

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6657537号  
(P6657537)

(45) 発行日 令和2年3月4日 (2020. 3. 4)

(24) 登録日 令和2年2月10日 (2020. 2. 10)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 S 5/12 (2006. 01)

H O 1 S 5/12

G O 2 B 5/18 (2006. 01)

G O 2 B 5/18

H O 1 L 21/3065 (2006. 01)

H O 1 L 21/302 1 O 5 A

請求項の数 7 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2015-88507 (P2015-88507)  
 (22) 出願日 平成27年4月23日 (2015. 4. 23)  
 (65) 公開番号 特開2016-154203 (P2016-154203A)  
 (43) 公開日 平成28年8月25日 (2016. 8. 25)  
 審査請求日 平成29年10月24日 (2017. 10. 24)  
 (31) 優先権主張番号 特願2014-91042 (P2014-91042)  
 (32) 優先日 平成26年4月25日 (2014. 4. 25)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 日本国 (JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2015-28474 (P2015-28474)  
 (32) 優先日 平成27年2月17日 (2015. 2. 17)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000154325  
 住友電工デバイス・イノベーション株式会  
 社  
 神奈川県横浜市栄区金井町 1 番地  
 (74) 代理人 100088155  
 弁理士 長谷川 芳樹  
 (74) 代理人 100113435  
 弁理士 黒木 義樹  
 (74) 代理人 100136722  
 弁理士 ▲高▼木 邦夫  
 (74) 代理人 100174399  
 弁理士 寺澤 正太郎  
 (72) 発明者 石浦 正巳  
 神奈川県横浜市栄区金井町 1 番地 住友電  
 工デバイス・イノベーション株式会社  
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ウェハ上に回折格子層を形成する第 1 工程と、

前記回折格子層上に互いに周期の異なる第 1 レジストパターン及び第 2 レジストパター  
ンを、電子ビーム露光法を用いて連続して形成する第 2 工程と、前記第 1 レジストパターン及び前記第 2 レジストパターンをマスクとし、前記回折格子  
層をエッチングすることによって、互いに周期の異なる第 1 回折格子及び第 2 回折格子を  
形成する第 3 工程と、前記第 1 回折格子の上に利得を有する活性層、及び、前記第 2 回折格子の上に利得を有さな  
い導波路層を形成する第 4 工程と、  
を含み、前記第 2 工程では、前記第 1 レジストパターンの両側に前記第 2 レジストパターンを形  
成し、前記第 2 回折格子の周期は、前記第 1 回折格子の周期の 1 . 0 5 倍以上もしくは 0 . 9  
5 倍以下であり、前記第 2 回折格子側に端面を形成する第 5 工程をさらに含む、半導体レーザ素子の製造  
方法。

【請求項 2】

前記ウェハを、前記第 2 回折格子が存する部分において劈開することにより、劈開面を  
形成する第 5 工程をさらに含む、請求項 1 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

## 【請求項 3】

前記第 2 工程では、

連続して設けられる前記第 1 回折格子及び前記第 2 回折格子を少なくとも一ずつ含む複数の被露光領域を、光導波方向に沿ってそれぞれ離間するように設定し、

前記複数の被露光領域のそれぞれに対して、前記電子ビームによって露光する、請求項 1 又は 2 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

## 【請求項 4】

前記第 1 回折格子、前記第 2 回折格子及び前記活性層を同一幅のストライプマスクを用いてエッチングすることにより、前記第 1 回折格子のストライプ幅以下のストライプ幅を有し、前記第 1 回折格子、前記第 2 回折格子、及び前記活性層を含むストライプ状のメサ部を形成する第 6 工程をさらに含み、

前記第 6 工程後、前記第 1 回折格子のストライプ幅は、前記第 2 回折格子のストライプ幅と同一である、請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

## 【請求項 5】

第 1 の幅を有するストライプ状の前記第 1 回折格子と、前記第 2 回折格子と、前記活性層とをエッチングすることにより、前記第 1 の幅以下のストライプ幅を有するメサストライプ構造を形成する第 6 工程をさらに含み、

前記第 1 工程では、

連続して設けられる前記第 1 回折格子及び前記第 2 回折格子を少なくとも一ずつ含む複数の被露光領域を、光導波方向に沿ってそれぞれ連結するように設定し、

前記複数の被露光領域の連結部を前記第 2 回折格子に重なるように設定し、

前記第 2 回折格子において前記連結部と重なる部分の幅は、前記第 1 の幅よりも大きい、請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

## 【請求項 6】

基板上に形成される第 1 回折格子と、

前記第 1 回折格子の光導波方向における少なくとも片端に接続され、前記第 1 回折格子の周期の 1.05 倍以上又は 0.95 倍以下の周期を有する第 2 回折格子と、

前記第 1 回折格子の上に形成され、利得を有する活性層と、

前記第 2 回折格子の上に形成され、利得を有さない導波路層と、

を備え、

前記第 2 回折格子は、前記第 1 回折格子よりも端面側に配置される、半導体レーザ素子

。

## 【請求項 7】

前記第 2 回折格子は、前記光導波方向において前記第 1 回折格子の両側に配置される、請求項 6 に記載の半導体レーザ素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子の製造方法に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

特許文献 1 には、回折格子を備える半導体レーザ素子が開示されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献 1】特開平 5 - 29703 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

回折格子を形成する方法として、電子ビーム露光法が知られている。電子ビーム露光法

10

20

30

40

50

を用いて回折格子をウェハ上に形成する場合、回折格子の光導波方向において隣り合う回折格子間には、回折格子を描画しない部分を設ける。これは、劈開位置によって、実効的な（結合効率）が変化するためである。しかし、このように回折格子間に回折格子を描画しない部分を設ける場合、回折格子を形成した後のエピタキシャル成長時に、回折格子端を起点として結晶欠陥が生ずることがある。このような、回折格子に起因する結晶欠陥が生じた場合、該欠陥が活性領域に入り込むことにより、半導体レーザ素子の発光効率が低下するという問題が生ずる。

【 0 0 0 5 】

本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、回折格子に起因する欠陥が活性領域に入り込む現象を抑える半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子の製造方法を提

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明の一形態にかかる半導体レーザ素子は、基板上に形成される第1回折格子と、第1回折格子の光導波方向における少なくとも片端に接続され、第1回折格子の周期の1.05倍以上又は0.95倍以下の周期を有する第2回折格子と、第1回折格子の上に形成される活性層とを備える。

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

本発明による半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子の製造方法によれば、回折格子に起因するエピタキシャル層の欠陥が活性領域に入り込むのを抑えることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図1】本実施形態に係る半導体レーザ素子1の光導波方向に垂直な断面を示す図である。

【図2】図1のII-II線に沿った断面図である。

【図3】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

【図4】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

【図5】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

【図6】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

30

【図7】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

【図8】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

【図9】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

【図10】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

【図11】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

【図12】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

【図13】半導体レーザ素子1の製造工程を示す図である。

【図14】比較例にかかる半導体レーザ素子18の断面図である。

【図15】レーザ発振波長が1.500  $\mu\text{m}$ となるように設計されたMQW構造のゲイン波長と、1.300  $\mu\text{m}$ のブラッグ波長を示す図である。

40

【図16】第2実施形態にかかる半導体レーザ素子20の断面図である。

【図17】第3実施形態にかかる半導体レーザ素子の製造工程のうち、ウェハ16の上に回折格子を形成する工程において、ウェハ16の主面に垂直な方向からウェハ16を見た図である。

