

(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2019-9169

(P2019-9169A)

(43) 公開日 平成31年1月17日(2019.1.17)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 S 5/042 (2006.01)	HO 1 S 5/042 6 1 4	5 F 1 7 3
HO 1 S 5/343 (2006.01)	HO 1 S 5/343	5 F 2 4 1
HO 1 L 33/14 (2010.01)	HO 1 L 33/14	5 F 8 4 9
HO 1 L 33/30 (2010.01)	HO 1 L 33/30	
HO 1 L 31/10 (2006.01)	HO 1 L 31/10 A	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2017-121137 (P2017-121137)  
 (22) 出願日 平成29年6月21日 (2017.6.21)

(71) 出願人 301022471  
 国立研究開発法人情報通信研究機構  
 東京都小金井市貫井北町4-2-1

(74) 代理人 100120868  
 弁理士 安彦 元

(72) 発明者 松本 敦  
 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立  
 研究開発法人情報通信研究機構内

(72) 発明者 赤羽 浩一  
 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立  
 研究開発法人情報通信研究機構内

(72) 発明者 山本 直克  
 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立  
 研究開発法人情報通信研究機構内

最終頁に続く

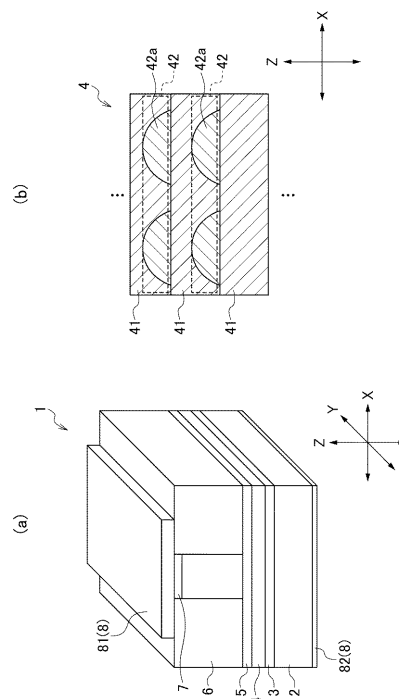
(54) 【発明の名称】 半導体光デバイス、半導体光源、光集積回路、及び半導体光デバイスの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を発揮する。

【解決手段】 基板2の上に設けられた活性層4と、前記活性層4の上に設けられたクラッド層5とを備える半導体光デバイス1であって、前記クラッド層5の上に設けられ、第1不純物及び前記第1不純物とは異なる第2不純物を含むコンタクト層7を備えることを特徴とする。また、基板2の上に設けられた活性層4と、前記活性層4の上に設けられたクラッド層5とを備える半導体光源であって、前記クラッド層5の上に設けられ、第1不純物及び前記第1不純物とは異なる第2不純物を含むコンタクト層7を備えることを特徴とする。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

基板の上に設けられた活性層と、前記活性層の上に設けられたクラッド層とを備える半導体光デバイスであって、

前記クラッド層の上に設けられ、第 1 不純物及び前記第 1 不純物とは異なる第 2 不純物を含むコンタクト層を備えること

を特徴とする半導体光デバイス。

**【請求項 2】**

前記第 1 不純物は、ベリリウム又は亜鉛であり、

前記第 2 不純物は、アルゴン、リン、又はホウ素であり、

前記第 2 不純物の濃度は、 $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 以上 $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 以下であること

を特徴とする請求項 1 記載の半導体光デバイス。

**【請求項 3】**

基板の上に設けられた活性層と、前記活性層の上に設けられたクラッド層とを備える半導体光源であって、

前記クラッド層の上に設けられ、第 1 不純物及び前記第 1 不純物とは異なる第 2 不純物を含むコンタクト層を備えること

を特徴とする半導体光源。

**【請求項 4】**

基板の上に設けられた活性層と、前記活性層の上に設けられたクラッド層とを備えた半導体光デバイスを備える光集積回路であって、

前記半導体光デバイスは、前記クラッド層の上に設けられ、第 1 不純物及び前記第 1 不純物とは異なる第 2 不純物を含むコンタクト層を備えること

を特徴とする光集積回路。

**【請求項 5】**

基板の上に活性層を形成する工程と、前記活性層の上にクラッド層を形成する工程とを備える半導体光デバイスの製造方法であって、

前記クラッド層の上に第 1 不純物を含むコンタクト層を形成する工程と、

前記コンタクト層に前記第 1 不純物とは異なる第 2 不純物を注入する工程と、

前記コンタクト層を加熱する工程と、

を備えること

を特徴とする半導体光デバイスの製造方法。

**【請求項 6】**

前記コンタクト層を形成する工程として、前記第 1 不純物を含む InGaAs が形成され、

前記コンタクト層を加熱する工程は、600 以上720 以下、及び、30 秒以上180 秒以下で加熱すること

を特徴とする請求項 5 記載の半導体光デバイスの製造方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、半導体光デバイス、半導体光源、光集積回路、及び半導体光デバイスの製造方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

近年、スマートフォンやタブレット端末等のモバイル端末の普及に伴い、モバイル通信の高速化や様々なモバイル端末用のサービスの多様化が進み、必要とされる通信容量が著しく増大している。ネットワークシステムにおいては、ビッグデータを用いたネットワーク・クラウドサービスが次第に普及する一方で、産業においては、産業機械同士で情報を

10

20

30

40

50

共有する M 2 M ( Machine to Machine ) 技術、産業機器・装置やセンサ等の全ての機器に対してインターネットを介して効率的に運用するような I o T ( Internet of Things ) 技術、I o T 機器をエッジルータでリアルタイム( 瞬時 ) に情報処理を行うエッジコンピューティング技術等が、非常に重要な技術として注目されている。

【 0 0 0 3 】

このような技術の確立及び発展には、アクセスネットワークにおける光・無線通信やデータセンタでの近距離通信ネットワークのさらなる高速大容量化が不可欠となる。このような観点から、データセンタ内、データセンタ間近距離通信、アクセス系ネットワークの光インタコネクタ化、光・無線通信における通信速度の高速化及び大容量化の研究が世界的に行われており、それを実現するような低消費電力、トラフィックの低遅延性や、通信機器のサイズ・コスト等の要求を満たす I C T ( Information and Communication Technology ) ハードウェアを用いた高速大容量通信技術が必要不可欠と考えられている。

