に、前記素子領域の外縁において、前記リッジ部の両側面に接し、さらに、前記活性層から前記第 2 半導体層の表面までの厚さが前記切断領域寄りでは厚く、前記素子領域の中央寄りで薄くなっており、前記切断領域寄りの厚い部分から前記素子領域の中央寄りの薄い部分にかけて連続的に変化している高台部を形成する

請求項 5 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 7】

前記第 2 工程において、前記素子領域の外縁において、前記リッジ領域の延在方向と平行な方向に延在しているか、または前記切断領域に近づくにつれて前記リッジ領域との間隙が小さくなる方向に延在するように、前記溝部を形成する

請求項 5 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 8】

前記第 2 工程において、前記素子領域の外縁にだけ前記溝部を形成し、

前記第 4 工程において、前記素子領域の外縁のうち前記溝部の形成されている領域の近傍において前記リッジ部の両側面に接するように、前記高台部を形成する

請求項 6 または請求項 7 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 9】

前記切断領域のうち、前記素子領域を間にして互いに対向する一対の領域を一対の辺領域としたときに、

前記第 2 工程において、一方の辺領域の近傍から他方の辺領域の近傍にかけて延在すると共に、前記辺領域の近傍において、前記切断領域に近づくにつれて前記リッジ領域との間隙が小さくなる方向に延在するように、前記溝部を形成し、

前記第 4 工程において、前記辺領域の近傍において前記リッジ部の両側面に接し、かつ、それ以外の領域において前記リッジ部から離れるように、前記高台部を形成する

請求項 6 または請求項 7 に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項 10】

基板上に、下部クラッド層および活性層を前記基板側から順に含む第 1 半導体層を形成する第 1 工程と、

前記第 1 半導体層の上面のうち、後に前記基板の切断箇所となる格子状の切断領域で囲まれた一の素子領域内において、後にリッジ部の形成箇所となる帯状のリッジ領域の両脇のうち少なくとも一方の領域であって、前記リッジ領域から離れた領域であり、かつ少なくとも前記素子領域の外縁に第 1 絶縁層を設ける第 2 工程と、

前記第 1 半導体層の上面のうち前記第 1 絶縁層以外の領域に、少なくとも上部クラッド層によって構成された第 2 半導体層を形成する第 3 工程と、

前記第 2 半導体層の上面のうち前記リッジ領域に対応する領域に第 2 絶縁層を形成し、前記第 2 絶縁層をマスクとして前記第 2 半導体層を選択的にエッチングする第 4 工程と

を含む半導体レーザの製造方法。

【請求項 11】

前記第 4 工程のエッチングにより、前記第 2 半導体層に前記リッジ部を形成すると共に、前記素子領域の外縁において、前記リッジ部の両側面に接し、さらに、前記活性層から

前記第2半導体層の表面までの厚さが前記切断領域寄りで厚く、前記素子領域の中央寄りで薄くなっており、前記切断領域寄りの厚い部分から前記素子領域の中央寄りの薄い部分にかけて連続的に変化している高台部を形成する

請求項10に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項12】

前記第2工程において、前記素子領域の外縁において、前記リッジ領域の延在方向と平行な方向に延在するか、または前記切断領域に近づくにつれて前記リッジ領域との間隙が小さくなる方向に延在するように、前記第1絶縁層を形成する

請求項10に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項13】

前記第2工程において、前記素子領域の外縁にだけ前記第1絶縁層を形成し、

前記第4工程において、前記素子領域の外縁のうち前記第1絶縁層の形成されている領域の近傍において前記リッジ部の両側面に接するように、前記高台部を形成する

請求項11または請求項12に記載の半導体レーザの製造方法。

【請求項14】

前記切断領域のうち前記素子領域を間にして互いに対向する一対の領域を一対の辺領域としたときに、

前記第2工程において、一方の辺領域の近傍から他方の辺領域の近傍にかけて延在すると共に、前記辺領域の近傍において、前記切断領域に近づくにつれて前記リッジ領域との間隙が小さくなる方向に延在するように、前記第1絶縁層を形成し、