【図18】図17に示すウェハ16のうち、半導体素子になるべき部分の1つを拡大した図である。

【図19】図19は、第3実施形態に係る半導体レーザ素子1の光導波方向に垂直な断面を示す図である。

【図20】図20は、第4実施形態にかかる半導体レーザ素子の製造工程のうち、ウェハ16の上に回折格子を形成する工程において、ウェハ16の主面に垂直な方向からウェハ

50

16を見た図である。

【図21】図21は、図20に示すウェハ16のうち、後に半導体素子になる部分の1つを拡大した図である。

【図22】図22は、比較例に係る第1回折格子の一部を拡大した図面である。

【図23】図23は、第5実施形態にかかる半導体レーザ素子の製造工程のうち、ウェハ16の上に回折格子を形成する工程において、ウェハ16の主面に垂直な方向からウェハ16を見た図である。

【図24】図24は、図23に示すウェハ16のうち、後に半導体素子になる部分の1つを拡大した図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0009】

[本願発明の実施形態の説明]

最初に本願発明の実施形態の内容を列記して説明する。本発明の一形態にかかる半導体レーザ素子は、基板上に形成される第1回折格子と、第1回折格子の光導波方向における少なくとも片端に接続され、第1回折格子の周期の1.05倍以上又は0.95倍以下の周期を有する第2回折格子と、第1回折格子の上に形成される活性層と、を備える。

【0010】

この半導体レーザ素子によれば、第1回折格子の少なくとも片端に第2回折格子が接続されているので、回折格子の形成後のエピタキシャル成長において、第1回折格子の端から成長するエピタキシャル層に結晶欠陥が生じない。したがって、該欠陥が活性領域に入り込む現象を抑えることができる。また、第2回折格子の周期を、第1回折格子の周期の1.05倍以上又は0.95倍以下にすることにより、第2回折格子が半導体レーザ素子のレーザ発振に及ぼす影響を抑えることができる。

20

【0011】

また、上述した半導体レーザ素子は、活性層において発生した光を変調する変調領域を、第2回折格子上に更に備えてもよい。

【0012】

上述した課題を解決するために、本発明の一形態にかかる半導体レーザ素子の製造方法は、互いに周期の異なる第1回折格子と第2回折格子とを交互に、電子ビーム露光法を用いて連続して、ウェハ上に形成する第1工程と、第1回折格子及び第2回折格子の上に活性層を形成する第2工程とを含む。

30

【0013】

この方法を用いることにより、第1回折格子の両端に連続して第2回折格子が形成されるので、回折格子の形成後のエピタキシャル成長において、第1回折格子の両端から成長するエピタキシャル層に結晶欠陥が生じない。したがって、該欠陥が活性領域に入り込む現象を抑えることができる。

【0014】

また、上述した半導体レーザ素子の製造方法において、第2回折格子の周期は、第1回折格子の周期の1.05倍以上もしくは0.95倍以下であってもよい。これにより、第2回折格子が半導体レーザ素子のレーザ発振に及ぼす影響を抑えることができる。

40

【0015】

また、ウェハを、第2回折格子が存する部分において劈開することにより、劈開面を形成する第3工程をさらに含んでもよい。

【0016】

ところで、電子ビームにより複数回露光された回折格子には、異常成長が発生することがある。この回折格子における異常成長の発生により、半導体レーザ素子の発光効率が低下するおそれがある。このような異常成長の発生の低減を図るために、第1工程において、連続して設けられる第1回折格子及び第2回折格子を少なくとも一ずつ含む複数の被露光領域を、光導波方向に沿ってそれぞれ離間するように設定し、複数の被露光領域のそれぞれに対して、電子ビームによって露光してもよい。この場合、光導波方向において被露

50

光領域同士が重ならないので、第1回折格子及び第2回折格子において電子ビームにより複数回露光される箇所がなくなる。これにより、第1回折格子及び第2回折格子における異常成長の発生が低減するので、良好な発光効率を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

#### 【0017】

また、回折格子における異常成長の影響を低減するために、第1の幅を有するストライプ状の第1回折格子と、第2回折格子と、活性層とをエッチングすることにより、第1の幅以下のストライプ幅を有するメサストライプ構造を形成する第4工程をさらに含み、第1工程では、連続して設けられる第1回折格子及び第2回折格子を少なくとも一ずつ含む複数の被露光領域を、光導波方向に沿ってそれぞれ連結するように設定し、複数の被露光領域の連結部を第2回折格子に重ねるように設定し、第2回折格子において連結部と重なる部分の幅は、第1の幅よりも大きくてもよい。電子ビームにより複数回露光される回折格子の主に偶側には、異常成長が発生しやすい。このため、電子ビームにより少なくとも2回露光される被露光領域同士の連結部を、第2回折格子において第1回折格子の第1の幅よりも大きい幅の部分に重ねるように設定する。これにより、回折格子における異常成長した部分は、メサストライプ構造の幅方向において、当該メサストライプ構造よりも外側に偏在する。そしてこの偏在した異常成長部分は、メサストライプ構造の形成時にエッチングによって除去される。したがって、当該異常成長部分によるメサストライプ構造の特性の低下が抑制され、良好な発光効率を有する半導体レーザ素子を得ることができる。

#### 【0018】

上述した課題を解決するために、本発明の他の形態にかかる半導体レーザ素子の製造方法は、ストライプ状に形成される第3回折格子と、第3回折格子のストライプ幅より広い幅を有する第4回折格子と、を電子ビーム露光法を用いて連続して、ウェハ上に形成する工程と、第3回折格子及び第4回折格子の上に活性層を形成する工程と、第3回折格子、第4回折格子及び活性層をエッチングすることにより、第3回折格子のストライプ幅以下のストライプ幅を有するストライプ状のメサ部を形成する工程と、を含む。

#### 【0019】

この方法を用いることにより、回折格子の形成後のエピタキシャル成長において、第2回折格子の光導波方向における終端部から成長するエピタキシャル層に結晶欠陥が生じた場合であっても、該欠陥は該終端部の偶側に偏在する。該欠陥の多くは、エッチングによって該終端部の偶側を除去することによって取り除かれる。したがって、該欠陥が活性領域に入り込む現象を抑えることができる。

#### 【0020】

##### [本願発明の実施形態の詳細]

以下、添付図面を参照しながら本発明による半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子の製造方法の実施の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し、重複する説明を省略する。したがって、以下の実施形態の説明において他の実施形態と重複する記載は省略する。

#### 【0021】

##### (第1実施形態)

図1は、本実施形態に係る半導体レーザ素子1の光導波方向に垂直な断面を示す図である。図2は、図1のII-II線に沿った断面図である。半導体レーザ素子1は、n型InP基板2、n型InPクラッド層3、活性層4、p型InPクラッド層5、p型InPブロック層6、n型InPブロック層7、p型InP層8、コンタクト層9、保護膜10、p型電極11、及び、n型電極12を備えている。

#### 【0022】

n型InPクラッド層3、活性層4及びp型InPクラッド層5は、n型InP基板2の上に順に積層されている。また、これらのn型InPクラッド層3、活性層4及びp型InPクラッド層5は、メサストライプ構造を有している。このメサストライプ構造の高さは、例えば、2.0  $\mu\text{m}$ である。メサストライプ構造は、n型InP基板2の光導波方