10

【 0 0 0 4 】

上記分野において特に注目されている研究として、S i フォトニクス等を用いた半導体光デバイスの研究や、上記半導体光デバイスを用いたレーザ等を集積した光集積回路の研究がある。上述した半導体光デバイス等の研究は、L S I の微細配線に用いられる C M O S ( Complementary metal oxide semiconductor ) ラインと相互互換性が高く、極めて効率良く低コスト化が可能であると考えられている。また、半導体光デバイス等は、L S I との集積を可能とすることから、電気・光通信を融合した光集積回路を実現し、超小型化及び低消費電力化が可能となる点で、世界的に重要な研究テーマと認識されている。

20

【 0 0 0 5 】

しかしながら、上述した半導体光デバイスを L S I の集積回路の一部に実装する場合、L S I に起因する大きな発熱が問題となり得る。L S I 周辺のボードの温度は、L S I の発熱により 8 0 程度に達するため、半導体光デバイスの特性を低下させる恐れがある。そこで、高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を発揮する半導体光デバイスの実現が課題として挙げられる。

【 0 0 0 6 】

これに対し、例えば特許文献 1 では、特に室温近傍でのしきい値電流を低減できる半導体レーザ素子に関する技術が開示されている。このほか、例えば非特許文献 1 では、p 型不純物を活性層近傍にドーブ( 注入 ) し、結晶成長させた構造のウェハを用いて半導体レーザ等の発光素子を形成することにより、温度特性を改善させる技術が開示されている。また、例えば非特許文献 2 では、ペルチェ素子等の T E C ( Thermo Electric Cooler ) により、半導体レーザ等の発光素子や、その他光集積回路から生じる熱を強制的に冷却させる方法に関する技術が開示されている。

30

【 0 0 0 7 】

特許文献 1 に開示された半導体レーザでは、複数の量子井戸層を有し、量子井戸層とバリア層とを交互に形成した活性層を備える。活性層内のバリア層のうちの量子井戸層によって挟まれたバリア層と量子井戸層との伝導帯側のバンド不連続量は、2 6 m e V 以上、3 0 0 m e V 未満に設定される。これによって、量子井戸層間での熱励起によるキャリアのオーバーフローを意図的に行うようにし、量子井戸層間でキャリア密度を均一化する。

40

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 7 - 1 6 5 7 9 8 号公報

【 非特許文献 】

【 0 0 0 9 】

【 非特許文献 1 】 O K I テクニカルレビュー 第 211 号、Vol. 74, No.3, pp. 82, 2007.

【 非特許文献 2 】 Z. Mi, et al., Electronics letters, Vol. 41, No. 13, pp. 742, 20

05.

【 発明の概要 】

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0010】

しかしながら、上述したような従来技術による半導体レーザ等の半導体光源では、温度特性を示す指標である特性温度 $T_0$ の値が、室温近傍において非常に改善されるものの、高温において改善が不十分な傾向があり、高温における閾値電流の増加を抑制することが難しい。このため、高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を発揮する半導体光デバイス等の実現が望まれている。

## 【0011】

そこで本発明は、上述した問題点に鑑みて案出されたものであり、その目的とするところは、高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を発揮する半導体光デバイス、半導体光源、光集積回路、及び半導体光デバイスの製造方法を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0012】

本発明者らは、上述した問題点を解決するために、基板の上に設けられた活性層と、活性層の上に設けられたクラッド層とを備え、クラッド層の上に設けられ、第1不純物及び第1不純物とは異なる第2不純物を含むコンタクト層を備えることを特徴とする半導体光デバイス、半導体光源、半導体光デバイスを備える光集積回路、及び半導体光デバイスの製造方法を発明した。

## 【0013】

請求項1に記載の半導体光デバイスは、基板の上に設けられた活性層と、前記活性層の上に設けられたクラッド層とを備える半導体光デバイスであって、前記クラッド層の上に設けられ、第1不純物及び前記第1不純物とは異なる第2不純物を含むコンタクト層を備えることを特徴とする。

## 【0014】

請求項2に記載の半導体光デバイスは、請求項1記載の発明において、前記第1不純物は、ベリリウム又は亜鉛であり、前記第2不純物は、アルゴン、リン、又はホウ素であり、前記第2不純物の濃度は、 $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 以上 $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 以下であることを特徴とする。

## 【0015】

請求項3に記載の半導体光源は、基板の上に設けられた活性層と、前記活性層の上に設けられたクラッド層とを備える半導体光源であって、前記クラッド層の上に設けられ、第1不純物及び前記第1不純物とは異なる第2不純物を含むコンタクト層を備えることを特徴とする。

## 【0016】

請求項4に記載の光集積回路は、基板の上に設けられた活性層と、前記活性層の上に設けられたクラッド層とを備えた半導体光デバイスを備える光集積回路であって、前記半導体光デバイスは、前記クラッド層の上に設けられ、第1不純物及び前記第1不純物とは異なる第2不純物を含むコンタクト層を備えることを特徴とする。

## 【0017】

請求項5に記載の半導体光デバイスの製造方法は、基板の上に活性層を形成する工程と、前記活性層の上にクラッド層を形成する工程とを備える半導体光デバイスの製造方法であって、前記クラッド層の上に第1不純物を含むコンタクト層を形成する工程と、前記コンタクト層に前記第1不純物とは異なる第2不純物を注入する工程と、前記コンタクト層を加熱する工程と、を備えることを特徴とする。

## 【0018】

請求項6に記載の半導体光デバイスの製造方法は、請求項5記載の発明において、前記コンタクト層を形成する工程として、前記第1不純物を含むInGaAsが形成され、前記コンタクト層を加熱する工程は、600以上720以下、及び、30秒以上180秒以下で加熱することを特徴とする。

## 【発明の効果】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 9 】

上述した構成からなる本発明によれば、コンタクト層は、第 1 不純物及び第 2 不純物を含む。このため、室温環境下からの温度上昇に伴う閾値電流の上昇を、抑制することができる。これにより、高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を発揮することが可能となる。

## 【 0 0 2 0 】

また、上述した構成からなる本発明によれば、室温環境下からの温度上昇に伴い、放出される光の波長のピークシフト量を抑制することができる。これにより、高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を発揮することができる。

## 【 0 0 2 1 】

また、上述した構成からなる本発明によれば、超小型化及び低消費電力化された光集積回路を可能とするとともに、高速及び大容量通信を実現することが可能となる。

## 【 0 0 2 2 】

また、上述した構成からなる本発明によれば、コンタクト層に第 2 不純物を注入し、コンタクト層を加熱する。このため、コンタクト層に注入された第 2 不純物が加熱に伴い拡散する範囲を、コンタクト層及びクラッド層に留めることができ、活性層に第 2 不純物が拡散することを抑制することができる。これにより、活性層の発光特性の低下を抑制することが可能となる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 2 3 】

