

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4127269号  
(P4127269)

(45) 発行日 平成20年7月30日(2008.7.30)

(24) 登録日 平成20年5月23日(2008.5.23)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 S 5/22 (2006.01)

H O 1 S 5/22

H O 1 S 5/323 (2006.01)

H O 1 S 5/323 6 1 0

請求項の数 9 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2005-46004 (P2005-46004)  
 (22) 出願日 平成17年2月22日(2005.2.22)  
 (62) 分割の表示 特願2000-79426 (P2000-79426)  
                   の分割  
           原出願日 平成12年3月22日(2000.3.22)  
 (65) 公開番号 特開2005-203804 (P2005-203804A)  
 (43) 公開日 平成17年7月28日(2005.7.28)  
           審査請求日 平成19年3月22日(2007.3.22)

(73) 特許権者 000226057  
                   日亜化学工業株式会社  
                   徳島県阿南市上中町岡491番地100  
 (72) 発明者 長濱 慎一  
                   徳島県阿南市上中町岡491番地100  
                   日亜化学工業株式会社内  
           審査官 土屋 知久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

活性層が n 型層と p 型層とで挟まれた構造を有する窒化物半導体からなる端面発光型のレーザ素子において、

前記 p 型層のキャリアを集中させるストライプ領域以外の領域に電流狭窄層を有し、  
 該電流狭窄層は、イオン注入により Al を含有させて前記ストライプ領域よりもバンドギャップエネルギーを大きくした層であり、

前記電流狭窄層の下面から活性層の上面までの前記 p 型層の膜厚は、発光波長以下であることを特徴とするレーザ素子。

【請求項 2】

前記 p 型層は、p 型クラッド層と p 型コンタクト層とを有しており、前記電流狭窄層は、少なくとも p クラッド層と p 型コンタクト層との境界面よりも下方に形成されることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ素子。

【請求項 3】

前記電流狭窄層は、水平横方向の光閉じ込めを行っていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のレーザ素子。

【請求項 4】

前記電流狭窄層の上面から前記 p 型コンタクト層の上面までの距離が 0.05 μm 以上である請求項 2 又は 3 に記載のレーザ素子。

【請求項 5】

10

20

前記 p 型層は、p 型クラッド層と p 型コンタクト層とを有しており、前記電流狭窄層は、p クラッド層の上部から p 型コンタクト層の下部にかけて形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ素子。

【請求項 6】

イオン注入後にアニーリングを行うことを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ素子。

【請求項 7】

前記活性層上に上部光ガイド層を有し、電流狭窄層下部の p 型層の膜厚と上部光ガイド層の膜厚と活性層の膜厚との和が発光波長以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のレーザ素子。

【請求項 8】

前記 p 型層上のほぼ全面に正電極を有する請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のレーザ素子。

【請求項 9】

前記電流狭窄層は、前記 p 型コンタクト層の上からイオン注入されることによって形成される請求項 1 に記載のレーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

【0001】

本発明は、窒化物半導体（たとえば  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $x + y \leq 1$ ）よりなる発光素子、受光素子等の各種素子、特にレーザ素子とその製造方法に関する。

【従来の技術】

【0002】

近年、窒化物半導体（たとえば  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $x + y \leq 1$ ）よりなる発光素子、受光素子等の各種素子が注目されている。特に、窒化物半導体である  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ （ $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $x + y \leq 1$ ）を含む活性層を有する半導体からなる高輝度紫色、青色、緑色等の発光ダイオード（LED）が商品化されており、さらにこれらの色の波長域あるいは近紫外域、すなわち近紫外の発光波長 300 nm から緑色の発光波長 550 nm を有するレーザ装置の開発が望まれている。

【0003】

たとえば、短波長である近紫外から青色といった波長域のレーザ装置においては、従来の赤色半導体レーザと比較して、光記録装置の記憶密度を大きく高密度化できるという利点を有する。また、銀塩写真の印画紙等にレーザ光を照射する銀塩写真現像技術においては、光の 3 原色である青色、緑色、赤色の高輝度なレーザ装置が必要とされている。

(発明が解決しようとする課題)

【発明が解決使用とする課題】

【0004】

一般に、半導体からなる素子をレーザ発振させるためには、注入されたキャリアを特定の部分に集中させる電流狭窄を行うことによって、効率が向上すると考えられている。たとえば、窒化物半導体からなる端面発光型レーザ素子においては、電極をストライプ状に形成する、あるいは半導体層をリッジ構造とすること等によって電流狭窄を行う技術が知られている。

【0005】

しかしながら、電極をストライプ状に形成した端面発光型のレーザ素子においては、水平横方向の光を閉じ込めることができないため、レーザ発振閾値が大きいという問題点があった。また、半導体層をリッジ構造とした端面発光型のレーザ素子においては、高度な微細加工技術が必要であり、歩留まりが低く、製造コストが高くなるという問題点があった。

【0006】

そこで、本発明はレーザ発振閾値が小さく、かつ生産性の高い窒化物半導体（たとえば

10

20

30

40

50

$\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $x + y \leq 1$  ) からなる端面発光型のレーザ素子を提供することを目的とする。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明のレーザ素子は、活性層がn型層とp型層とで挟まれた構造を有する窒化物半導体からなる端面発光型のレーザ素子において、前記p型層のキャリアを集中させるストライプ領域以外の領域に電流狭窄層を有し、該電流狭窄層は、イオン注入によりAlを含有させて前記ストライプ領域よりもバンドギャップエネルギーを大きくした層であり、前記電流狭窄層の下面から活性層の上面までの前記p型層の膜厚は、発光波長以下であることを特徴とする。

10

【0009】

また、本発明のレーザ素子において、前記p型層は、p型クラッド層とp型コンタクト層とを有しており、前記電流狭窄層は、少なくともpクラッド層とp型コンタクト層との境界面よりも下方に形成される構成とする。

【0011】

また、本発明のレーザ素子において、前記電流狭窄層は、水平横方向の光閉じ込めを行っている。また、本発明のレーザ素子において、前記電流狭窄層の下部の前記p型層の膜厚が発光波長以下であることが好ましい。

【0012】

20

また、本発明のレーザ素子において、前記電流狭窄層の上面から前記p型コンタクト層の上面までの距離が0.05μm以上であることが好ましい。

前記p型層は、p型クラッド層とp型コンタクト層とを有しており、前記電流狭窄層は、pクラッド層の上部からp型コンタクト層の下部にかけて形成されていることが好ましい。