向に垂直な横方向における中央部分に形成されている。

【0023】

n型InP基板2は、例えば、 $1.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のSi(シリコン)がドーブされたn型InPクラッド層3は、例えば、 $1.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のSi(シリコン)がドーブされたInP層である。n型InPクラッド層3の厚さは、例えば0.5  $\mu\text{m}$ である。活性層4は、例えば、AlInGaAsを含む層の積層体から形成される多重量子井戸(MQW: Multi Quantum Well)構造を有する。p型InPクラッド層5は、例えば、 $1.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のZnがドーブされたInP層である。p型InPクラッド層5の厚さは、例えば0.2  $\mu\text{m}$ である。

【0024】

n型InPクラッド層3の内部には、第1回折格子14及び第2回折格子15が形成されている。第1回折格子14及び第2回折格子15は、例えばAlInGaAs等を含んでおり、第1回折格子14及び第2回折格子15の屈折率は、n型InPクラッド層3の屈折率と異なっている。第2回折格子15は、第1回折格子14の光導波方向における両端に接続されている。つまり、第2回折格子15は、第1回折格子14の光導波方向における両端にそれぞれ設けられている。第2回折格子15の端のうち第1回折格子14と接続する側の端とは反対側の端は、劈開面(出射面)13に達している。また、第2回折格子15の周期(ピッチ)は、第1回折格子14の周期の1.05倍以上又は0.95倍以下である。好ましくは、第2回折格子15の周期が、第1回折格子14の周期の0.8倍以下であるか、1.2倍以上であるとなおよい。例えば、レーザ発振波長が1.500  $\mu\text{m}$ となるように設計された第1回折格子14の周期は、0.24  $\mu\text{m}$ である。したがって、第2回折格子の周期は、0.228  $\mu\text{m}$ 以下、又は、0.252  $\mu\text{m}$ 以上であるとなおよい。好ましくは、第2回折格子15の周期は0.192  $\mu\text{m}$ 以下、又は、0.288  $\mu\text{m}$ 以上であるとなおよい。図2では、第1回折格子14及び第2回折格子15の上に活性層4が形成されている例を示しているが、第2回折格子15の上には、活性層4において発生した光を導波する導波路層が形成されてもよい。この導波路層は、活性層4とは異なる利得を与えない層であれば、MQW構造であってもよいし、バルク構造であってもよい。

【0025】

p型InPブロック層6及びn型InPブロック層7は、メサストライプ構造の両側(メサストライプ構造の幅方向における両側面)を埋め込むように、n型InP基板2の上に順に積層されている。p型InPブロック層6は、例えば、 $4.0 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ のZnがドーブされたInP層である。p型InPブロック層6の厚さは、例えば3.0  $\mu\text{m}$ である。n型InPブロック層7は、例えば、 $1.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ のSiがドーブされたInP層である。n型InPブロック層7の厚さは、例えば0.4  $\mu\text{m}$ である。

【0026】

p型InP層8及びコンタクト層9は、p型InPクラッド層5及びp型InPブロック層7上を覆うように設けられている。p型InP層8及びコンタクト層9は、順に積層されている。p型InP層8は、例えば、 $1.2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のZnがドーブされたInP層である。p型InP層8の厚さは、例えば2.0  $\mu\text{m}$ である。コンタクト層9は、例えば $1.2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ のZnがドーブされたInGaAs層である。コンタクト層9の厚さは、例えば0.5  $\mu\text{m}$ である。コンタクト層9のバンドギャップは、p型InP層8のバンドギャップよりも小さい。なお、p型InP層8は、p型InPクラッド層5の一部として機能する。

【0027】

保護膜10は、コンタクト層9の上に積層されている。保護膜10は、少なくともコンタクト層9におけるメサストライプ構造よりも上方の領域には設けられていない。保護膜10は絶縁膜であり、例えばSiO<sub>2</sub>等を含む。p型電極11は、コンタクト層9が保護膜10から露出した領域、及び保護膜10を覆うように設けられている。p型電極11は、例えば、Ti層とPt層とAu層との積層体である。n型電極12は、n型InP基板2の下面に形成されている。n型電極12は、例えば、Au層とGe層とNi層との積層

10

20

30

40

50

体である。

【0028】

次に、本実施形態にかかる半導体レーザ素子1の製造方法を説明する。

【0029】

図3から図13は、半導体レーザ素子の製造工程を示す図である。図3、図4、図7及び図8は、製造途中の半導体レーザ素子の光導波方向における断面図である。図5及び図6は、製造途中の半導体レーザ素子を、光導波方向に垂直な上方向から見た外観図である。図9～図13は、製造途中の半導体レーザ素子の、光導波方向に垂直な断面図である。ウェハ16が劈開されて半導体レーザ素子1の一部になった後、当該ウェハ16をn型InP基板2と呼ぶ。

10

【0030】

図3に示すように、まずウェハ16の主面上に、回折格子層30を成長させる。その後、図4に示すように、電子ビーム露光装置を用いて、第1回折格子14及び第2回折格子15を形成する。図5は、図4に示されるウェハ16を、ウェハ16の主面に垂直な方向から見た図である。図6は、図5に示すウェハ16のうち、半導体レーザ素子1になるべき部分の1つを拡大した図である。図7は、図6に示される製造途中の半導体レーザ素子を、光導波方向に垂直な横方向から見た図である。

【0031】

図4～図7に示すように、隣り合う第1回折格子14の間には、第1回折格子14と連続して、周期の異なる第2回折格子15が形成されている。第1回折格子14と第2回折格子15とのそれぞれの周期は、以下の通り設定される。すなわち、第2回折格子15の周期は、第1回折格子14の周期の0.95倍以下であるか、1.05倍以上である。好ましくは、第2回折格子15の周期が、第1回折格子14の周期の0.8倍以下であるか、1.2倍以上であるとなおよい。例えば、レーザ発振波長が1.500  $\mu\text{m}$ となるように設計された第1回折格子14の周期は、0.24  $\mu\text{m}$ である。したがって、第2回折格子の周期は、0.228  $\mu\text{m}$ 以下、又は、0.252  $\mu\text{m}$ 以上であるとよい。好ましくは、第2回折格子15の周期は0.192  $\mu\text{m}$ 以下、又は、0.288  $\mu\text{m}$ 以上であるとよい。

20

【0032】

第1回折格子14及び第2回折格子15のパターンを形成する過程を具体的に説明すると、次のようになる。レジスト塗布前に回折格子層30が形成されたウェハ16をベークする(以下「塗布前ベーク」という。)。塗布前ベーク後、回折格子層30上にレジストを塗布し、ウェハ16及びレジストをベークする(以下「プリベーク」という。)。このとき、塗布前ベークの温度は、例えば180 であるとしてよく、レジスト塗布の厚さは、例えば1500 であるとしてよい。プリベークの温度は、例えば140 であればよく、プリベークの時間は、例えば3分間であるとしてよい。次に、電子ビーム露光装置のプロープ電流を用いて、第1回折格子14及び第2回折格子15を形成するためのレジストに微細パターンを描画する。このとき、プロープ電流は、例えば0.1～1.0 nA(ナノアンペア)であるとしてよい。次に、レジストが設けられたウェハ16を現像液に浸す。このとき、ウェハ16を現像液に浸す時間は、例えば30秒であるとしてよい。次に、現像液から取り出したウェハ16をベークする(以下「ポストベーク」という。)。ポストベークの温度は、例えば140 であればよく、ポストベークの時間は、例えば3分間であるとしてよい。これにより、ストライプ状にパターン化されたレジストを、ウェハ16上に形成する。パターン化されたレジストは、第1の周期を有するストライプ、及び第2の周期を有するストライプから構成される。次に、パターン化されたレジストをマスクとして、回折格子層30の一部にエッチング処理を施した後、残存するレジストを除去することによって、互いに異なる周期を有する第1回折格子14及び第2回折格子15を形成する。なお、第1回折格子14及び第2回折格子15の形成に際しては、電子ビーム露光方法の代わりに、ナノインプリント方法を用いてもよい。