【 図 1 】 図 1 ( a ) は、本実施形態における半導体光デバイスの一例を示す模式斜視図であり、図 1 ( b ) は、活性層の一例を示す拡大模式断面図である。

【 図 2 】 図 2 ( a ) は、本実施形態における半導体レーザの一例を示す模式断面図であり、図 2 ( b ) は、本実施形態における半導体光増幅器の一例を示す模式断面図であり、図 2 ( c ) は、本実施形態における光集積回路の一例を示す模式平面図である。

【 図 3 】 本実施形態における半導体光デバイスの製造方法の一例を示すフローチャートである。

【 図 4 】 実施例 1 において作成した評価サンプルの模式断面図である。

【 図 5 】 設定温度における各評価サンプルの閾値電流密度を測定した結果を示すグラフである。

【 図 6 】 設定温度において各評価サンプルから放出されるレーザのピーク波長を測定した結果を示すグラフである。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 2 4 】

## 実施形態

## ( 半導体光デバイス 1 )

以下、本発明の実施形態における半導体光デバイス 1 について説明する。図 1 ( a ) は、本実施形態における半導体光デバイス 1 の一例を示す模式斜視図であり、図 1 ( b ) は、活性層 4 の一例を示す拡大模式断面図である。なお、各図において基板 2 の主面に平行な方向を X 方向及び Y 方向とし、X 方向及び Y 方向に交わる方向を Z 方向とする。

## 【 0 0 2 5 】

図 1 ( a ) に示すように、半導体光デバイス 1 は、基板 2 と、活性層 4 と、クラッド層 5 と、コンタクト層 7 とを備える。半導体光デバイス 1 は、例えば下層クラッド層 3 と、絶縁層 6 と、電極 8 とを備えてもよい。

## 【 0 0 2 6 】

半導体光デバイス 1 は、主に半導体レーザ、半導体光増幅器 ( S O A : Semiconductor Optical Amplifier ) 等の半導体光源の構成として用いられる。半導体光デバイス 1 は、半導体光源のほか、例えばフォトダイオード、半導体受光素子等の構成として用いられ、例えば L S I を備える光集積回路の構成として用いられる。

## 【 0 0 2 7 】

10

20

30

40

50

## &lt; 基板 2 &gt;

基板 2 は、n 型不純物を含み、例えば P (リン)、S (硫黄)、又は As (ヒ素) を含む。基板 2 として、例えば InP (3 1 1) B が用いられるほか、例えば InP (0 0 1)、GaAs (砒化ガリウム)、又は Si (ケイ素) が用いられる。

【0028】

## &lt; 下層クラッド層 3 &gt;

下層クラッド層 3 は、例えば基板 2 の上に設けられる。下層クラッド層 3 は、n 形不純物を含み、例えば P、S、As、又は Si を含む。下層クラッド層 3 として、例えば InAlAs が用いられるほか、例えば InP、InGaAsP、又は AlGaAs 等が用いられる。なお、各材料の組成比は任意のため省略し、以下の説明においても同様である。

【0029】

## &lt; 活性層 4 &gt;

活性層 4 は、基板 2 の上に設けられ、例えば基板 2 との間に下層クラッド層 3 を挟む。活性層 4 は、図 1 (b) に示すように、交互に積層された複数のバリア層 4 1 と、複数の量子層 4 2 とを有する。各量子層 4 2 として、例えば量子ドット構造を有する複数の量子ドット 4 2 a が用いられてもよい。この場合、各量子ドット 4 2 a 間の隙間には、バリア層 4 1 が設けられてもよい。各量子層 4 2 として、例えば量子井戸構造を有する量子井戸層、又は量子細線構造を有する量子細線層が用いられてもよい。なお、バリア層 4 1 及び量子層 4 2 の積層数は、任意である。

【0030】

バリア層 4 1 として、例えば InGaAlAs が用いられるほか、例えば InGaAsP、GaAs、GaAs、GaAsP、GaInAs、GaInAs、GaInAsSb、GaInAsSb、又は GaAsSb 等が用いられてもよい。量子層 4 2 又は量子ドット 4 2 a として、例えば InAs が用いられるほか、GaInAsSb、GaInAsSb、又は GaInAs 等が用いられてもよい。なお、バリア層 4 1 及び量子層 4 2 の少なくとも何れかは、例えば不純物を含んでもよい。

【0031】

バリア層 4 1 の厚さは、例えば 5 nm 以上 20 nm 以下である。量子層 4 2 の厚さは、例えば 1 nm 以上 20 nm 以下である。ここで「厚さ」とは、Z 方向の厚さを示し、以下の説明においても同様である。

【0032】

## &lt; クラッド層 5 &gt;

クラッド層 5 は、活性層 4 の上に設けられる。クラッド層 5 は、例えばメサ状に形成され、XY 平面上に広がる平面部と、平面部から Z 方向に延在する突出部とを有し、突出部が絶縁層 6 に挟まれてもよい。

【0033】

クラッド層 5 は、p 型不純物を含み、例えば B (ホウ素)、Zn (亜鉛)、Be (ベリリウム)、Mg (マグネシウム)、又は Cd (カドミウム) を含む。クラッド層 5 として、例えば InAlAs が用いられるほか、例えば InP、又は AlGaAs 等が用いられる。

【0034】

## &lt; コンタクト層 7 &gt;

コンタクト層 7 は、クラッド層 5 の上に設けられる。コンタクト層 7 は、例えばクラッド層 5 の突起部の上に設けられ、絶縁層 6 に挟まれる。コンタクト層 7 の厚さは、クラッド層 5 の厚さよりも薄い。

【0035】

コンタクト層 7 は、第 1 不純物及び第 2 不純物を含む。第 1 不純物は、p 型不純物の Be であるほか、例えば Zn、Mg、又は Cd でもよい。第 2 不純物は、例えば p 型不純物の Ar (アルゴン) である。第 1 不純物及び第 2 不純物の何れかは、例えば B でもよい。なお、第 2 不純物は、例えば n 型不純物の P でもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 6 】

第2不純物の濃度は、 $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 以上 $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 以下であり、好ましくは $1.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以上 $5.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 以下である。コンタクト層7として、InGaAsが用いられるほか、例えばGaAsが用いられてもよい。第2不純物がp型不純物の場合、コンタクト層7に含まれるp型不純物の濃度は、クラッド層5に含まれるp型不純物の濃度よりも高い。

## 【 0 0 3 7 】

## &lt; 電極 8 &gt;

電極8は、コンタクト層7と接する上層電極81と、基板2と接する下層電極82とを有する。電極8は、活性層4に電圧を印可するために用いられる。各電極81、82として、例えばTi、Pt、及びAuの積層体が用いられる。