イオン注入後にアニーリングを行うことが好ましい。

前記活性層上に上部光ガイド層を有し、電流狭窄層下部のp型層の膜厚と上部光ガイド層の膜厚と活性層の膜厚との和が発光波長以下であることが好ましい。

前記p型層上のほぼ全面に正電極を有することが好ましい。

前記電流狭窄層は、前記p型コンタクト層の上からイオン注入されることによって形成されることが好ましい。

30

前記電流狭窄層はSiを含有しており、該Siの濃度は、p型層のキャリア濃度よりも高濃度であることが好ましい。

【0013】

(参考の形態1)

図1に本発明の参考の形態1における面発光型レーザ素子の概略図を示す。サファイア、あるいはスピネル等の絶縁性物質からなる基板10上に、負電極32とオーミック接触を得るための層であるn型コンタクト層11が形成される。n型コンタクト層11上にはキャリア結合によって光を発生させる活性層12が形成される。活性層12上には活性層12にキャリアを閉じ込めるためのp型クラッド層13が形成される。p型クラッド層13上には正電極31とオーミック接触を得るためのp型コンタクト層14が形成される。

40

【0014】

p型クラッド層13とp型コンタクト層14との境界近傍には、電流狭窄層15がキャリアを集中させる開口部を除いてイオン注入を行うことによって形成される。イオン注入に用いられる元素としては、Si、Geといった窒化物半導体をn型化する元素、窒化物半導体のバンドギャップエネルギーを大きくするAl、窒化物系半導体を高抵抗化するIII族元素であるB、窒化物半導体を高抵抗なp型とするp型不純物であるBe、Zn、Cd、VI族元素であるSe、Te等が挙げられる。

【0015】

50

一般に、窒化物半導体は低抵抗なp型が得られにくいことから、p型層に抵抗率の異なる層を形成したとしても、十分な電流狭窄効果が得られにくい。この理由から、窒化物半導体のバンドギャップエネルギーを大きくするAlは、イオン注入の元素として好ましい。Alは窒化物半導体（たとえば $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $x=0$ 、 $y=0$ 、 $x+y=1$ ）を形成する元素として用いられており、また、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）と比較してAl混晶比yに対するエネルギーバンドギャップの変化が大きく、十分な電流狭窄効果が得られるためである。さらに、バンドギャップエネルギーの大きい窒化物半導体は屈折率が小さく、Alのイオン注入によって、活性層12における水平方向の光を閉じ込める効果が得られることから、レーザ発振閾値を低減することができ、特に好ましい。また、この光の閉じ込め効果は、電流狭窄層15下部のp型層（p型クラッド層13およびp型コンタクト層14）の膜厚、すなわち電流狭窄層15の下面から活性層12の上面との距離が発光波長以下の場合に効果があり、電流狭窄層15下部のp型層の膜厚と活性層の膜厚との和が発光波長以下の場合に効果が大きい。

10

#### 【0016】

さらに、Siは、窒化物半導体にドーピングすることによって良好なn型が得られ、p型層において十分な電流狭窄効果が得られることから、イオン注入の元素として好ましい。Siの注入量は、p型層のキャリア濃度よりも高濃度で注入することが好ましい。Siの濃度はドーピング量によって制御できる。

#### 【0017】

p型コンタクト層14上には、活性層12において発生した光を反射する第1反射膜21が電流狭窄層15の開口部分の上方に形成される。第1反射膜21以外のp型コンタクト層14表面のほぼ全面には正電極31が形成される。

20

#### 【0018】

n型コンタクト層11上には負電極32が形成される。また、基板10の表面には、活性層12において発生した光を反射する第2反射膜22が、活性層を挟んで第1反射膜21と対向して形成される。

#### 【0019】

ここでは、電流狭窄層15をp型クラッド層13の上部からp型コンタクト層14の下部にかけて形成する例を示したが、図2に示すように電流狭窄層15をpクラッド層13とp型コンタクト層14との境界面から上方に形成してもよい。また、図3に示すように電流狭窄層15をpクラッド層13とp型コンタクト層14との境界面よりも上方に形成してもよい。以上の図1乃至3に示した電流狭窄層15の一部は少なくともp型コンタクト層14に形成される場合においては、電流狭窄層15の形成されていない所定の部分のp型コンタクト層14は膜厚 $0.5\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $0.2\mu\text{m}$ 以下に形成し、電流狭窄層15上部のp型コンタクト層の膜厚、すなわち電流狭窄層15の上面からp型コンタクト層14の上面との距離が $0.05\mu\text{m}$ 以上とすることが、キャリアの注入効率上およびリーク防止の観点から好ましい。

30

#### 【0020】

あるいは、電流狭窄層15の一部は少なくともp型クラッド層13に形成される場合の一例として図4に示すように電流狭窄層15をpクラッド層13とp型コンタクト層14との境界面から下方に形成してもよい。また、電流狭窄層15の一部は少なくともp型クラッド層13に形成される例として、電流狭窄層15を活性層12とp型クラッド層13との境界面から上方、あるいは境界面よりも上方に形成することも可能である。電流狭窄層15の一部は少なくともp型クラッド層13に形成される例としては図1の電流狭窄層15をp型クラッド層13の上部からp型コンタクト層14の下部にかけて形成する例も含まれる。

40

#### 【0021】

さらに、第2反射膜22を互いに組成比の異なる $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ を膜厚 $t/4n$ （ $n$ ：材料の屈折率）（ $t$ ：発光波長）で積層し多層膜とした場合は、図5に示すように、第2反射膜22を、基板10とn型コンタクト層11との間に形成することも可能であ

50

る。あるいは、図6に示すようにn型コンタクト層11と活性層12との間に形成してもよい。また、正電極面の光の反射が十分であれば、正電極31を第1反射膜21とすることも可能である。第1反射膜21を互いに組成比の異なる $Al_yGa_{1-y}N$ を膜厚 $\lambda/4n$ (nm)( $\lambda$ :発光波長、 $n$ :材料の屈折率)で積層し多層膜とした場合は、第1反射膜21を正電極31とp型コンタクト層14との間に形成することも可能である。さらに、電極を透光性の電極とし、その上に反射膜を形成してもよい。