30

40

【0033】

50

第1回折格子14及び第2回折格子15を形成した後、図8に示すように、ウェハ16の上に、n型InPクラッド層3、活性層4、及びp型InPクラッド層5を、順に成長させる。このとき、n型InPクラッド層3によって、第1回折格子14及び第2回折格子15を埋め込む。n型InPクラッド層3は、例えば、 $1.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のSi（シリコン）がドーピングされたInP層である。n型InPクラッド層3の厚さは、例えば $0.5 \mu\text{m}$ である。活性層4は、例えば、AlInGaAsを含む層の積層体から形成される多重量子井戸（MQW：Multi Quantum Well）構造を有する。p型InPクラッド層5は、例えば、 $1.0 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のZnがドーピングされたInP層である。p型InPクラッド層5の厚さは、例えば $0.2 \mu\text{m}$ である。

【0034】

次に、図9に示すように、p型InPクラッド層5の上にマスク17を形成する。マスク17は、第1回折格子14及び第2回折格子15を含むn型InPクラッド層3、活性層4、及びp型InPクラッド層5から構成されるメサストライプ構造を形成する領域上に、ストライプ状に形成される。このとき、第1回折格子14の幅は、例えば $10 \mu\text{m}$ である。また、第1回折格子14の幅より狭い幅であるマスク17は、例えば、幅 $3.0 \mu\text{m}$ 、厚さ $0.5 \mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 膜である。

【0035】

次に、図10に示すように、マスク17をエッチングマスクとして用いて、p型InPクラッド層5、活性層4、n型InPクラッド層3、及びウェハ16の一部に対して、ドライエッチング処理を施す。これにより、ウェハ16上に、メサストライプ構造が形成される。ドライエッチング処理として、例えば $\text{SiCl}_4$ を用いたRIE（Reactive Ion Etching）法を用いることができる。マスク17を除去することによって得られたメサストライプ構造の厚さは、例えば、 $2.0 \mu\text{m}$ 、幅は、例えば、 $1.5 \mu\text{m}$ である。

【0036】

次に、図11に示すように、メサストライプ構造の両側（メサストライプ構造の幅方向における両側面）を埋め込むように、p型InPブロック層6及びn型InPブロック層7を、InP基板2上から順に成長させる。p型InPブロック層6は、例えば、 $4.0 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ のZnがドーピングされたInP層である。p型InPブロック層6の厚さは、例えば $3.0 \mu\text{m}$ である。n型InPブロック層7は、例えば、 $1.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ のSiがドーピングされたInP層である。n型InPブロック層7の厚さは、例えば $0.4 \mu\text{m}$ である。

【0037】

次に、図12に示すように、HF（フッ酸）等を用いてマスク17を除去する。次に、p型InPクラッド層5及びn型InPブロック層7の上面が覆われるように、p型InP層8を成長させる。成長したp型InP層8は、p型InPクラッド層5と一体化する。これにより、p型InPクラッド層5は、p型InP層8の一部として機能する。p型InP層8は、例えば、 $1.2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のZnがドーピングされたInP層である。p型InP層8の厚さは、例えば $2.0 \mu\text{m}$ である。

【0038】

次に、図13に示すように、p型InP層8の上に、コンタクト層9を成長させる。コンタクト層9は、例えば $1.2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ のZnがドーピングされたp型のInGaAs層である。コンタクト層9の厚さは、例えば $0.5 \mu\text{m}$ である。次に、少なくともメサストライプ構造の上方の領域以外のコンタクト層9上に保護膜10を形成する。そして、コンタクト層9において保護膜10から露出した領域及び保護膜10を覆うように、p型電極11を形成する。また、ウェハ16の下面にn型電極12を形成する。保護膜10は絶縁膜であり、例えば $\text{SiO}_2$ 等を含む。p型電極11は、例えば、Ti層とPt層とAu層との積層体である。n型電極12は、例えば、Au層とGe層とNi層との積層体である。これにより、図1に示される半導体レーザ素子1に相当する素子がウェハ16に複数形成される。次に、半導体レーザ素子1を製造する場合、ウェハ16を劈開する際、第2回折格子15の領域においてウェハ16を劈開する。これによって、複数の半導体レー

10

20

30

40

50



ザ素子 1 が形成される。

【 0 0 3 9 】

以上の工程により、半導体レーザ素子 1 が完成する。本実施形態にかかる半導体レーザ素子 1 の作用効果について、比較例と比較しながら説明する。

【 0 0 4 0 】

図 1 4 は、比較例にかかる半導体レーザ素子 1 8 の断面図である。半導体レーザ素子 1 8 は、第 1 回折格子 1 4 の両端に回折格子が形成されていない部分 1 9 を有する。半導体レーザ素子 1 8 のその他の構成は、本実施形態に係る半導体レーザ素子 1 と同様である。比較例にかかる半導体レーザ素子 1 8 を製造する場合、ウェハ 1 6 を劈開する際、回折格子が形成されていない部分 1 9 が劈開される（すなわち、当該部分 1 9 をウェハ 1 6 の劈開位置とする）。このような部分 1 9 が予め形成されている場合、エピタキシャル成長時に、第 1 回折格子 1 4 の光導波方向における両端において成長状態に変化が生じる。これにより、第 1 回折格子 1 4 の上記両端を起点としたエピタキシャル層の結晶欠陥の発生、及び終端の形状に乱れが生じる。その結果、上記結晶欠陥が活性層 4 内における活性領域に入り込み、比較例にかかる半導体レーザ素子 1 8 のレーザ発振効率が低下するという問題が生じる。他方、本実施形態にかかる半導体レーザ素子 1 では、第 1 回折格子 1 4 と第 2 回折格子 1 5 とが光導波方向に沿って連続して並んでいる。このため、エピタキシャル成長時に、第 1 回折格子 1 4 の光導波方向における両端において成長状態は変化しない。したがって、第 1 回折格子 1 4 の両端から成長するエピタキシャル層の結晶欠陥の発生を抑え、該結晶欠陥が活性層 4 内における活性領域に入り込む現象を抑えることができる。その結果、レーザ発振効率への影響を抑えることができる。

【 0 0 4 1 】

なお、上記成長状態の変化とは、n 型 I n P クラッド層 3 等をエピタキシャル成長する際において、第 1 回折格子 1 4 の両端近傍の領域の成長状態と、それ以外の領域の成長状態との違いを示す。また、結晶欠陥は、第 1 回折格子 1 4 の両端を起点として少なくとも n 型 I n P クラッド層 3 に発生するものであり、必ずしも上記両端内に発生することのみを示さない。