10

## 【 0 0 3 8 】

## &lt; 絶縁層 6 &gt;

絶縁層6は、クラッド層5上に設けられるほか、例えばコンタクト層7上に設けられてもよい。絶縁層6は、クラッド層5、コンタクト層7、及び上層電極81の少なくとも何れかを挟んで設けられる。絶縁層6として、例えばベンゾシクロブテン(BCB)、又はシリコン酸化物( $\text{SiO}_2$ )が用いられる。

## 【 0 0 3 9 】

本実施形態における半導体光デバイス1によれば、コンタクト層7は、第1不純物及び第2不純物を含む。このとき、例えば活性層4は、バリア層41と量子層42との間の境界近傍において混晶された状態を示し、抵抗が増加する。このため、高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を発揮することが可能となる。

20

## 【 0 0 4 0 】

また、本実施形態における半導体光デバイス1によれば、第2不純物は、例えばコンタクト層7に加えてクラッド層5に含まれてもよい。この場合、クラッド層5に含まれる第2不純物の濃度は、コンタクト層7に接する側から活性層4に接する側に向かって濃度が低下する。また、第2不純物は、活性層4には含まれない、又は、クラッド層5よりも低い濃度で含まれる。このため、第2不純物の拡散に伴う活性層4の発光特性の低下を抑制することが可能となる。これにより、高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を容易に発揮することが可能となる。

30

## 【 0 0 4 1 】

## ( 半導体光源、光集積回路 3 0 )

次に、本実施形態における半導体光源(例えば半導体レーザ10、半導体光増幅器20)及び光集積回路30について説明する。半導体光源及び光集積回路30は、半導体光デバイス1を備えることができる。図2(a)は、本実施形態における半導体レーザ10の一例を示す模式断面図であり、図2(b)は、本実施形態における半導体光増幅器20の一例を示す模式断面図であり、図2(c)は、本実施形態における光集積回路30の一例を示す模式平面図である。

## 【 0 0 4 2 】

## &lt; 半導体レーザ 1 0 &gt;

半導体レーザ10は、例えば図2(a)に示すように、半導体光デバイス1を備える。半導体レーザ10は、例えば電極81、82に電圧を印可することで、活性層4から所定の波長帯域のレーザ光を放出する(図の矢印方向)。半導体レーザ10は、例えば基板2とコンタクト層7との間に図示しない一対の反射層を有してもよい。この場合、レーザ光は、Z方向に放出される。

40

## 【 0 0 4 3 】

半導体レーザ10の上層電極81は、例えばY方向に延在するストライプ構造を有する。このとき、上層電極81は、例えばY方向に $600 \mu\text{m}$ 程度の長さLを有し、X方向に $50 \mu\text{m}$ 程度の幅Wを有する。

## 【 0 0 4 4 】

50

## &lt; 半導体光増幅器 20 &gt;

半導体光増幅器 20 は、例えば図 2 ( b ) に示すように、半導体光デバイス 1 を備える。この場合、半導体光増幅器 20 は、Y 方向の両側面に反射防止膜 9 を有する。反射防止膜 9 として、例えばシリコン酸化物と酸化チタンとの多層膜が用いられる。

## 【 0045 】

## &lt; 光集積回路 30 &gt;

光集積回路 30 は、例えば図 2 ( c ) に示すように、半導体光デバイス 1 を備える。この場合、半導体光デバイス 1 は、光集積回路 30 の有する制御部 40 により制御される。半導体光デバイス 1 は、例えば制御部 40 から送信された信号に基づいてレーザ光を放出する半導体光源として用いられるほか、例えば外部から受光した光の情報を制御部 40 に送信する半導体受光素子として用いられてもよい。

10

## 【 0046 】

本実施形態における半導体光源及び光集積回路 30 の少なくとも何れかによれば、半導体光デバイス 1 を備えることで、室温環境下からの温度上昇に伴う閾値電流の上昇を、抑制することができる。これにより、高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を発揮することが可能となる。

## 【 0047 】

また、本実施形態における半導体光源及び光集積回路 30 の少なくとも何れかによれば、室温環境下からの温度上昇に伴い、放出される光の波長のピークシフト量を抑制することができる。これにより、高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を発揮することができる。

20

## 【 0048 】

上記に加え、本実施形態における光集積回路 30 によれば、LSI に起因する大きな発熱が発生した場合においても、安定に動作し、高い性能を発揮することができる。これにより、超小型化及び低消費電力化を可能とするとともに、高速及び大容量通信を実現することが可能となる。

## 【 0049 】

( 半導体光デバイス 1 の製造方法 )

次に、本実施形態における半導体光デバイス 1 の製造方法の一例について説明する。図 3 は、本実施形態における半導体光デバイス 1 の製造方法の一例を示すフローチャートである。

30

## 【 0050 】

< 活性層 4 を形成 : ステップ S 110 >

先ず、基板 2 の上に活性層 4 を形成する ( ステップ S 110 )。このとき、例えば基板 2 と活性層 4 との間に、下層クラッド層 3 のほか、図示しないバッファ層等を形成してもよい。活性層 4 を形成する方法として、MBE ( Molecular Beam Epitaxy ) 法が用いられるほか、例えば MOCVD ( Metal Organic Chemical Vapor Deposition ) 法等が用いられてもよい。

## 【 0051 】

基板 2 として、例えば n 形不純物の P、S、又は As を含む InP ( 311 ) B 基板が用いられ、下層クラッド層 3 として、例えば n 型不純物の P、Si、又は As を含む InAlAs が用いられる。活性層 4 は、バリア層 41 と量子層 42 とを交互に複数積層して形成される。バリア層 41 として、例えば InGaAlAs が用いられ、量子層 42 として量子ドット構造を有する InAs が用いられる。

40

## 【 0052 】

このとき、例えばバリア層 41 及び量子層 42 には不純物が注入されない場合がある。この場合、後述する加熱工程に伴い活性層 4 内に不純物が拡散しない。これにより、活性層 4 の発光特性の低下を抑制することが可能となる。

## 【 0053 】

< クラッド層 5 を形成 : ステップ S 120 >

50



次に、活性層 4 の上にクラッド層 5 を形成する（ステップ S 1 2 0）。クラッド層 5 を形成する方法として、M B E 法が用いられるほか、例えば M O C V D 法等が用いられてもよい。クラッド層 5 は、例えば  $1.5 \mu\text{m}$  から  $2 \mu\text{m}$  程度の厚さで形成される。

【 0 0 5 4 】

クラッド層 5 として、例えば p 形不純物の B e を含む I n A l A s が用いられる。クラッド層 5 は、例えば後述する第 2 不純物を含んでもよい。