(参考の形態2)

図7に本発明の参考の形態2における面発光型レーザ素子の概略図を示す。 $GaN$ 、 $SiC$ 等の導電性あるいは半導電性物質からなる基板10上に、各半導体層が形成される。基板10上に負電極32とオーミック接触を得るための層であるn型コンタクト層11が形成される。n型コンタクト層11上にはキャリア結合によって光を発生させる活性層12が形成される。活性層12上には活性層12にキャリアを閉じ込めるためのp型クラッド層13が形成される。p型クラッド層13上には正電極31とオーミック接触を得るためのp型コンタクト層14が形成される。

【0022】

p型クラッド層13とp型コンタクト層14との境界近傍には、キャリアを所定の部分に集中させる電流狭窄層15が、イオン注入によって形成される。電流狭窄層15の形成方法については実施の形態1と同様の方法が用いられる。また、電流狭窄層15の形成位置についても、参考の形態1と同様とすることができる。

【0023】

p型コンタクト層14上には、活性層12において発生した光を反射する第1反射膜21がp型コンタクト層14の中央部分に形成される。第1反射膜21以外のp型コンタクト層14表面のほぼ全面には正電極31が形成される。

【0024】

基板10の表面には、活性層12において発生した光を反射する第2反射膜22が、電流狭窄層15の開口部分に対向して形成される。第2反射膜22以外の基板10表面には負電極32が形成される。このように、第2反射膜22を基板10の表面の一部に形成した場合は、負電極32を直接基板10の表面に形成できることから、第2反射膜22を絶縁性物質から形成ができる。

【0025】

また第2反射膜22は、第1反射膜21と比較して活性層12からの距離が大きいため、第1反射膜21よりも大きな面積とすることが好ましい。さらに窒化物半導体においては、n型層はp型層と比較して十分なキャリアの拡散が行われることから、負電極32の面積は正電極よりも小さく構成することが可能である。

【0026】

さらに、第2反射膜22を互いに組成比の異なる $Al_yGa_{1-y}N$ を膜厚 $\lambda/4n$ (nm)で積層し多層膜とした場合は、図8に示すように第2反射膜22を負電極32と基板10との間に形成してもよい。また、図9示すように、第2反射膜22を基板10とn型コンタクト層11との間に形成してもよい。また、図10に示すように、第2反射膜22をn型コンタクト層11と活性層12との間に形成してもよい。さらに、電極を透光性の電極とし、その上に反射膜を形成してもよい。

【0027】

あるいは、図11に示すように、p型コンタクト層14上に第2反射膜22を互いに組成比の異なる $Al_yGa_{1-y}N$ を膜厚 $\lambda/4n$ (nm)で積層し多層膜として形成し、第2反射膜22上に正電極31を形成することも可能である。また、正電極面の光の反射が十分であれば、図12に示すように正電極31を第1反射膜21とすることも可能である。

【0028】

もちろん、基板10に絶縁性物質を用い、研磨等によって基板を除去した場合にも、基板10が省略あるいは導電性あるいは半導電性物質の補強部材と置き換えられた状態として、実施の形態2の態様を適用できる。

10

20

30

40

50

## (実施の形態 1)

図 1 3 に本発明の実施の形態 1 における端面発光型レーザ素子の概略図を示す。サファイア、あるいはスピネル等の絶縁性物質からなる基板 1 0 上に、各半導体層が形成される。基板 1 0 上に負電極 3 2 とオーミック接触を得るための層である n 型コンタクト層 1 1 が形成される。n 型コンタクト層 1 1 上には活性層 1 2 で発生した光を閉じ込める n 型クラッド層 1 1 a が形成される。n 型クラッド層 1 1 a 上には活性層 1 2 とともに光導波路を構成する下部光ガイド層 1 2 a が形成される。下部光ガイド層 1 2 a 上にはキャリア結合によって光を発生させる活性層 1 2 が形成される。活性層 1 2 上には活性層 1 2 とともに光導波路を構成する上部光ガイド層 1 2 b が形成される。上部光ガイド層 1 2 b 上には活性層 1 2 側に光およびキャリアを閉じ込めるための p 型クラッド層 1 3 が形成される。p 型クラッド層 1 3 上には正電極 3 1 とオーミック接触を得るための p 型コンタクト層 1 4 が形成される。

10

## 【0029】

p 型クラッド層 1 3 と p 型コンタクト層 1 4 との境界近傍には、図 1 4 に示されたキャリアを集中させるストライプ領域を除いてイオン注入を行うことによって電流狭窄層 1 5 が形成される。電流狭窄層 1 5 の形成方法については参考の形態 1 と同様の方法が用いられる。また、電流狭窄層 1 5 の形成位置についても、参考の形態 1 と同様とすることができる。

## 【0030】

p 型コンタクト層 1 4 上には、正電極 3 1 が形成される。また、n 型コンタクト層 1 1 上には負電極 3 2 が形成される。端面発光型レーザ素子においては、半導体層を劈開、あるいはエッチング等を用いて共振面を形成する。このとき共振面のいずれか一方、あるいは両方に、たとえば  $\text{SiO}_2$  と  $\text{TiO}_2$  からなる層をそれぞれ膜厚  $\lambda/4n$  (  $\lambda$  : 発光波長、 $n$  : 材料の屈折率 ) として 2 層以上を蒸着により積層し多層膜とした反射膜を形成してもよい。

20

## 【0031】

さらに、端面発光型のレーザ素子においても、A l のイオン注入によって、光導波路における水平横方向の光を閉じ込める効果が得られることから、レーザ発振閾値を低減することができ、特に好ましい。また、この光の閉じ込め効果は、電流狭窄層 1 5 下部の p 型層 ( p 型クラッド層 1 3 および p 型コンタクト層 1 4 ) の膜厚、すなわち電流狭窄層 1 5 の下面から活性層 1 2 の上面との距離が発光波長以下の場合に効果があり、電流狭窄層 1 5 下部の p 型層の膜厚と光ガイド層の膜厚と活性層の膜厚との和が発光波長以下の場合に効果が大きい。