【 0 0 4 2 】

もっとも、回折格子は、その有する周期に応じて、特定の波長を有するレーザ光を除いてレーザ光を弱める作用を及ぼす。よって、第 2 回折格子 1 5 が、ゲイン波長を有するレーザ光を残す周期を有する場合、第 1 回折格子により発振させたい波長以外の波長においてレーザ発振が生じてしまう。かかるレーザ発振を防ぐために、第 2 回折格子 1 5 の周期は、第 2 回折格子が、ゲイン波長を有するレーザ光を残す作用を奏さない範囲であるとよい。具体的には、第 2 回折格子 1 5 の周期は、第 1 回折格子 1 4 の周期の 0 . 9 5 倍以下、又は、1 . 0 5 倍以上（好ましくは第 1 回折格子 1 4 の周期の 0 . 8 倍以下、又は、1 . 2 倍以上）であるとよい。第 2 回折格子 1 5 の周期がこの範囲に収まっている場合、第 2 回折格子 1 5 はゲイン波長を有する光を残す作用をほとんど奏さない。したがって、第 2 回折格子 1 5 を、その周期が上記範囲内に収まるように設計することにより、第 2 回折格子 1 5 がレーザ発振に及ぼす影響を抑えることができる。

【 0 0 4 3 】

図 1 5 は、レーザ発振波長が 1 . 5 0 0  $\mu\text{m}$  となるように設計された MQW 構造のゲイン波長 G 1 と、1 . 3 0 0  $\mu\text{m}$  のブラッグ波長 G 2 を示す図である。図 1 5 が示すように、レーザ発振波長が 1 . 5 0 0  $\mu\text{m}$  となるように MQW 構造が設計されている場合、ゲイン波長はおよそ 1 . 5 0 0  $\mu\text{m}$  から 1 . 7 0 0  $\mu\text{m}$  の範囲内に収まっている。したがって、この場合、第 2 回折格子 1 5 が 1 . 3 0 0  $\mu\text{m}$  以下の波長を有する光を発振させる作用を奏するとしても、1 . 3 0 0  $\mu\text{m}$  以下の波長を有する光はほとんど存在しない。この場合、第 2 回折格子 1 5 がレーザの発振に及ぼす影響は極めて小さい。

【 0 0 4 4 】

レーザ発振波長が 1 . 5 0 0  $\mu\text{m}$  となるように設計された第 1 回折格子 1 4 の周期は 0 . 2 4  $\mu\text{m}$  であって、その 0 . 8 倍は 0 . 1 9 2  $\mu\text{m}$  である。この値 ( 0 . 1 9 2  $\mu\text{m}$  )

は、レーザ発振波長が  $1.300\ \mu\text{m}$  となるように設計された第1回折格子14の周期である  $0.20\ \mu\text{m}$  よりも小さい。したがって、第2回折格子15の周期を  $0.192\ \mu\text{m}$  にすれば、第2回折格子15は、 $1.300\ \mu\text{m}$  よりもさらに短い波長を有する光のみに作用する。上記波長帯にゲインを有しない本実施形態においては、第2回折格子15がレーザ発振に与える影響は極めて小さい。

#### 【0045】

##### (第2実施形態)

図16は、第2実施形態にかかる半導体レーザ素子20の断面図である。半導体レーザ素子20は、第1実施形態の半導体レーザ素子1の構成に加えて、変調領域21を更に備える。変調領域21は、第2回折格子15上に形成されており、光導波路22と、p型InPクラッド層5上に設けられたコンタクト層23と、コンタクト層23上に設けられたp型電極24とを有する。光導波路22は、量子井戸構造を有する半導体積層体である。なお、変調領域21内のn型InP基板2、p型InPクラッド層5及びn型電極12のそれぞれは、活性層4の上方又は下方に設けられたn型InP基板2、p型InPクラッド層5及びn型電極12の一部である。この半導体レーザ素子20では、p型電極24とn型電極12との間に変調電圧が印加されることにより、活性層4において発生したレーザ光が光導波路22を通過する際に変調される。なお、光導波路22は例えば以下の手法によって形成される。具体的には、最初に図8等に示される活性層4において、第2回折格子15上の該活性層4を選択的にエッチングする。そして、活性層4がエッチングされた領域に選択的に光導波路22となる積層体を形成する。光導波路22を形成した後の工程は、第1実施形態と同じである。本実施形態では変調領域21を形成するための導波路の製造方法を説明したが、変調領域21以外の用途の導波路の形成方法も、本実施形態と同様の方法で形成することができる。

#### 【0046】

本実施形態の半導体レーザ素子20においても、第1実施形態と同様に、第1回折格子14と第2回折格子15とが連続して並んでいる。このため、エピタキシャル成長時に、第1回折格子14の光導波方向における両端において成長状態は変化しない。したがって、第1回折格子14の両端から成長するエピタキシャル層の結晶欠陥の発生を抑えることができる。

#### 【0047】

##### (第3実施形態)

図17は、第3実施形態にかかる半導体レーザ素子の製造工程のうち、ウェハ16の上に回折格子を形成する工程において、ウェハ16の主面に垂直な方向からウェハ16を見た図である。図18は、図17に示すウェハ16のうち、半導体素子になるべき部分の1つを拡大した図である。

#### 【0048】

図17及び図18には、ウェハ16と、第3回折格子25と、第4回折格子26とが示されている。第3回折格子25と第4回折格子26とが有する周期は同じであって、これらの周期は、例えば第1実施形態の14と同一である。第3回折格子25はストライプ状に形成されている。第4回折格子26は、ウェハ16の主面に垂直な方向から見てテーパーを付けて広がっている。したがって、第4回折格子26の光導波方向における端のうち、第3回折格子25と連続する側の端と反対側の端(以下「終端27」という。)について、光導波方向と垂直な方向における終端27の横幅の長さは、光導波方向と垂直な方向における第3回折格子25の横幅の長さの2~3倍程度である。なお、第3回折格子25の幅W1は、例えば、 $10\ \mu\text{m}$ 、第4回折格子26の幅W2は、例えば、 $20\ \mu\text{m}$ である。

#### 【0049】

ここで、上述した横幅及び縦幅について説明する。第3回折格子25及び第4回折格子26を構成するパターン(端及び終端27を含む)において、ウェハ16の主面に垂直な方向から見て、光導波方向に沿った方向の長さを縦幅とし、光導波方向と垂直な方向の長さを横幅とする。また、ストライプ状の第3回折格子25は、第3回折格子25を構成す

るパターンが光導波方向に沿って直線状に配列した集合体に相当する。第3回折格子25を構成するパターンの横幅は均一又は略均一である。また、ストライプ状の第3回折格子25のストライプ幅は、当該第3回折格子25を構成するパターンの横幅に相当する。第4回折格子26を構成するパターンの横幅は、ウェハ16の主面に垂直な方向から見て、隣接する第3回折格子25側から当該第3回折格子25の反対側に向かって徐々に大きくなっている。したがって、第4回折格子26を構成するパターンの一部である終端27の横幅は、第3回折格子25のストライプ幅よりも大きい。

#### 【0050】

図19は、第3実施形態に係る半導体レーザ素子1の光導波方向に垂直な断面を示す図である。図19に示されるように、第3回折格子25の幅W1は、メサストライプ構造のストライプ幅W以下となっている。このメサストライプ構造29は、第3回折格子25及び第4回折格子26上にn型InPクラッド層3、活性層4、及びp型InPクラッド層5を形成してエッチングすることにより形成される。第3回折格子25及び第4回折格子26は、同じ周期を有しているため、波長に影響を与えない。