【 0 0 5 5 】

< コンタクト層 7 を形成：ステップ S 1 3 0 >

次に、クラッド層 5 の上にコンタクト層 7 を形成する（ステップ S 1 3 0）。コンタクト層 7 を形成する方法として、M B E 法が用いられるほか、例えば M O C V D 法等が用いられてもよい。コンタクト層 7 は、例えば  $100 \text{ nm}$  程度の厚さで形成される。

【 0 0 5 6 】

コンタクト層 7 として、例えば第 1 不純物の B e を含む I n G a A s が用いられる。例えば I n G a A s を形成した後、イオン注入法等により B e を注入してもよい。

【 0 0 5 7 】

< 第 2 不純物を注入：ステップ S 1 4 0 >

次に、コンタクト層 7 に第 2 不純物を注入する（ステップ S 1 4 0）。第 2 不純物を注入する方法として、例えばイオン注入法が用いられる。

【 0 0 5 8 】

第 2 不純物として、例えば A r が用いられる。第 2 不純物を注入する際のドーズ量は、 $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^2$  以上  $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^2$  以下である。

【 0 0 5 9 】

例えば第 2 不純物のドーズ量が  $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^2$  以下の場合、第 2 不純物の濃度が低いため、不純物の注入に伴う閾値電流の変化を得難い。このため、室温環境下からの温度上昇に伴う閾値電流の上昇を抑制できない。また、例えば第 2 不純物のドーズ量の濃度が  $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^2$  を超える場合、不純物注入に伴うコンタクト層 7 の結晶性の劣化度合いが大きくなり、抵抗が大きくなり得る。このため、室温環境下からの温度上昇に伴う閾値電流の上昇を抑制できない。

【 0 0 6 0 】

このため、本実施形態によれば、第 2 不純物を注入する際のドーズ量は、 $1.0 \times 10^{12} \text{ cm}^2$  以上  $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^2$  以下とすることで、室温環境下からの温度上昇に伴う閾値電流の上昇を抑制できる。なお、第 2 不純物を注入する際のドーズ量は、 $1.0 \times 10^{13} \text{ cm}^2$  以上  $5.0 \times 10^{14} \text{ cm}^2$  以下が望ましく、これにより室温環境下からの温度上昇に伴う閾値電流の上昇をさらに抑制できる。

【 0 0 6 1 】

また、第 2 不純物を注入する際の加速電圧は、 $60 \text{ keV}$  以上が望ましい。加速電圧が  $60 \text{ keV}$  未満の場合、第 2 不純物がコンタクト層 7 内に注入され難くなり、閾値電流の変化を得難い。このため、第 2 不純物を注入する際の加速電圧は、 $60 \text{ keV}$  以上が望ましく、 $120 \text{ keV}$  以上  $150 \text{ keV}$  以下がより望ましい。

【 0 0 6 2 】

< コンタクト層 7 を加熱：ステップ S 1 5 0 >

次に、コンタクト層 7 を加熱する（ステップ S 1 5 0）。コンタクト層 7 を加熱する方法として、例えば R T A（Rapid thermal annealing）法が用いられる。なお、コンタクト層 7 を加熱するとき、基板 2 からクラッド層 5 までの構成も加熱される。

【 0 0 6 3 】

コンタクト層 7 は、加熱温度が  $600$  以上  $720$  以下、及び、加熱時間が  $30$  秒以上  $180$  秒以下で加熱される。コンタクト層 7 を加熱することで、第 2 不純物をコンタクト層 7 内に拡散できるとともに、第 2 不純物の注入に伴い劣化したコンタクト層 7 の結晶性を修復（再結晶化）させることができる。また、コンタクト層 7 の加熱に伴い、活性層 4 における組成混晶化が発生する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 4 】

例えば、加熱温度が 6 0 0 未満、又は、加熱時間が 3 0 秒未満の場合、第 2 不純物の拡散、又は、コンタクト層 7 の結晶性の修復が不十分な状態となる。このため、形成された半導体光デバイス 1 において、発光強度が低下する傾向を示す。また、例えば加熱温度が 7 2 0 を超える、又は、加熱時間が 1 8 0 秒を超える場合、活性層 4 等の他の構成の劣化を促進させる可能性がある。このため、形成された半導体光デバイス 1 において、発光強度が低下する傾向を示す。

## 【 0 0 6 5 】

このため、本実施形態によれば、コンタクト層 7 を加熱する際、加熱温度が 6 0 0 以上 7 2 0 以下、及び、加熱時間が 3 0 秒以上 1 8 0 秒以下とすることで、形成された半導体光デバイス 1 において、良好な発光強度を保つことが可能となる。これにより、高い温度環境下においても、高い性能を維持することが可能となる。

10

## 【 0 0 6 6 】

なお、コンタクト層 7 を加熱する際、加熱温度が 6 0 0 以上 6 8 0 以下、及び、加熱時間が 4 5 秒以上 1 8 0 秒以下とすることが望ましい。これにより発光強度の高い半導体光デバイス 1 を形成することが可能となる。

## 【 0 0 6 7 】

< 電極 8 を形成 : ステップ S 1 6 0 >

次に、電極 8 を形成する (ステップ S 1 6 0 )。電極 8 を形成する方法として、例えば蒸着法等が用いられる。電極 8 は、コンタクト層 7 の上に形成された上層電極 8 1 と、基板 2 の下に形成された下層電極 8 2 とを有する。なお、ステップ S 1 5 0 の後に電極 8 を形成することで、電極 8 の劣化を防ぐことができる。これにより、電極 8 の特性の低下を抑制することが可能となる。

20

## 【 0 0 6 8 】

上層電極 8 1 及び下層電極 8 2 として、例えば T i、P t、及び A u の積層体が用いられる。上層電極 8 1 の T i 層は、例えばコンタクト層 7 と接するように形成される。下層電極 8 2 の T i 層は、例えば基板 2 と接するように形成される。

## 【 0 0 6 9 】

なお、例えば電極 8 を形成する前に、絶縁層 6 を形成してもよい。絶縁層 6 を形成する方法として、例えば C V D 法が用いられる。絶縁層 6 として、ベンゾシクロブテン、又はシリコン酸化物が用いられる。

30

## 【 0 0 7 0 】

例えば、図 1 ( a ) に示すように絶縁層 6 を形成する場合、コンタクト層 7 を形成した後、例えばフォトリソグラフィ法によりコンタクト層 7 にパターンを形成し、R I E ( R e a c t i v e I o n E t c h i n g ) 法等によりコンタクト層 7 及びクラッド層 5 を選択的に除去する。その後、コンタクト層 7 及びクラッド層 5 を除去した部分に絶縁層 6 を形成する。