30

## (実施の形態 2)

図 1 5 に本発明の実施の形態 2 における端面発光型レーザ素子の概略図を示す。Ga N、Si C 等の導電性あるいは半導電性物質からなる基板 1 0 上に、各半導体層が形成される。基板 1 0 上に負電極 3 2 とオーミック接触を得るための層である n 型コンタクト層 1 1 が形成される。n 型コンタクト層 1 1 上には活性層 1 2 で発生した光を閉じ込める n 型クラッド層 1 1 a が形成される。n 型クラッド層 1 1 a 上には活性層 1 2 とともに光導波路を構成する下部光ガイド層 1 2 a が形成される。下部光ガイド層 1 2 a 上にはキャリア結合によって光を発生させる活性層 1 2 が形成される。活性層 1 2 上には活性層 1 2 とともに光導波路を構成する上部光ガイド層 1 2 b が形成される。上部光ガイド層 1 2 b 上には活性層 1 2 側に光およびキャリアを閉じ込めるための p 型クラッド層 1 3 が形成される。p 型クラッド層 1 3 上には正電極 3 1 とオーミック接触を得るための p 型コンタクト層 1 4 が形成される。

40

## 【0032】

p 型クラッド層 1 3 と p 型コンタクト層 1 4 との境界近傍には、キャリアを所定の部分に集中させる電流狭窄層 1 5 が、イオン注入によって形成される。電流狭窄層 1 5 の形成方法については実施の形態 1 と同様の方法が用いられる。また、電流狭窄層 1 5 の形成位置についても、実施の形態 1 と同様とすることができる。

50

## 【 0 0 3 3 】

p 型コンタクト層 1 4 上には正電極 3 1 が形成される。また、n 型コンタクト層 1 1 上には負電極 3 2 が形成される。端面発光型レーザ素子においては、半導体層を劈開、あるいはエッチング等を用いて共振面を形成する。このとき共振面のいずれか一方、あるいは両方に、たとえば  $\text{SiO}_2$  と  $\text{TiO}_2$  からなる層をそれぞれ膜厚  $\lambda/4n$  (  $\lambda$  : 発光波長、 $n$  : 材料の屈折率 ) として 2 層以上を蒸着により積層し多層膜とした反射膜を形成してもよい。

## 【 0 0 3 4 】

さらに、端面発光型のレーザ素子においても、Al のイオン注入によって、光導波路における水平横方向の光を閉じ込める効果が得られることから、レーザ発振閾値を低減することができ、特に好ましい。また、この光の閉じ込め効果は、電流狭窄層 1 5 下部の p 型層 ( p 型クラッド層 1 3 および p 型コンタクト層 1 4 ) の膜厚、すなわち電流狭窄層 1 5 の下面から活性層 1 2 の上面との距離が発光波長以下の場合に効果があり、電流狭窄層 1 5 下部の p 型層の膜厚と光ガイド層の膜厚と活性層の膜厚との和が発光波長以下の場合に効果が大きい。

## 【 0 0 3 5 】

## [ 実施例 ]

## ( 参考例 1 )

参考例 1 は図 1 の構造のレーザ素子を得る例を示しており、図 1 を元に説明する。まずサファイア基板 1 0 の C 面 ( 0 0 0 1 ) 上に低温で成長させた GaN よりなるバッファ層 ( 図示せず ) を 200 ~ 300 の膜厚で成長させる。このバッファ層上に、バッファ層の成長温度よりも高温で成長させた GaN 層を形成し、その上にストライプ幅 10  $\mu\text{m}$ 、ストライプ間隔 ( 窓部 ) 2  $\mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  膜を形成し、さらにその上に GaN 層を成長させて形成し、下地層としてもよい。

## 【 0 0 3 6 】

次に、バッファ層または下地層上に Si を  $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした n 型 GaN よりなる n 型コンタクト層 1 1 を 4  $\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。次に Si をドープした n 型  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  よりなる活性層 1 2 を 0.1  $\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。このとき n 型コンタクト層 1 1 と活性層 1 2 との間に Si をドープした n 型  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる n 型クラッド層を 0.2  $\mu\text{m}$  の膜厚で成長させてもよい。また、ここでは活性層 1 2 を単一井戸構造として形成する例を示したが、膜厚 30 の  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  / 膜厚 50 の  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  を 1 層 ~ 10 層積層した単一あるいは多重量子井戸構造として形成してもよい。このとき、最初の  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  の下には  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層が形成されることが好ましい。さらに、活性層の組成比  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( 0 < x < 1 ) は所望の発光波長等によって適宜選択可能である。

## 【 0 0 3 7 】

次に Mg を  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした p 型  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  層よりなる p 型クラッド層 1 3 を 200 ~ 0.6  $\mu\text{m}$  で成長させる。この p 型クラッド層 1 3 は、ノンドープ  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  からなる膜厚 25 の層と、Mg を  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  からなる膜厚 25 の層とから構成される総膜厚 0.6  $\mu\text{m}$  の超格子層として形成してもよい。次に Mg を  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした GaN よりなる p 型コンタクト層 1 4 を成長させる。

## 【 0 0 3 8 】

p 型コンタクト層 1 4 成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、p 型コンタクト層 1 4 の所定の部分を Si 酸化物またはレジスト等からなるたとえば 10  $\mu\text{m}$  の形状のマスクによって覆い、イオン注入装置を用いて、p クラッド層 1 3 の上部から p 型コンタクト層 1 4 の下部の深さにかけてイオン注入を行い、マスク部分を開口部とした電流狭窄層 1 5 を形成する。このイオン注入の深さは注入エネルギーによって制御できる。このときイオン注入に用いられる元素としては、Si、Ge といった窒化物半導体を n 型化する元素、窒化物半導体のバンドギャップエネルギーを大きくする Al、窒化物系半導体を高抵抗

10

20

30

40

50

化するIII族元素であるB、窒化物半導体を高抵抗なp型とするp型不純物であるBe、Zn、Cd、VI族元素であるSe、Te等が挙げられる。

【0039】

特に、Alは窒化物半導体（たとえば $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $x=0$ 、 $y=0$ 、 $x+y=1$ ）を形成する元素として用いられており、また、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 < x < 1$ ）に対して十分なバンドギャップエネルギー差が得られ、電流狭窄効果が大きいことから、イオン注入の元素としてより好ましい。さらに、p型クラッド層を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ （ $0 < y < 1$ ）として形成した場合、Alをイオン注入の元素としてp型クラッド層の領域に注入し、電流狭窄層を形成することが好ましい。少ないAlの注入量で、p型コンタクト層14に対して大きなバンドギャップエネルギー差となり、十分な電流狭窄効果が得られるからである。また、活性層における水平方向の光を閉じ込める効果に対しても有効である。また、この光の閉じ込め効果は、電流狭窄層15下部のp型層（p型クラッド層13およびp型コンタクト層14）の膜厚が発光波長以下の場合に効果が大きい。