前記第4工程において、前記辺領域の近傍において前記リッジ部の両側面に接し、かつ、それ以外の領域において前記リッジ部から離れるように、前記高台部を形成する

請求項11または請求項12に記載の半導体レーザの製造方法。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0007】

本発明の半導体レーザは、活性層と、活性層の上方に設けられた帯状のリッジ部と、活性層およびリッジ部を当該リッジ部の延在方向から挟み込む一対の共振器端面とを備えたものである。この半導体レーザは、一対の共振器端面のうち少なくとも一方の共振器端面およびその近傍においてリッジ部の両側面に接して設けられた高台部を備えている。活性層から高台部の表面までの厚さが共振器端面側で厚く、リッジ部の中央側で薄くなっており、かつ共振器端面側の厚い部分からリッジ部の中央側の薄い部分にかけて連続的に変化している。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0008】

本発明の半導体レーザでは、リッジ部と高台部とを含む光導波路において、共振器端面の近傍の横方向屈折率分布が、リッジ部の中央の横方向屈折率分布よりもなだらかとなる。さらに、光導波路の横方向屈折率分布が、共振器方向において連続して変化する。これにより、リッジ脇の表面に段差が生じている場合と比べて、横方向屈折率分布の、共振器方向の変化が緩やかとなる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0009】

本発明の第1の半導体レーザの製造方法は、以下の4つの工程を含むものである。

(A1) 基板上に、下部クラッド層および活性層を基板側から順に含む第1半導体層を形成する第1工程

(A2) 第1半導体層の上面のうち、後に基板の切断箇所となる、格子状の切断領域で囲まれた一の素子領域内において、後にリッジ部の形成箇所となる帯状のリッジ領域の両脇のうち少なくとも一方の領域であって、リッジ領域から離れた領域であり、かつ少なくとも素子領域の外縁に溝部を設ける第2工程

(A3) 溝部を含む、第1半導体層の上面に、少なくとも上部クラッド層によって構成された第2半導体層を形成する第3工程

(A4) 第2半導体層の上面のうちリッジ領域に対応する領域に絶縁層を形成し、絶縁層をマスクとして第2半導体層を選択的にエッチングする第4工程

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0010】

本発明の第1の半導体レーザの製造方法では、溝部を含む、第1半導体層の上面に第2半導体層が形成される。このとき、第2半導体層において、溝部の周囲だけが自然と厚く形成されると共に、溝部から離れるにつれて滑らか、かつ緩やかに下るスロープが形成される。つまり、第2半導体層の形成に際して、リッジ領域の両脇には、不連続な構造が形成されていない。従って、その後、絶縁層をマスクとして第2半導体層を選択的にエッチングすることにより、リッジ部が形成されると共に、リッジ部の両側面に接する表面において連続した緩やかなスロープを有する高台部が形成される。これにより、リッジ脇の表面に段差が生じている場合と比べて、横方向屈折率分布の、共振器方向の変化が緩やかとなる。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0011】

本発明の第2の半導体レーザの製造方法は、以下の4つの工程を含むものである。

(B1) 基板上に、下部クラッド層および活性層を基板側から順に含む第1半導体層を形成する第1工程

(B2) 第1半導体層の上面のうち、後に基板の切断箇所となる格子状の切断領域で囲まれた一の素子領域内において、後にリッジ部の形成箇所となる帯状のリッジ領域の両脇のうち少なくとも一方の領域であって、リッジ領域から離れた領域であり、かつ少なくとも素子領域の外縁に第1絶縁層を設ける第2工程