## 【 0 0 7 1 】

上記のほか、例えば図 4 に示すように絶縁層 6 を形成する場合、コンタクト層 7 の上に絶縁層 6 を形成した後、例えばフォトリソグラフィ法により絶縁層 6 にパターンを形成し、R I E 法等により絶縁層 6 を選択的に除去する。その後、絶縁層 6 を除去した部分及び絶縁層 6 の上に上層電極 8 1 を形成する。

40

## 【 0 0 7 2 】

上述した各工程 (ステップ) を経ることにより、本実施形態における半導体光デバイス 1 が形成される。なお、本実施形態における半導体光源及び光集積回路 3 0 を製造する場合においても、上述した各工程を備える。

## 【 0 0 7 3 】

本実施形態における半導体光デバイス 1 の製造方法によれば、第 1 不純物を含むコンタクト層 7 に、第 2 不純物を注入し、コンタクト層 7 を加熱する。この工程を経て形成された半導体光デバイス 1 では、温度変化に伴う閾値電流の変化が小さくなる。このため、室温環境下からの温度上昇に伴う閾値電流の上昇を、抑制することができる。これにより、

50

高い温度環境下においても、安定に動作し、高い性能を発揮することが可能となる。

【 0 0 7 4 】

また、本実施形態における半導体光デバイス 1 の製造方法によれば、コンタクト層 7 に注入された第 2 不純物が加熱に伴い拡散する範囲を、コンタクト層 7 及びクラッド層 5 に留めることができ、活性層 4 に第 2 不純物が拡散することを抑制することができる。これにより、活性層 4 の発光特性の低下を抑制することが可能となる。

【 0 0 7 5 】

実施例 1

次に、本実施形態における半導体光デバイス 1 の実施例 1 について説明する。実施例 1 では、図 4 に示すような半導体光デバイス 1 を備えた半導体レーザを評価サンプル 1 0 0 として作成し、特性を評価した。

【 0 0 7 6 】

実施例 1 では、InGaAs により形成されたコンタクト層 7 に、Ar を注入するか否かと、コンタクト層 7 の加熱を実施するか否かとの条件を変更して、3 つの評価サンプル 1 0 0 ( 参考例 1 - 1、参考例 1 - 2、実施例 1 - 1 ) を作成した。評価サンプル 1 0 0 では、活性層 4 としてバリア層 4 1 と量子層 4 2 とを合計 3 0 層形成し、量子層 4 2 として量子ドット 4 2 a を用いた。コンタクト層 7 に接する上層電極 8 1 を、絶縁層 6 に挟まれ、X 方向に 5 0 μ m 幅となるように形成した。なお、その他の主な構成は、上述した半導体光デバイス 1 と同様のため、説明を省略する。

【 0 0 7 7 】

評価方法は、各設定温度 ( 2 8 8 K ~ 3 5 3 K ) における評価サンプル 1 0 0 の閾値電流密度 ( k A / c m <sup>2</sup> ) を測定し、特性温度 T<sub>0</sub> を算出し、閾値電流の温度依存性を評価した。特性温度 T<sub>0</sub> は、温度特性を示す指標であり、公知の方法で算出した。一般に、特性温度 T<sub>0</sub> の値が大きいほど、閾値電流の温度依存性が小さいと評価することができる。また、各設定温度 ( 3 0 、 5 0 、 7 0 ) において評価サンプル 1 0 0 から放出されるレーザのピーク波長を測定し、温度依存性を評価した。一般に、温度変化に伴うピーク波長のシフト量が小さいほど、半導体レーザの温度依存性が小さいと評価することができる。

【 0 0 7 8 】

【表 1】

		参考例1-1	参考例1-2	実施例1-1	
作成条件	温度 [°C]	-	680	680	
	時間 [sec]	-	120	120	
	ドーズ量 [cm <sup>-2</sup> ]	-	-	1.0 × 10 <sup>14</sup>	
評価結果	特性温度 T <sub>0</sub> [K] (対象の温度)	常温領域	118 (288K~323K)	201 (288K~313K)	134 (288K~303K)
		高温領域	64 (323K~353K)	77 (323K~353K)	575 (303K~353K)
	ピーク波長 (30°C) [nm]		1528	1483	1412
	ピークシフト量 [nm/°C]		0.52	0.45	0.11~0.15

表 1 は、各評価サンプル 1 0 0 の作成条件、及び評価結果を示す表である。図 5 は、設定温度における各評価サンプル 1 0 0 の閾値電流密度を測定した結果を示すグラフである

10

20

30

50

。横軸は温度 ( Temperature ( K ) ) を示し、縦軸は閾値電流密度 ( Current density ( k A / c m<sup>2</sup> ) ) を示す。表 1 の特性温度 T<sub>0</sub> は、図 5 に示す閾値電流密度の測定値に基づき算出した。

【 0 0 7 9 】

参考例 1 - 1 は、コンタクト層 7 に A r を注入せず、また、コンタクト層 7 の加熱を実施しないで形成された評価サンプルである。このとき、常温領域 ( 2 8 8 K ~ 3 2 3 K ) における特性温度 T<sub>0</sub> は 1 1 8 K であり、高温領域 ( 3 2 3 K ~ 3 5 3 K ) における特性温度 T<sub>0</sub> は 6 4 であった。参考例 1 - 2 は、コンタクト層 7 に A r を注入せず、また、コンタクト層 7 の加熱を実施して形成されたサンプルである。このとき、常温領域 ( 2 8 8 K ~ 3 1 3 K ) における特性温度 T<sub>0</sub> は 2 0 1 K であり、高温領域 ( 3 2 3 K ~ 3 5 3 K ) における特性温度 T<sub>0</sub> は 7 7 であった。

10

【 0 0 8 0 】

実施例 1 - 1 は、コンタクト層 7 に A r を注入し、また、コンタクト層 7 の加熱を実施して形成されたサンプルである。このとき、常温領域 ( 2 8 8 K ~ 3 0 3 K ) における特性温度 T<sub>0</sub> は 1 3 4 K であり、高温領域 ( 3 0 3 K ~ 3 5 3 K ) における特性温度 T<sub>0</sub> は 5 7 5 であった。すなわち、実施例 1 - 1 は、参考例 1 - 1 及び参考例 1 - 2 に比べて、高温領域における特性温度 T<sub>0</sub> が明らかに高いことを確認した。また、図 5 に示すように、実施例 1 - 1 は、参考例 1 - 1 及び参考例 1 - 2 に比べて、常温領域からの温度上昇に伴う閾値電流密度の上昇が明らかに低いことを確認した。