10

【0040】

また、Siは、窒化物半導体にドーピングすることによって良好なn型が得られ、p型層において十分な電流狭窄効果があることから、イオン注入の元素として好ましい。Siの注入量は、p型層のキャリア濃度よりも高濃度、たとえば $1.0 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上で注入することが好ましい。Siの濃度はドーズ量によって制御できる。

【0041】

イオン注入後は、イオン注入によるダメージの回復のためにアニーリングを行う。電流狭窄層に注入した元素の拡散防止のため、このダメージの回復のアニーリングののちに行われる電極形成後のアニーリングをランプアニーリング等の高速アニーリングとすることが好ましい。また、このダメージの回復のためのアニーリングは電極形成後のアニーリングによって代用することも可能である。この場合も同様に、電流狭窄層に注入した元素の拡散が防止できる。

20

【0042】

その後、p型コンタクト層14のほぼ全面に $\text{SiO}_2$ と $\text{TiO}_2$ からなる層をそれぞれ膜厚 $t/4$ として2層以上蒸着により積層し多層膜とし、フォトリソグラフィ技術を用いて、電流狭窄層15の開口部分の上方に多層膜を所定の形状にして第1反射鏡21を形成する。この第1反射鏡21は電流狭窄層15の開口部よりもやや大きめに形成することが好ましい。

30

【0043】

一方、サファイア基板10側にも $\text{SiO}_2$ と $\text{TiO}_2$ からなる層をそれぞれ膜厚 $t/4$ として2層以上蒸着により積層し多層膜とし、第2反射鏡22を形成する。

【0044】

次にエッチングを行い、負電極32を形成すべきn型コンタクト層11を露出させ、たとえばTi/Alからなる負電極32を形成する。また、第1反射膜21が形成されている以外のp型コンタクト層14表面のほぼ全面にも、たとえばNi/Auからなる正電極を形成する。そして、チップ状に分離することにより図1に示すような構造のレーザ素子を得ることができる。

40

【0045】

本参考例では、電流狭窄層15をpクラッド層13の上部からp型コンタクト層14の下部にかけて形成する例を示したが、実施の形態1において述べた位置に形成してもよい。ただし、電流狭窄層15の形成されていない所定の部分のp型コンタクト層14は膜厚 $0.5 \mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $0.2 \mu\text{m}$ 以下に形成し、電流狭窄層15上部のp型コンタクト層の膜厚、すなわち電柱狭窄層15の上面からp型コンタクト層14の上面との距離が $0.05 \mu\text{m}$ 以上とすることが、キャリアの注入効率上およびリーク防止の観点から好ましい。あるいは、図4に示すように電流狭窄層15をpクラッド層13とp型コンタクト層14との境界面から下方に形成することも可能である。特に、イオン注入の元素としてAlを用いた場合は、少なくとも電流狭窄層15の一部をpクラッド層13とp型

50



コンタクト層 14 との境界面よりも下方に形成することによって、活性層 12 における水平方向の光を閉じ込める効果を高めることができることからより好ましい。これら電流狭窄層 15 の形成深さは、イオン注入の注入エネルギーによって制御できる。

#### 【0046】

また、本参考例 1 の第 2 反射膜 22 を、互いに組成比の異なる  $Al_yGa_{1-y}N$  ( $0 < y < 1$ ) をそれぞれ膜厚  $\lambda/4n$  ( $\lambda$ : 発光波長、 $n$ : 材料の屈折率) となるように交互に積層して多層膜とし、第 2 反射膜 22 を形成することによって、図 5 に示すように、第 2 反射膜 22 を、基板 10 と n 型コンタクト層 11 との間に形成することも可能である。あるいは、図 6 に示すように n 型コンタクト層 11 と活性層 12 との間に形成してもよい。さらに、電極を透光性の電極とし、その上に反射膜を形成してもよい。

10

#### (参考例 2)

参考例 2 は図 7 の構造のレーザ素子を得る例を示しており、図 1 を元に説明する。まず SiC または GaN 等の基板 10 上に、参考例 1 と同様にして、各半導体層 11 ~ 14 を形成し、イオン注入によって電流狭窄層 15 を形成する。GaN 基板の場合は特に下地層を必要としない。

#### 【0047】

その後、p 型コンタクト層 14 のほぼ全面に  $SiO_2$  と  $TiO_2$  からなる層をそれぞれ膜厚  $\lambda/4n$  として 2 層以上蒸着により積層し多層膜とし、フォトリソグラフィ技術を用いて、電流狭窄層 15 の開口部分の上方に多層膜を所定の形状にして第 1 反射鏡 21 を形成する。この第 1 反射鏡 21 は電流狭窄層 15 の開口部よりもやや大きめに形成することが好ましい。

20

#### 【0048】

同様に、基板 10 側にも基板 10 のほぼ全面に  $SiO_2$  と  $TiO_2$  からなる層をそれぞれ膜厚  $\lambda/4n$  ( $\lambda$ : 発光波長、 $n$ : 材料の屈折率) として 2 層以上蒸着により積層し多層膜とし、活性層 12 を挟んで電流狭窄層 15 の開口部分に対向した位置に多層膜を所定の形状で第 2 反射鏡 22 を形成する。この第 2 反射鏡 22 は電流狭窄層 15 の開口部よりも少なくとも大きく形成する。

#### 【0049】

そして、第 2 反射膜 22 が形成された以外の基板 10 の表面に、たとえば  $Ti/Al$  からなる負電極 32 を形成する。また、第 1 反射膜 21 が形成されている以外の p 型コンタクト層 14 の表面にも、たとえば  $Ni/Au$  からなる正電極を形成する。そして、チップ状に分離することにより図 7 に示すような構造のレーザ素子を得ることができる。