(B3) 第1半導体層の上面のうち第1絶縁層以外の領域に、少なくとも上部クラッド層によって構成された第2半導体層を形成する第3工程

(B4) 第2半導体層の上面のうちリッジ領域に対応する領域に第2絶縁層を形成し、第2絶縁層をマスクとして第2半導体層を選択的にエッチングする第4工程

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 0 1 2 】

本発明の第 2 の半導体レーザの製造方法では、第 1 半導体層の上面のうち第 1 絶縁層以外の領域に第 2 半導体層が形成される。このとき、第 2 半導体層において、第 1 絶縁層の周囲だけが自然と厚く形成されると共に、第 1 絶縁層から離れるにつれて滑らか、かつ緩やかに下るスロープが形成される。つまり、第 2 半導体層の形成に際して、リッジ領域の両脇には、不連続な構造が形成されていない。従って、その後、第 2 絶縁層をマスクとして第 2 半導体層を選択的にエッチングすることにより、リッジ部が形成されると共に、リッジ部の両側面に接する表面において連続した緩やかなスロープを有する高台部が形成される。これにより、リッジ脇の表面に段差が生じている場合と比べて、横方向屈折率分布の、共振器方向の変化が緩やかとなる。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 1 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 0 1 4 】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体レーザの斜視図である。

【図 2】図 1 の半導体レーザの断面図である。

【図 3】図 1 の半導体レーザの製造方法について説明するための上面図および断面図である。

【図 4】図 3 に続く工程について説明するための上面図および断面図である。

【図 5】図 4 に続く工程について説明するための上面図および断面図である。

【図 6】図 5 に続く工程について説明するための上面図および断面図である。

【図 7】図 6 に続く工程について説明するための上面図および断面図である。

【図 8】図 6 に続く工程について説明するための断面図である。

【図 9】図 1 の半導体レーザの一変形例の斜視図である。

【図 10】図 1 の半導体レーザの他の変形例の斜視図である。

【図 11】図 1 の半導体レーザのその他の変形例の斜視図である。

【図 12】本発明の第 2 の実施の形態に係る半導体レーザの斜視図である。

【図 13】図 12 の半導体レーザの断面図である。

【図 14】図 12 の半導体レーザの製造方法について説明するための上面図および断面図である。

【図 15】図 14 に続く工程について説明するための上面図および断面図である。

【図 16】図 15 に続く工程について説明するための上面図および断面図である。

【図 17】図 16 に続く工程について説明するための上面図および断面図である。

【図 18】図 12 の半導体レーザの一変形例の斜視図である。

【図 19】図 18 の半導体レーザの製造方法について説明するための上面図および断面図である。

【図 20】図 12 の半導体レーザの他の変形例の斜視図である。

【手続補正 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 2 1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【 0 0 2 1 】

半導体層 2 0 には、リッジ部 2 5 をリッジ部 2 5 の延在方向から挟み込む一対の前端面 S 1 および後端面 S 2 が形成されている。これら前端面 S 1 および後端面 S 2 は、切断によって形成されたものであり、例えばへき開によって形成されたへき開面である。前端面 S 1 および後端面 S 2 によって積層面内方向に共振器が構成されている。前端面 S 1 はレ

ーザ光を射出する面であり、前端面 S 1 の表面には多層反射膜（図示せず）が形成されている。一方、後端面 S 2 はレーザー光を反射する面であり、後端面 S 2 の表面にも多層反射膜（図示せず）が形成されている。後端面 S 2 側の多層反射膜は、当該多層反射膜と後端面 S 2 とにより構成される射出側端面の反射率が例えば 10 % 程度となるように調整された低反射率膜である。一方、前端面 S 1 側の多層反射膜は、当該多層反射膜と後端面 S 2 とにより構成される反射側端面の反射率が例えば 95 % 程度となるように調整された高反射率膜である。

【手続補正 10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0030】

なお、高台部 27 の両端部は、図 1 に示したように、前端面 S 1 および後端面 S 2 の近傍において、リッジ部 25 の両端部の両脇だけでなく、リッジ部 25 の両端部の直下にも設けられている。そのため、リッジ部 25 は、図 1、図 2 (A) ~ (D) に示したように、半導体層 20 の積層面内方向から見ると、リッジ部 25 の端部近傍において積層方向にうねりを有している。リッジ部 25 の「うねり」の部分は、リッジ部 25 の延在方向に緩やかに傾斜する傾斜面 25A となっており、選択エッチなどによって生じるような段差を有していない。なお、リッジ部 25 そのものの厚さはリッジ部 25 の部位に寄らず、ほぼ一定である。