【 0 0 8 1 】

図 6 は、設定温度 ( 3 0 、 5 0 、 7 0 ) において各評価サンプル 1 0 0 から放出されるレーザのピーク波長を測定した結果を示すグラフである。横軸は波長 ( Wavelength ( n m ) ) を示し、縦軸は出力 ( Power ( d B m ) ) を示す。表 1 のピーク波長は、図 6 から読み取れる値であり、3 0 において評価サンプル 1 0 0 から放出されるレーザのピーク波長を示し、ピークシフト量は、温度変化に伴うピーク波長のシフト量を示す。

20

【 0 0 8 2 】

参考例 1 - 1 は、ピーク波長が 1 5 2 8 n m であり、ピークシフト量が 0 . 5 2 n m / であった。参考例 1 - 2 は、ピーク波長が 1 4 8 3 n m であり、ピークシフト量が 0 . 4 5 n m / であった。

【 0 0 8 3 】

実施例 1 - 1 は、ピーク波長が 1 4 1 2 n m であり、ピークシフト量が 0 . 1 1 ~ 0 . 1 5 n m / であった。すなわち、実施例 1 - 1 は、参考例 1 - 1 及び参考例 1 - 2 に比べて、温度変化に伴うピークシフト量が明らかに小さいことを確認した。

30

【 0 0 8 4 】

上記より、実施例 1 - 1 は、参考例 1 - 1 及び参考例 1 - 2 に比べて、高温領域において特性温度 T<sub>0</sub> の値が大きく、閾値電流の温度依存性が小さいと評価できることを確認した。また、実施例 1 - 1 は、参考例 1 - 1 及び参考例 1 - 2 に比べて、温度変化に伴うピーク波長のシフト量が小さく、半導体レーザの温度依存性が小さいと評価できることを確認した。

【 0 0 8 5 】

実施例 2

次に、本実施形態における半導体光デバイス 1 の実施例 2 について説明する。実施例 2 では、半導体光デバイス 1 を評価サンプルとして作成し、特性を評価した。

40

【 0 0 8 6 】

実施例 2 では、I n G a A s により形成されたコンタクト層 7 を加熱する際の加熱温度と、加熱時間との条件を変更した 1 4 つの評価サンプル ( 参考例 2 - 1 ~ 参考例 2 - 5 、実施例 2 - 1 ~ 2 - 9 ) を作成した。各評価サンプルを作成する際、イオン注入法を用いて 1 . 0 × 1 0<sup>14</sup> c m<sup>-2</sup> のドーズ量の条件で、A r をコンタクト層 7 に注入した。

【 0 0 8 7 】

評価方法は、各評価サンプルに 5 5 0 n m 付近の光を照射し、発光強度を評価した。発

50

光強度の高い順番に「 $\Delta$ 」、「 $\circ$ 」、「 $\otimes$ 」、「 $\times$ 」の4段階で評価し、規定値を満たさないサンプルを「 $\times$ 」とした。

【0088】

【表2】

		実施例 2-1	実施例 2-2	参考例 2-1	参考例 2-2	実施例 2-3	実施例 2-4	実施例 2-5	実施例 2-6	実施例 2-7	実施例 2-8	実施例 2-9	参考例 2-3	参考例 2-4	参考例 2-5
作成条件	温度 [°C]	620	600	600	640	600	680	700	720	600	680	720	740	600	720
	時間 [sec]	30	45	20	20	60	60	60	60	180	180	180	180	300	300
評価結果		$\Delta$	$\circ$	$\times$	$\times$	$\otimes$	$\otimes$	$\circ$	$\Delta$	$\otimes$	$\otimes$	$\Delta$	$\times$	$\times$	$\times$

表2は、評価サンプルの作成条件、及び評価結果を示す表である。参考例2-1及び参考例2-2は加熱時間が30秒未満で形成された評価サンプルである。このとき、参考例2-1及び参考例2-2は、低い発光強度を示し、規定値を満たさなかった。また、参考例2-4及び参考例2-5は加熱時間が180秒を超え、参考例2-3は加熱温度が720を超えて形成された評価サンプルである。このとき、参考例2-3～参考例2-5は、低い発光強度を示し、規定値を満たさなかった。

20

【0089】

これに対し、実施例2-1～実施例2-9は、加熱温度が600以上720以下、及び、加熱温度が30秒以上180秒以下で形成されたサンプルである。このとき、実施例2-1～参考例2-9は、高い発光強度を示し、規定値を満たした。特に、実施例2-2～実施例2-4、実施例2-7、及び実施例2-8は、加熱温度が600以上680以下、及び、加熱温度が45秒以上180秒以下で形成されたサンプルである。このとき、実施例2-2～実施例2-4、実施例2-7、及び実施例2-8は、特に高い発光強度を示した。

30

【0090】

上記より、実施例2-1～実施例2-9は、参考例2-1～参考例2-5に比べて、規定値を満たす発光強度を示すと評価できることを確認した。また、実施例2-2～実施例2-4、実施例2-7、及び実施例2-8は、特に高い発光強度を示すと評価できることを確認した。

【0091】

なお、上述した説明における「上」又は「下」の記載は、各構成が接している場合のほか、Z方向に離間して設けられる場合も示す。

【符号の説明】

40

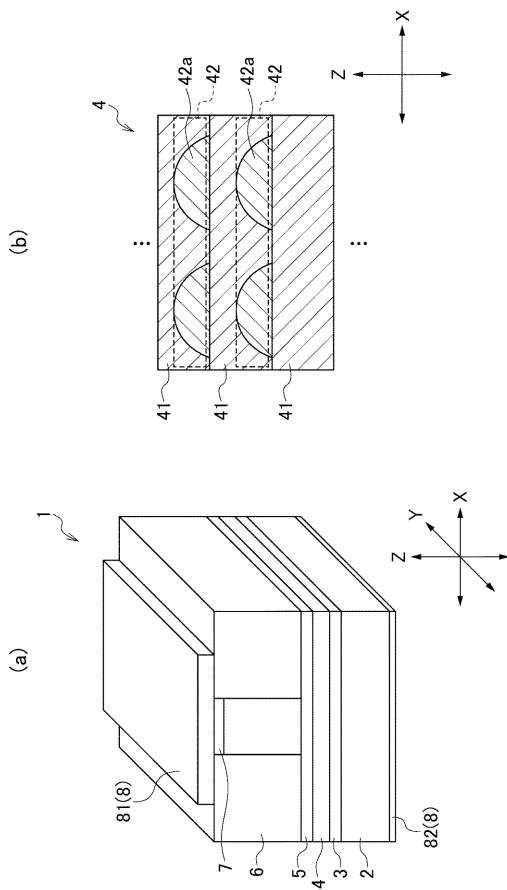
【0092】

- 1 : 半導体光デバイス
- 2 : 基板
- 3 : 下層クラッド層
- 4 : 活性層
- 5 : クラッド層
- 6 : 絶縁層
- 7 : コンタクト層
- 8 : 電極
- 9 : 反射防止膜