#### 【0051】

なお、本実施形態にかかる半導体レーザ素子の製造工程は、第1実施形態において図4～図6に示した回折格子形成工程を除いて、すべて第1実施形態に係る半導体レーザ素子1の製造工程と同じである。すなわち、第1実施形態においては、図4～図6に示す回折格子形成工程において、第1回折格子14及び第2回折格子15を生成するが、本実施形態においては、第1回折格子14及び第2回折格子15を生成する代わりに、第3回折格子25及び第4回折格子26を生成する。

#### 【0052】

本実施形態にかかる半導体レーザ素子を製造する過程では、エピタキシャル成長時において、第4回折格子26の終端27から成長するエピタキシャル層の結晶欠陥が生ずる。もっとも、該結晶欠陥は、終端27のうち、光導波方向に垂直な方向の端側（以下「終端隅側28」という。）に偏在する。したがって、図9に示されるマスク17を積層方向において終端隅側28に重ならないように形成した後、図10に示されるエッチングによって終端隅側28を除去することにより、該結晶欠陥の多くは除去されることになる。よって、該結晶欠陥が活性層4の中の活性領域に入り込む現象を抑えることができる。

#### 【0053】

##### （第4実施形態）

図20は、第4実施形態にかかる半導体レーザ素子の製造工程のうち、ウェハ16の上に回折格子を形成する工程において、ウェハ16の主面に垂直な方向からウェハ16を見た図である。図21は、図20に示すウェハ16のうち、後に半導体素子になる部分の1つを拡大した図である。

#### 【0054】

図20及び図21に示されるように、ウェハ16上には、連続して設けられる第1回折格子14及び第2回折格子15を少なくとも一ずつ含む複数の領域41が、光導波方向に沿ってそれぞれ離間するように設定されている。第1回折格子14及び第2回折格子15を形成する際には、電子ビーム露光装置を用いて、これらの領域41のそれぞれに電子ビームが照射される。したがって、領域41は、電子ビームにより露光される被露光領域とも呼称される。

#### 【0055】

図22は、比較例に係る第1回折格子の一部を拡大した図面である。図22に示されるように、比較例に係る半導体レーザ素子には、第2回折格子15が設けられていない。また、電子ビームにより露光される複数の領域141は、光導波方向に沿って互いに連結するように設定されている。この場合、複数の領域141を同時に露光することができないため、少なくとも2回照射される。このとき、領域141同士の連結部142においては、アライメントの誤差により、電子ビームが2回照射される。これは、パターンがずれた状態で露光されるため、所望のパターンを得ることができない。したがって、ウェハ16

の主面に垂直な方向において連結部 1 4 2 に重なる第 1 回折格子 1 4 が異常成長しやすくなる（特に、当該第 1 回折格子 1 4 の隅側 1 4 a が異常成長しやすくなる）。この異常成長した部分が第 1 回折格子 1 4 に設けられる場合、当該第 1 回折格子 1 4 を含むメサストライプ構造の特性が劣化し、半導体レーザ素子の発光効率が低下することがある。

#### 【 0 0 5 6 】

これに対して、本実施形態においては、連続して設けられる第 1 回折格子 1 4 及び第 2 回折格子 1 5 を少なくとも一ずつ含む複数の領域 4 1 が、光導波方向に沿ってそれぞれ離間するように設定されている。このため、光導波方向において領域 4 1 同士が重ならないので、第 1 回折格子 1 4 及び第 2 回折格子 1 5 において電子ビームにより複数回露光される箇所がなくなる。これにより、第 1 回折格子 1 4 及び第 2 回折格子 1 5 における異常成長の発生が低減するので、良好な発光効率を有する半導体レーザ素子を得ることができる。また、本実施形態では、第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同様の作用効果が奏される。

#### 【 0 0 5 7 】

（第 5 実施形態）

図 2 3 は、第 5 実施形態にかかる半導体レーザ素子の製造工程のうち、ウェハ 1 6 の上に回折格子を形成する工程において、ウェハ 1 6 の主面に垂直な方向からウェハ 1 6 を見た図である。図 2 4 は、図 2 3 に示すウェハ 1 6 のうち、後に半導体素子になる部分の 1 つを拡大した図である。

#### 【 0 0 5 8 】

図 2 3 及び図 2 4 に示されるように、第 4 実施形態と同様にウェハ 1 6 上には、連続して設けられる第 1 回折格子 1 4 及び第 2 回折格子 1 5 を少なくとも一ずつ含む複数の領域 4 1 が設定されている。本実施形態では、複数の領域 4 1 は、光導波方向にそってそれぞれ連結している。当該領域 4 1 同士が連結する連結部 4 2 は、複数の第 2 回折格子 1 5 の内の一部である回折格子 1 5 a に対して、ウェハ 1 6 の主面に垂直な方向において重なるように設定される。複数の第 2 回折格子 1 5 の内の一部である回折格子 1 5 a は、光導波方向に沿ってストライプ状に形成される第 1 回折格子 1 4 の幅（第 1 の幅） $W_3$  よりも大きい幅  $W_4$  を有する。よって、連結部 4 2 は、第 1 回折格子 1 4 の幅  $W_3$  よりも大きい幅  $W_4$  を有する回折格子 1 5 a が、別の領域 4 1 の回折格子 1 5 a と重なるように設定されている。この場合、複数の領域 4 1 を同時に露光することができないため、少なくとも 2 回照射される。このとき、領域 4 1 同士の連結部 4 2 においては、アライメントの誤差により、電子ビームが 2 回照射される。これは、パターンがずれた状態で露光されるため、所望のパターンを得ることができない。したがって、ウェハ 1 6 の主面に垂直な方向において連結部 4 2 に重なる第 2 回折格子 1 5 の内の一部である回折格子 1 5 a が異常成長しやすくなる。

#### 【 0 0 5 9 】

本実施形態においては、第 3 実施形態と同様に、第 1 回折格子 1 4、第 2 回折格子 1 5、及び活性層 4 をエッチングすることによって、第 1 回折格子 1 4 の幅  $W_3$  以下のストライプ幅を有するメサストライプ構造が形成される。この際、メサストライプ構造の幅方向において、当該メサストライプ構造よりも外側の第 1 回折格子 1 4、第 2 回折格子 1 5、及び活性層 4 は除去される。

#### 【 0 0 6 0 】

本実施形態では、電子ビームにより少なくとも 2 回露光される領域 4 1 同士の連結部 4 2 を第 2 回折格子 1 5 に重ねるように設定している。また、第 2 回折格子 1 5 において連結部 4 2 と重なる回折格子 1 5 a の幅  $W_4$  は、第 1 回折格子 1 4 の幅  $W_3$  よりも大きい。第 1 回折格子 1 4 の幅  $W_3$  は、例えば、 $10\ \mu\text{m}$ 、第 2 回折格子 1 5 a の幅  $W_4$  は、例えば、 $20\ \mu\text{m}$  である。これにより、当該回折格子 1 5 a における異常成長した部分は、メサストライプ構造の幅方向（第 1 回折格子 1 4 の幅方向）において、当該メサストライプ構造よりも外側（例えば隅側 5 1）に偏在する。そしてこの偏在した異常成長部分は、メサストライプ構造の形成時にエッチングによって除去される。したがって、当該異常成長部分によるメサストライプ構造の特性に対する影響が抑制され、良好な発光効率を有する

10

20

30

40

50

半導体レーザ素子を得ることができる。また、本実施形態では、第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同様の作用効果が奏される。