【手続補正 11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0032

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0032】

図 3 (A)、図 4 (A)、図 5 (A)、図 6 (A)、図 7 (A) は、製造過程におけるウェハ 100 の上面構成を表したものである。図 3 (B) は図 3 (A) の A - A 矢視方向の断面構成を、図 4 (B) は図 4 (A) の A - A 矢視方向の断面構成を、図 5 (B) は図 5 (A) の A - A 矢視方向の断面構成をそれぞれ表したものである。図 6 (B) は図 6 (A) の A - A 矢視方向の断面構成を、図 7 (B) は図 7 (A) の A - A 矢視方向の断面構成をそれぞれ表したものである。また、図 3 (A)、図 4 (A)、図 5 (A) 中で黒く塗りつぶした帯状の領域は、後にリッジ部 25 の形成箇所となる帯状のリッジ領域 110 に対応した領域である。図 3 (A) ~ 図 7 (C) 中に示した破線は、後にウェハ 100 (基板 10D) の切断箇所となる、格子状のレイアウトを有する切断領域 120 に対応した領域である。

【手続補正 12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0038】

次に、溝部 140 を含む、半導体層 31 の上面に、少なくとも上部クラッド層 23B によって構成された半導体層 32 (第 2 半導体層) を形成する。例えば、図 5 (A) ~ (C) に示したように、溝部 140 を含む、半導体層 31 の上面に、上部クラッド層 23B およびコンタクト層 24D を順次成長させて、半導体層 32 を形成する。なお、上部クラッド層 23B は、例えば、上部クラッド層 23 と同一材料で構成された半導体層であり、上述の上部クラッド層 23A と共に最終的に上部クラッド層 23 となる半導体層である。このとき、半導体層 32 において、溝部 140 の周囲だけが自然と厚く形成されると共に、

溝部 1 4 0 から離れるにつれて滑らか、かつ緩やかに下る傾斜面 3 3 が形成される。つまり、半導体層 3 2 の形成に際して、リッジ領域 1 1 0 の両脇には、不連続な構造が形成されていない。このように溝部 1 4 0 の周囲だけが自然と厚く形成されるのは、溝部 1 4 0 内の斜面での結晶成長レートが他の部分と比べて遅く、溝部 1 4 0 の近傍へ I I I 族元素の流入が生じるためである。

【手続補正 1 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 3 9

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 3 9】

次に、半導体層 3 2 の上面のうちリッジ領域 1 1 0 に対応する領域に帯状の絶縁層 1 5 0 を形成する(図 6 (A) ~ (C))。絶縁層 1 5 0 は、図 6 (A) ~ (C) に示したように、一の素子領域 1 3 0 だけでなく、辺領域 1 2 0 A に接する他の素子領域 1 3 0 にも連続して形成されていてもよい。続いて、絶縁層 1 5 0 をマスクとして半導体層 3 2 を選択的にエッチングする(図 7 (A) ~ (C))。これにより、半導体層 3 2 のうち絶縁層 1 5 0 直下の部分に、リッジ部 2 5 D が形成される。さらに、先の工程で自然と厚く形成された溝部 1 4 0 の周囲においては、自然と厚く形成された分だけエッチ残し量が厚くなる。その結果、辺領域 1 2 0 A の近傍においてリッジ部 2 5 D の両側面に接し、かつ、それ以外の領域においてリッジ部 2 5 D から離れるように、高台部 2 7 D が形成される。

【手続補正 1 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 5 8

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 5 8】

また、高台部 2 7 の両端部は、上記実施の形態と同様、前端面 S 1 および後端面 S 2 の近傍において、リッジ部 2 5 の両端部の両脇だけでなく、リッジ部 2 5 の両端部の直下にも設けられている。そのため、リッジ部 2 5 は、図 1 2、図 1 3 (A) ~ (C) に示したように、半導体層 2 0 の積層面内方向から見ると、リッジ部 2 5 の端部近傍において積層方向にうねりを有している。リッジ部 2 5 の「うねり」の部分は、リッジ部 2 5 の延在方向に緩やかに傾斜する傾斜面 2 5 A となっており、選択エッチなどによって生じるような段差を有していない。なお、リッジ部 2 5 そのものの厚さはリッジ部 2 5 の部位に寄らず、ほぼ一定である。