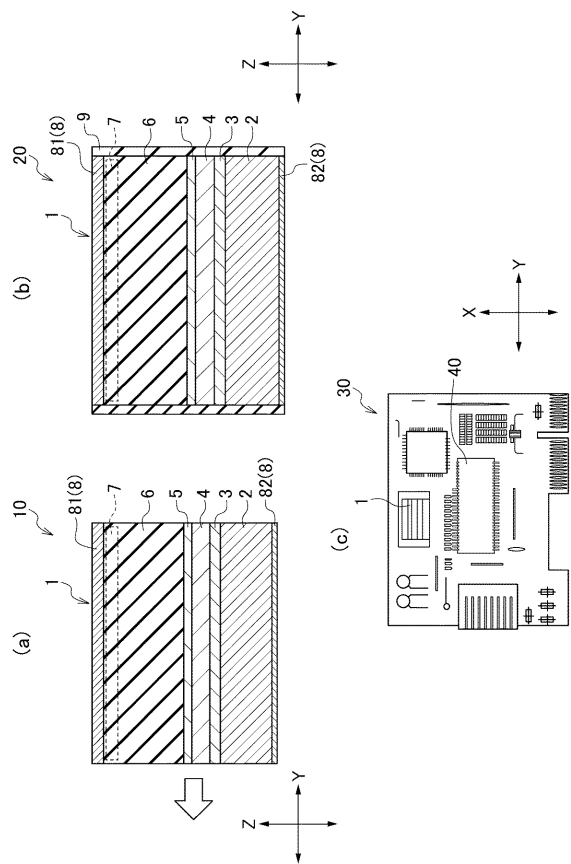
50

- 1 0 : 半導体レーザ
- 2 0 : 半導体光増幅器
- 3 0 : 光集積回路
- 4 0 : 制御部
- 4 1 : バリア層
- 4 2 : 量子層
- 4 2 a : 量子ドット
- 8 1 : 上層電極
- 8 2 : 下層電極
- 1 0 0 : 評価サンプル

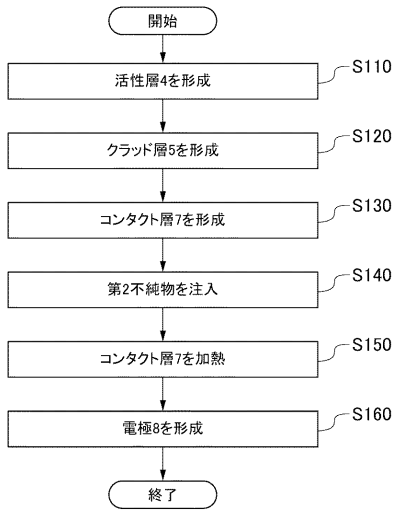
【 図 1 】



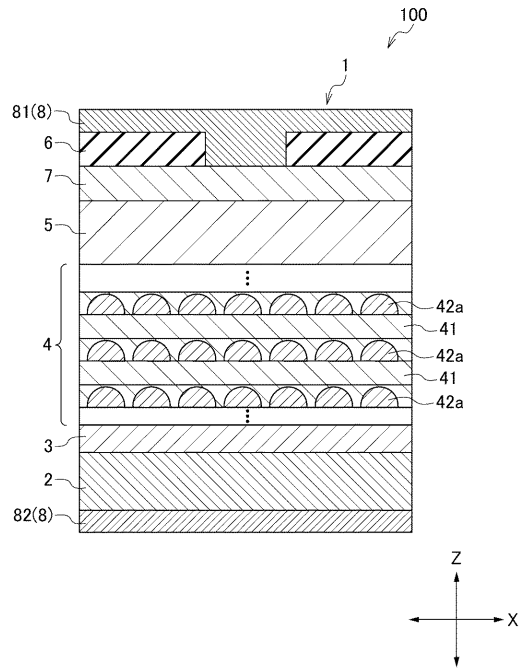
【 図 2 】



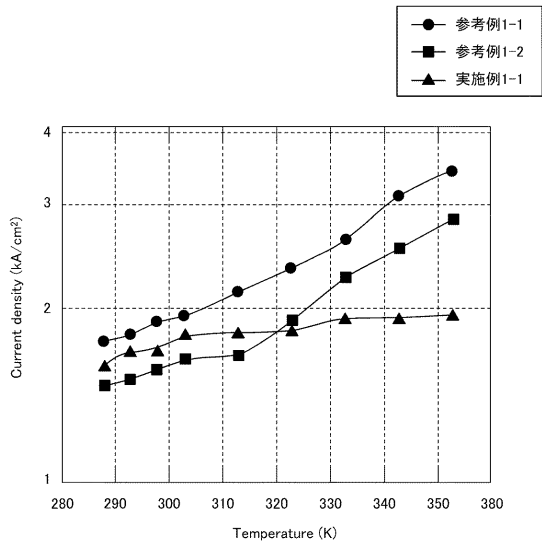
【図3】



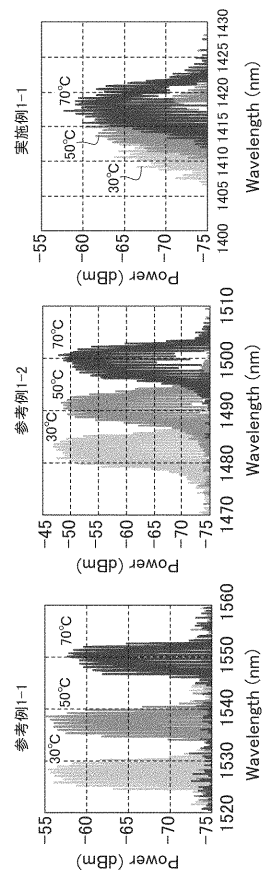
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 5F173 AA05 AA16 AF08 AF75 AF78 AH30 AJ03 AJ05 AJ41 AK04  
AK08 AL03 AL05 AP09 AP33 AP54 AP57 AP60 AP63 AQ12  
AR75 AS01 MA02 SC02  
5F241 AA21 CA04 CA05 CA34 CA53 CA57 CA58 CA66 CA71 CA73  
CA92 CA99 FF14  
5F849 AA01 AB07 BA21 BB01 DA35 EA11 FA05 GA06 XB24