【 0 0 6 1 】

本発明による半導体レーザ素子及び半導体レーザ素子の製造方法は、上述した実施形態に限られるものではなく、他に様々な変形が可能である。例えば、上記実施形態では第 1 回折格子の両端に第 2 回折格子が接続されているが、第 1 回折格子の片端に第 2 回折格子が接続されていてもよい。また、第 1 実施形態及び第 2 実施形態においても、第 3 実施形態等と同様に、メサストライプ構造のストライプ幅は、第 1 回折格子 1 4 の幅  $W_3$  以下であってもよい。また、技術的に可能な範囲において、実施形態（例えば第 1 実施形態）に他の実施形態（例えば第 3 実施形態）の記載を適宜用いてもよい。

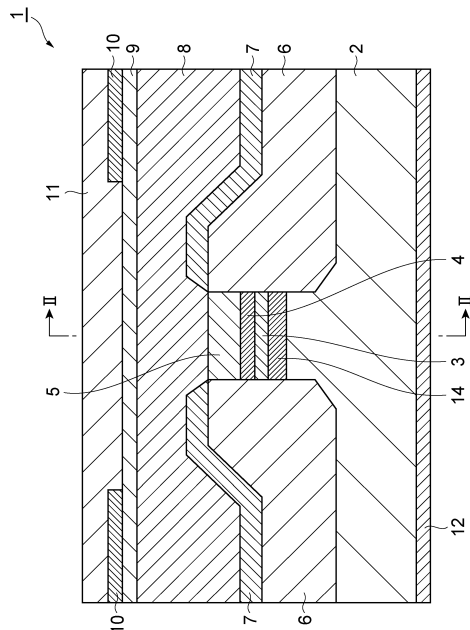
10

【 符号の説明 】

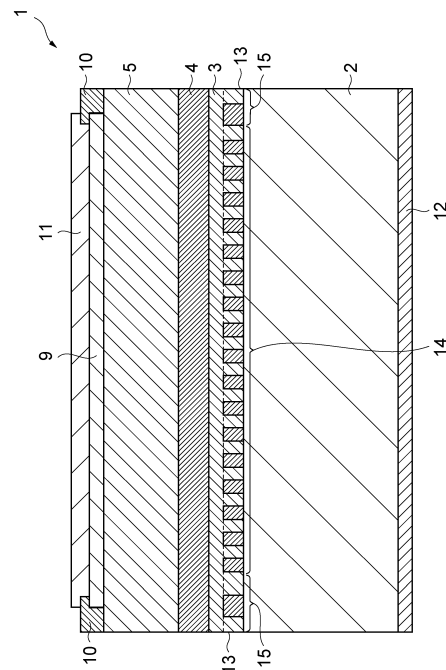
【 0 0 6 2 】

1 ... 半導体レーザ素子、2 ... n 型 I n P 基板、3 ... n 型 I n P クラッド層、4 ... 活性層、5 ... p 型 I n P クラッド層、6 ... p 型 I n P ブロック層、7 ... n 型 I n P ブロック層、8 ... p 型 I n P 層、9 ... コンタクト層、10 ... 保護膜、11 ... p 型電極、12 ... n 型電極、13 ... 劈開面（出射面）、14 ... 第 1 回折格子、15 ... 第 2 回折格子、16 ... ウェハ。