30

#### 【0050】

さらに、第 2 反射膜 22 を互いに組成比の異なる  $Al_yGa_{1-y}N$  ( $0 < y < 1$ ) をそれぞれ膜厚  $\lambda/4n$  となるように交互に積層して多層膜とした場合は、図 8 に示すように第 2 反射膜 22 を負電極 32 と基板 10 との間に形成することも可能である。また、図 9 に示すように、第 2 反射膜 22 を基板 10 と n 型コンタクト層 11 との間に形成してもよい。また、図 10 に示すように、第 2 反射膜 22 を n 型コンタクト層 11 と活性層 12 との間に形成してもよい。

#### 【0051】

40

あるいは、図 11 に示すように、p 型コンタクト層 14 上に第 2 反射膜 22 を互いに組成比の異なる  $Al_yGa_{1-y}N$  ( $0 < y < 1$ ) を膜厚  $\lambda/4n$  ( $n$  nm) で積層し多層膜として形成し、第 2 反射膜 22 上に正電極 31 を形成することも可能である。また、正電極面の光の反射が十分であれば、図 12 に示すように第 1 反射膜 21 を省略することも可能である。さらに、電極を透光性の電極とし、その上に反射膜を形成してもよい。

#### (実施例 1)

実施例 1 は図 13 の構造のレーザ素子を得る例を示しており、図 13 を元に説明する。まずサファイア基板 10 の C 面 (0001) 上に GaN よりなるバッファ層 (図示せず) を 3000 Å の膜厚で成長させる。実施例 1 と同様にバッファ層上に下地層を形成してもよい。バッファ層または下地層上に Si をドーピングした n 型 GaN よりなる n

50

型コンタクト層 11 を  $4\ \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。次に、 $n$  型コンタクト層 11 上に  $\text{Si}$  をドーピングした  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる  $n$  型クラッド層 11a を  $0.2\ \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。次に、 $n$  型クラッド層 11a 上に、活性層 12 と同程度の光屈折率を示す下部光ガイド層 12a を形成する。下部光ガイド層 12a は、たとえばノンドープ  $\text{Ga}\text{N}$  あるいは活性層 12 の  $\text{In}$  混晶比  $x$  よりも混晶比の少ない  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) を  $200 \sim 1\ \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。この下部光ガイド層 12a は  $\text{Si}$  をドーピングし  $n$  型としてもよい。

#### 【0052】

次に  $\text{Si}$  をドーピングした  $n$  型  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  よりなる活性層 12 を  $0.1\ \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。また、ここでは活性層 12 を単一井戸構造として形成する例を示したが、膜厚  $30\ \text{\AA}$  の  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  / 膜厚  $50\ \text{\AA}$  の  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  を 1 層  $\sim$  10 層積層した単一あるいは多重量子井戸構造として形成してもよい。このとき、最初の  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  の下には  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層が形成されることが好ましい。さらに、活性層の組成比  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) は所望の発光波長等によって適宜選択可能である。

#### 【0053】

次に、活性層 12 上に、活性層 12 と同程度の光屈折率を示す上部光ガイド層 12b を形成する。上部光ガイド層 12b は、たとえばノンドープ  $\text{Ga}\text{N}$  あるいは活性層 12 の  $\text{In}$  混晶比よりも混晶比の少ない  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) を  $200 \sim 1\ \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。この上部光ガイド層 12b は  $\text{Mg}$  をドーピングし  $p$  型としてもよい。次に  $\text{Mg}$  をドーピングした  $p$  型  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  層よりなる  $p$  型クラッド層 13 を  $0.2\ \mu\text{m}$  で成長させる。次に  $\text{Mg}$  ドープ  $\text{Ga}\text{N}$  よりなる  $p$  型コンタクト層 14 を成長させる。

#### 【0054】

次に、 $p$  型コンタクト層 14 成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、 $p$  型コンタクト層 14 の所定の部分を、 $\text{Si}$  酸化膜またはレジスト等からなるたとえば幅  $10\ \mu\text{m}$  のストライプ状のマスクによって図 14 のように覆い、イオン注入装置を用いて、 $p$  クラッド層 13 の上部から  $p$  型コンタクト層 14 の下部の深さにかけてイオン注入を行い、マスク部分をストライプ領域とした電流狭窄層 15 を形成する。このイオン注入は、参考例 1 と同様に行われる。電流狭窄層 15 の形成位置についても、参考例 1 と同様に適宜選択可能である。さらに端面発光型のレーザ素子においても、イオン注入の元素として  $\text{Al}$  を用いた場合は、少なくとも電流狭窄層 15 の一部を  $p$  クラッド層 13 と  $p$  型コンタクト層 14 との境界面よりも下方に形成することによって、光導波路における水平横方向の光を閉じ込める効果を高めることができることからより好ましい。また、この光の閉じ込め効果は、電流狭窄層 15 下部の  $p$  型層 ( $p$  型クラッド層 13 および  $p$  型コンタクト層 14) の膜厚、すなわち電流狭窄層 15 の下面から活性層 12 の上面との距離が発光波長以下の場合に効果があり、電流狭窄層 15 下部の  $p$  型層の膜厚と光ガイド層の膜厚と活性層の膜厚との和が発光波長以下の場合に効果が大きい。

#### 【0055】

その後、エッチングを行い、負電極 32 を形成すべき  $n$  型コンタクト層 11 を露出させ、たとえば  $\text{Ti} / \text{Al}$  からなる負電極 32 を形成する。また、 $p$  型コンタクト層 14 上のほぼ全面にも、たとえば  $\text{Ni} / \text{Au}$  からなる正電極 31 を形成する。

#### 【0056】

そして、 $p$  型層が残された半導体領域を、ストライプの幅方向の半導体層の端面が光共振面となるように劈開、あるいはエッチングを行い、チップ状に分離する。この光共振面には、必要に応じて両光共振面あるいはいずれか一方に、 $\text{SiO}_2$  と  $\text{TiO}_2$  からなる層をそれぞれ膜厚  $\lambda / 4n$  として 2 層以上蒸着により積層し多層膜とし、反射膜を形成してもよい。

#### (実施例 2)

実施例 2 は図 15 の構造のレーザ素子を得る例を示しており、図 15 を元に説明する。まず  $\text{Ga}\text{N}$  基板 10 上に、実施例 1 と同様にして、各半導体層 11  $\sim$  14 を形成し、イオン注入によって電流狭窄層 15 を形成する。

## 【 0 0 5 7 】

その後、基板 1 0 の表面のほぼ全面に、たとえば  $Ti / Al$  からなる負電極 3 2 を形成する。また、 $p$  型コンタクト層 1 4 上のほぼ全面にも、たとえば  $Ni / Au$  からなる正電極 3 1 を形成する。