【手続補正 1 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 6 0

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 6 0】

図 1 4 (A)、図 1 5 (A)、図 1 6 (A)、図 1 7 (A) は、製造過程におけるウェハ 1 0 0 の上面構成を表したものである。図 1 4 (B) は図 1 4 (A) の A - A 矢視方向の断面構成を、図 1 5 (B) は図 1 5 (A) の A - A 矢視方向の断面構成を、図 1 6 (B) は図 1 6 (A) の A - A 矢視方向の断面構成をそれぞれ表したものである。図 1 7 (B) は図 1 7 (A) の A - A 矢視方向の断面構成を、表したものである。また、図 1 4 (A)、図 1 5 (A)、図 1 6 (A)、図 1 7 (A) 中で黒く塗りつぶした帯状の領域は、後にリッジ部 2 5 の形成箇所となる帯状のリッジ領域 1 1 0 に対応した領域である。図 1 4 (A) ~ 図 1 7 (C) 中に示した破線は、後にウェハ 1 0 0 (基板 1 0 D) の切断箇所となる、格子状のレイアウトを有する切断領域 1 2 0 に対応した領域である。

【手続補正 1 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0064

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0064】

次に、半導体層31の上面のうち絶縁層210以外の領域に、少なくとも上部クラッド層23Bによって構成された半導体層32（第2半導体層）を形成する。例えば、図15（A）～（C）に示したように、半導体層31の上面のうち絶縁層210以外の領域に、上部クラッド層23Bおよびコンタクト層24Dを順次成長させて、半導体層32を形成する。このとき、半導体層32において、絶縁層210の周囲だけが自然と厚く形成されると共に、絶縁層210の直上に溝部220が形成される。さらに、絶縁層210（溝部220）から離れるにつれて滑らか、かつ緩やかに下る傾斜面33が形成される。つまり、半導体層32の形成に際して、リッジ領域110の両脇には、不連続な構造が形成されていない。このように溝部220の周囲だけが自然と厚く形成されるのは、絶縁層210の表面には結晶がほとんど成長せず、絶縁層210の近傍へIII族元素の流入が生じるためである。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0065

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0065】

次に、半導体層32の上面のうちリッジ領域110に対応する領域に帯状の絶縁層150を形成する（図16（A）～（C））。絶縁層150は、図16（A）～（C）に示したように、一の素子領域130だけでなく、辺領域120Aに接する他の素子領域130にも連続して形成されていてもよい。続いて、絶縁層150をマスクとして半導体層32を選択的にエッチングする（図17（A）～（C））。これにより、半導体層32のうち絶縁層150直下の部分に、リッジ部25Dが形成されると共に、先の工程で自然と厚く形成された絶縁層210の周囲においては、自然と厚く形成された分だけエッチ残し量が厚くなる。その結果、辺領域120Aの近傍においてリッジ部25Dの両側面に接し、かつ、それ以外の領域においてリッジ部25Dから離れるように、高台部27Dが形成される。

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0075

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0075】

また、上記実施の形態では、溝部26および高台部27が共に、前端面S1近傍と、後端面S2近傍とにだけ設けられている場合が例示されていたが、例えば、双方が一方の端面（前端面S1）近傍にだけ設けられていてもよい。また、例えば、図20に示したように、双方が前端面S1から後端面S2にかけて設けられていてもよい。ただし、このようにした場合には、溝部26および高台部27は、前端面S1および後端面S2の近傍において、リッジ部25の端部（延在方向の端部）に近づくにつれてリッジ部25との間隙が小さくなる方向に延在していることが好ましい。さらに、溝部26および高台部27は、前端面S1および後端面S2から離れた部分において、リッジ部25から離れた部位に設けられていることが好ましい。つまり、本変形例では、溝部26および高台部27は、半導体層20の上面の面内において、リッジ部25とは反対側に突出した弓形状となっていることが好ましい。