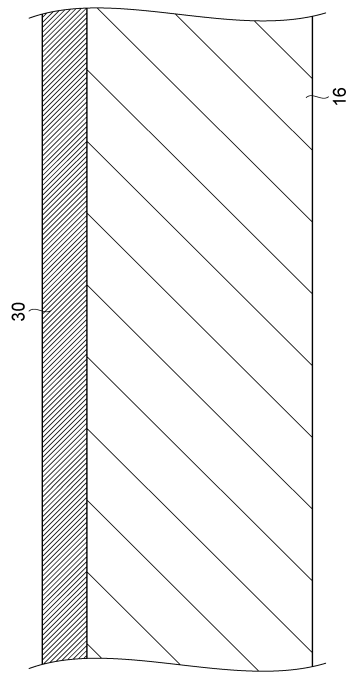
【 図 1 】



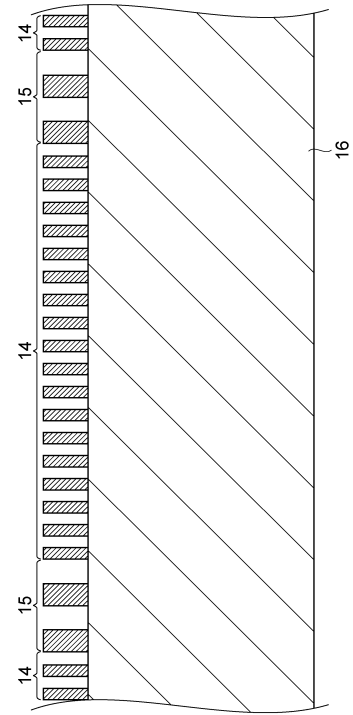
【 図 2 】



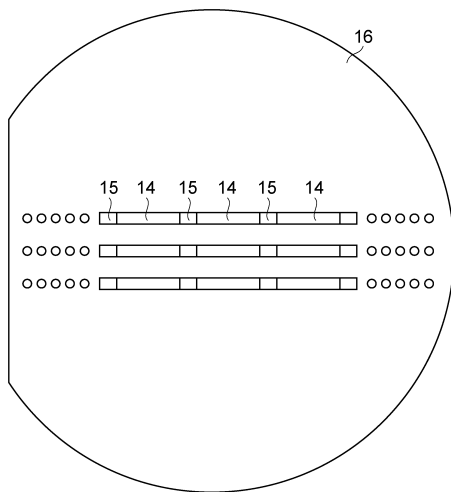
【図 3】



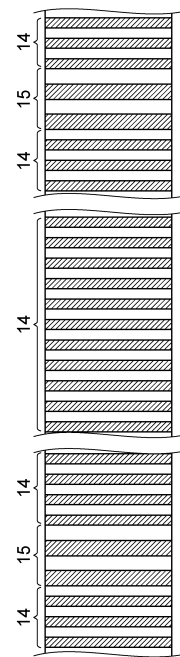
【図 4】



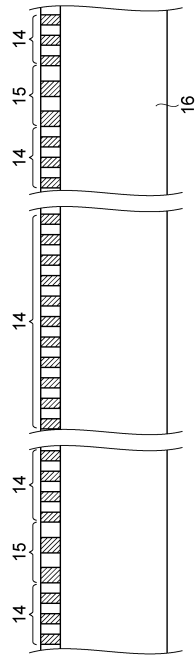
【図 5】



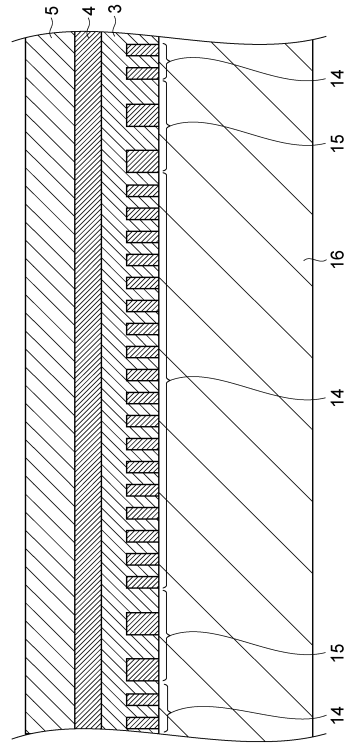
【図 6】



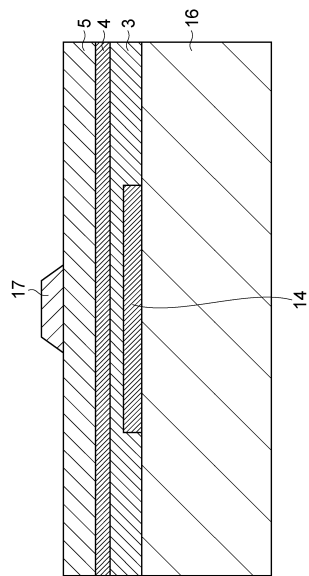
【図 7】



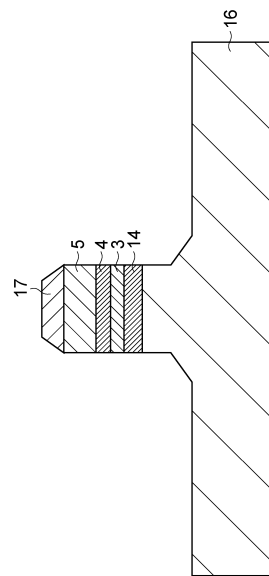
【図 8】



【図 9】



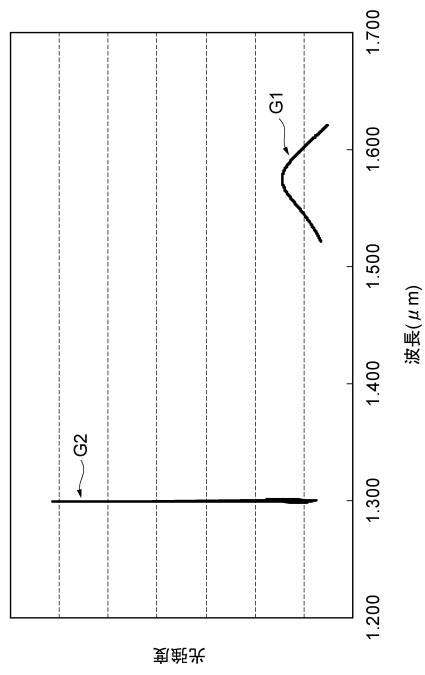
【図 10】



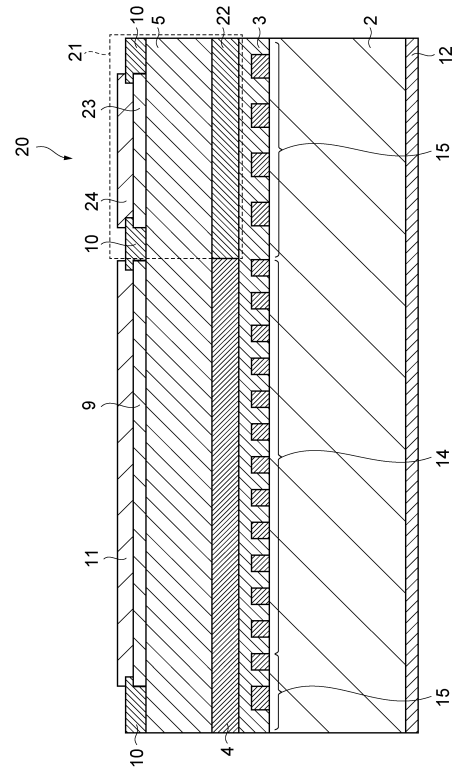




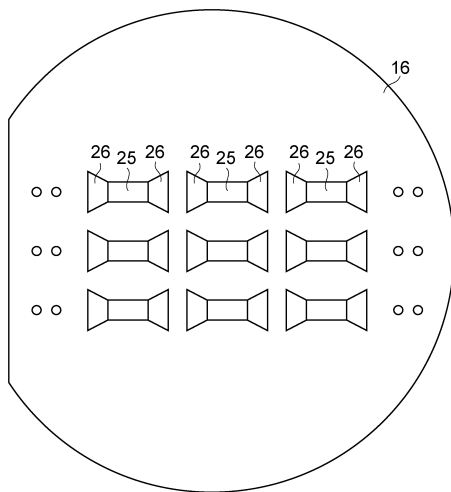
【図 15】



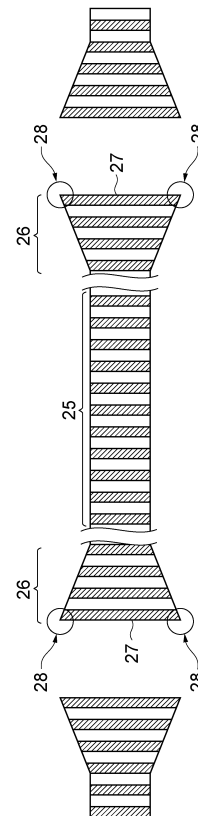
【図 16】



【図 17】

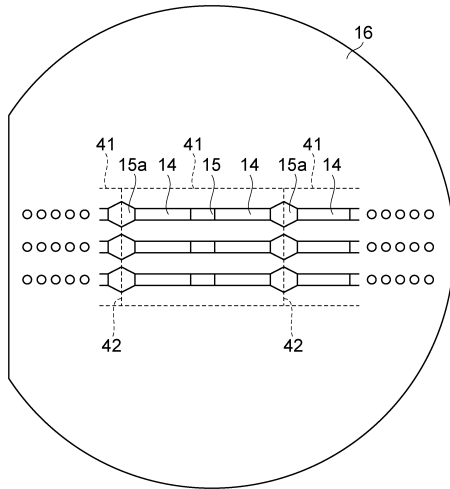


【図 18】

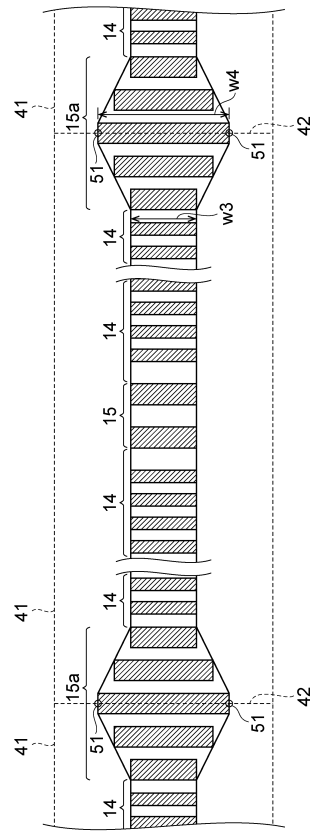




【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



## フロントページの続き

審査官 百瀬 正之

- (56)参考文献 特開平03-076291(JP,A)  
特開2007-088285(JP,A)  
特開2010-272752(JP,A)  
特開2011-142239(JP,A)  
特開平11-163456(JP,A)  
特開2002-050569(JP,A)  
特開昭62-285418(JP,A)  
国際公開第01/65648(WO,A2)  
特開2012-191030(JP,A)  
特開2011-176374(JP,A)  
特開平11-054832(JP,A)  
特開2007-305871(JP,A)  
特開平8-5849(JP,A)  
特開平7-128510(JP,A)  
特開平6-310812(JP,A)  
特開平4-100287(JP,A)  
特開平4-74875(JP,A)  
特開昭61-190368(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50  
G02B 5/18  
H01L 21/302  
H01L 21/461  
IEEE Xplore