## 【 0 0 5 8 】

そして、ストライプの幅方向の半導体層の端面が光共振面となるように劈開、あるいはエッチングを行い、チップ状に分離する。この光共振面には、必要に応じて両光共振面あるいはいずれか一方に、 $SiO_2$  と  $TiO_2$  からなる層をそれぞれ膜厚  $\lambda / 4n$  として 2 層以上蒸着により積層し多層膜とし、反射膜を形成してもよい。

## 【 発明の効果 】

10

## 【 0 0 5 9 】

以上述べた通り、本発明によって レーザ発振閾値が小さく、かつ生産性の高い窒化物半導体（たとえば  $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $x + y = 1$ ）からなる端面発光型のレーザ素子を提供することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 6 0 】

【 図 1 】 本発明の参考の形態 1 における面発光型レーザ素子の概略図である。

【 図 2 】 本発明の参考の形態 1 における面発光型レーザ素子の電流狭窄層形成位置の変形例に関する概略図である。

【 図 3 】 本発明の参考の形態 1 における面発光型レーザ素子の電流狭窄層形成位置の変形例に関する概略図である。

20

【 図 4 】 本発明の参考の形態 1 における面発光型レーザ素子の電流狭窄層形成位置の変形例に関する概略図である。

【 図 5 】 本発明の参考の形態 1 における面発光型レーザ素子の第 2 反射膜形成位置の変形例に関する概略図である。

【 図 6 】 本発明の参考の形態 1 における面発光型レーザ素子の第 2 反射膜形成位置の変形例に関する概略図である。

【 図 7 】 本発明の参考の形態 2 における面発光型レーザ素子の概略図である。

【 図 8 】 本発明の参考の形態 2 における面発光型レーザ素子の第 2 反射膜形成位置の変形例に関する概略図である。

30

【 図 9 】 本発明の参考の形態 2 における面発光型レーザ素子の第 2 反射膜形成位置の変形例に関する概略図である。

【 図 1 0 】 本発明の参考の形態 2 における面発光型レーザ素子の第 2 反射膜形成位置の変形例に関する概略図である。

【 図 1 1 】 本発明の参考の形態 2 における面発光型レーザ素子の第 1 反射膜形成位置の変形例に関する概略図である。

【 図 1 2 】 本発明の参考の形態 2 における面発光型レーザ素子の第 1 反射膜の変形例に関する概略図である。

【 図 1 3 】 本発明の実施の形態 1 における端面発光型レーザ素子の概略図である。

【 図 1 4 】 本発明の実施の形態 1 における端面発光型レーザ素子を  $p$  型層側から見た概略図である。

40

【 図 1 5 】 本発明の実施の形態 2 における端面発光型レーザ素子の概略図である。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 6 1 】

1 0 . . . 基板

1 1 . . .  $n$  型コンタクト層

1 1 a . . .  $n$  型クラッド層

1 2 . . . 活性層

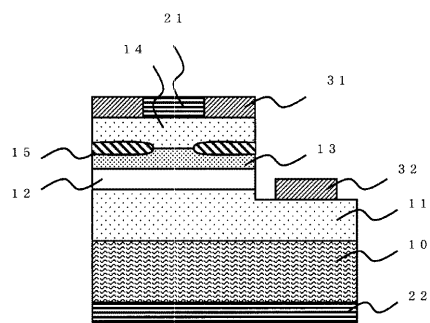
1 2 a . . . 下部光ガイド層

1 2 b . . . 上部光ガイド層

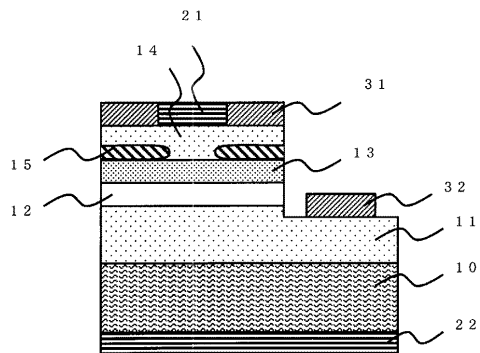
50

- 1 3 . . . p 型クラッド層
- 1 4 . . . p 型コンタクト層
- 1 5 . . . 電流狭窄層
- 2 1 . . . 第 1 反射膜
- 2 2 . . . 第 2 反射膜
- 3 1 . . . 正電極
- 3 2 . . . 負電極

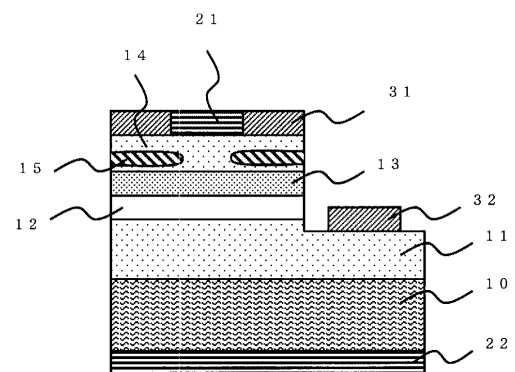
【図 1】



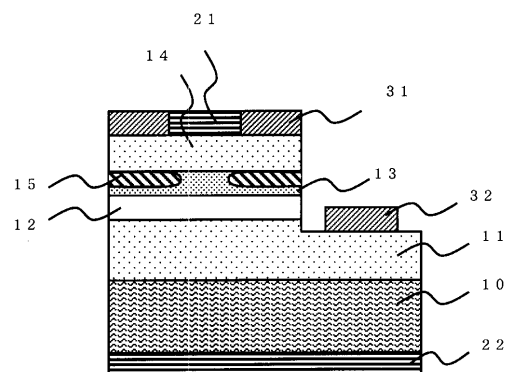
【図 2】



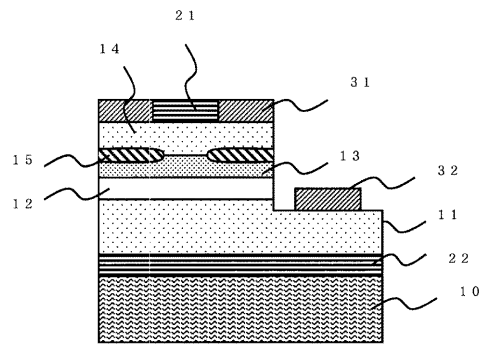
【図 3】



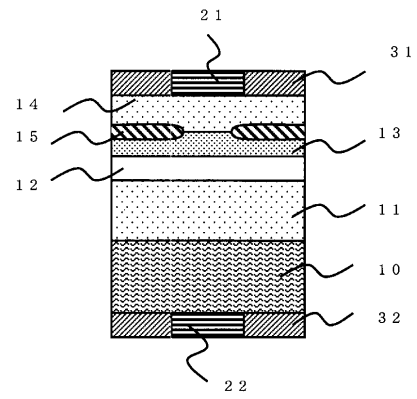
【図 4】



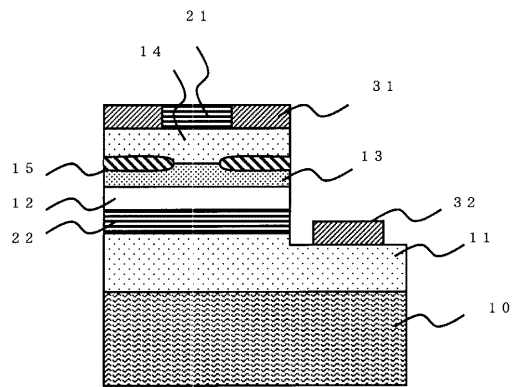
【図 5】



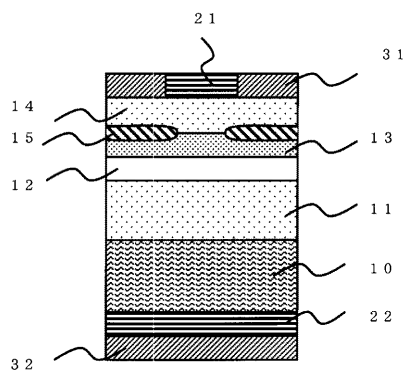
【図 7】



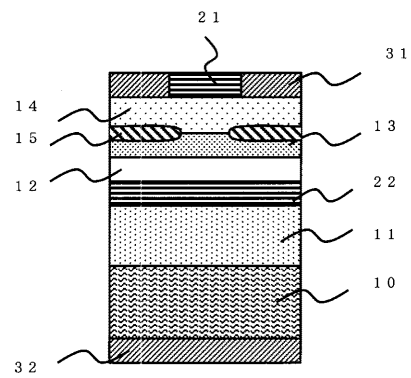
【図 6】



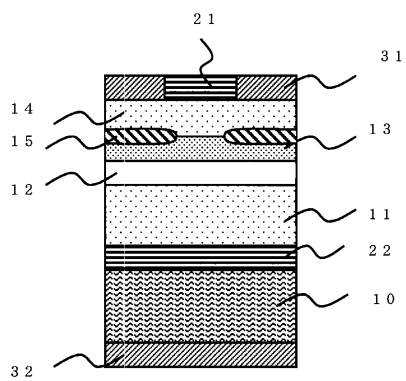
【図 8】



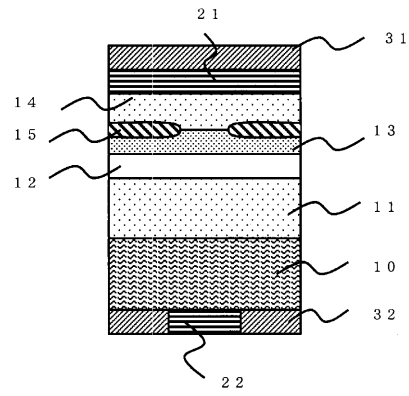
【図 10】



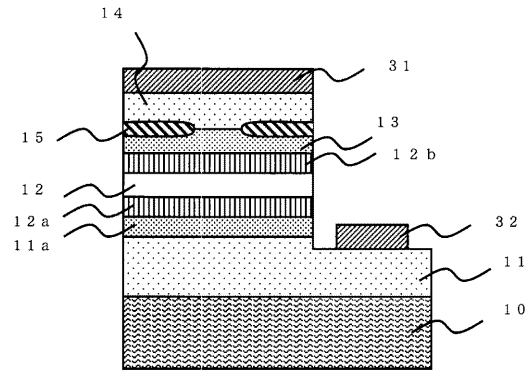
【図 9】



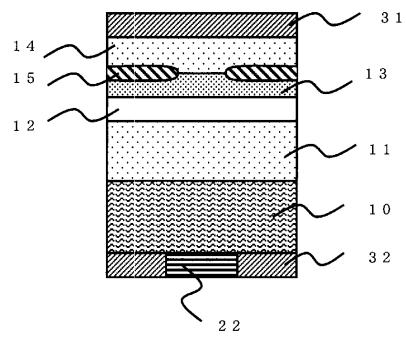
【図 1 1】



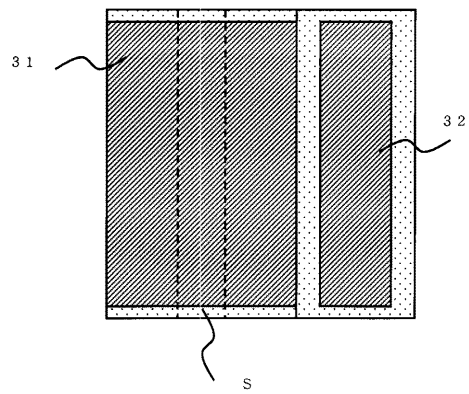
【図 1 3】



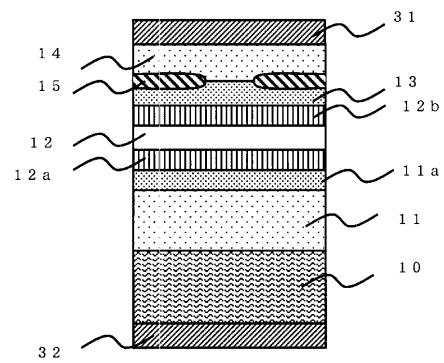
【図 1 2】



【図 1 4】



【図 1 5】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 0 9 - 2 4 6 6 7 0 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 2 1 4 8 0 0 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 2 6 1 1 6 0 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 1 8 6 6 0 0 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 1 8 6 6 0 7 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 S      5 / 0 0 -    5 / 5 0