(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3593441号
(P3593441)
(45)発行日　平成16年11月24日(2004.11.24)　(24)登録日　平成16年9月3日(2004.9.3)

(51)Int.Cl.[7]　F I
H01S 5/323　H01S 5/323 610
H01L 33/00　H01L 33/00 C

請求項の数 7　(全 17 頁)

(21)出願番号　特願平9-206279
(22)出願日　平成9年7月31日(1997.7.31)
(65)公開番号　特開平10-154851
(43)公開日　平成10年6月9日(1998.6.9)
審査請求日　平成13年3月23日(2001.3.23)
(31)優先権主張番号　特願平8-254960
(32)優先日　平成8年9月26日(1996.9.26)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目１番１号
(74)代理人　100064285
弁理士　佐藤　一雄
(74)代理人　100073379
弁理士　佐藤　政光
(74)代理人　100088889
弁理士　橘谷　英俊
(74)代理人　100108062
弁理士　日向寺　雅彦
(72)発明者　斎　藤　真　司
神奈川県川崎市幸区小向東芝町１　株式会社東芝　研究開発センター内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】窒化物系化合物半導体発光素子およびその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

基板と、基板上に形成された第１のコンタクト層と、この第１のコンタクト層上に形成された電流狭窄層と、この電流狭窄層上に形成された窒化物系化合物半導体からなる発光層と、この発光層上に形成された第２のコンタクト層と、前記第１のコンタクト層および第２のコンタクト層に接触するように形成された第１および第２の電極とを備え、

前記電流狭窄層は、その側面が前記発光層の側面に対して内部に後退し、前記基板と前記発光層の側面との間に凹部が形成され、

前記発光層の対向する側面の一部分を光反射面とした共振器によりレーザ光を放出し、前記発光層の光出射側の側面は、前記レーザ光が最も強く出射される部分を含む前記窒化物系化合物半導体のへき開面と、前記へき開面の両側に配置され前記へき開面に対して傾斜する傾斜面とを有することを特徴とする窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項２】

基板と、前記基板上に形成された中間層と、前記中間層の上に形成された窒化物系化合物半導体からなる第１のクラッド層と、前記第１のクラッド層の上に形成された窒化物系化合物半導体からなる活性層と、前記活性層の上に形成された窒化物系化合物半導体からなる第２のクラッド層と、を少なくとも備えた窒化物系化合物半導体発光素子であって、

前記発光素子の光出射側の側面において、前記中間層の側面が前記活性層の側面よりも素子の内部に後退し、前記基板と前記活性層の側面との間に凹部が形成され、

前記発光素子は、前記活性層の対向する側面の一部分を光反射面とした共振器によりレ

ーザ光を放出し、
　前記発光素子の光出射側の側面は、前記レーザ光が最も強く出射される部分を含む前記窒化物系化合物半導体のへき開面と、前記へき開面の両側に配置され前記へき開面に対して傾斜する傾斜面とを有することを特徴とする窒化物系化合物半導体発光素子。
【請求項３】
前記中間層は、ＡｌＮ、ＡｌＧａＮ、ＩｎＡｌＧａＮ、ＺｎＯ、およびＩｎＧａＮからなる群から選択された材料からなることを特徴とする請求項２記載の窒化物系化合物半導体発光素子。
【請求項４】
前記発光素子の光出射側の側面の前記傾斜面は、前記レーザ光の波長における反射率が前記へき開面の前記レーザ光の波長における反射率よりも相対的に小さいことを特徴とする請求項１～３のいずれかに１つに記載の窒化物系化合物半導体発光素子。
【請求項５】
単一の光共振器とレーザ光が放出されるへき開面とを有する窒化物系化合物半導体発光素子の製造方法であって、
基板上に第１のコンタクト層を形成する工程と、
前記第１のコンタクト層上に電流狭窄層を形成する工程と、
前記電流狭窄層上に窒化物系化合物半導体からなる活性層を形成する工程と、
前記活性層上に第２のコンタクト層を形成する工程と、
メサ型の積層構造体を形成するために、前記第２のコンタクト層と前記活性層と前記電流狭窄層とをマスクを用いて前記第１のコンタクト層が露出するまでエッチングする工程と、
前記第１のコンタクト層に接触する第１の電極を形成する工程と、
前記第２のコンタクト層に接触する第２の電極を形成する工程と、
ダイシングにより素子単位に分離する工程と、
前記分離された素子を台座に設置した後、前記電流狭窄層を前記メサ型の積層構造体の側面周囲から選択エッチングし、前記光共振器に電流が狭窄されるように前記レーザ光に対して平行な前記メサ型積層構造体の側面に凹部を形成するとともに、前記レーザ光に対して垂直な前記メサ型積層体の側面にも凹部を形成する工程と、
前記へき開面を形成するために、前記凹部が形成された積層体に外力を印加することにより前記レーザ光に対して垂直な方向のリセスの上に突出した前記活性層を含む前記メサ型積層構造体の上側端部をへき開する工程と、
を備えたことを特徴とする窒化物系化合物半導体発光素子の製造方法。
【請求項６】
レーザ光が放出されるへき開面を有する窒化物系化合物半導体発光素子の製造方法であって、
中間層と、第１の窒化物系化合物半導体からなる第１のクラッド層と、第２の窒化物系化合物半導体からなる活性層と、第３の窒化物系化合物半導体からなる第２のクラッド層と、を有する積層体を基板上に堆積する工程と、
前記積層体の上に、前記第２の窒化物系化合物半導体の自然へき開面に沿って応力を集中させる、前記へき開面に対して前記積層体側に傾斜した傾斜面を備えた少なくともひとつのくさび型のノッチを有するエッチングマスクを形成する工程と、
前記エッチングマスクを介して、前記基板に対して垂直方向に前記中間層の側面が露出するまでエッチングすることによりメサ型の積層構造体を形成する第１のエッチング工程と、
前記第１のエッチング工程により露出した前記中間層の前記側面を選択的にエッチングすることにより凹部を形成する第２のエッチング工程と、
前記凹部の上に突出した前記活性層を含む前記メサ型積層構造体の部分を前記くさび型のノッチの先端付近においてへき開により除去して前記へき開面を形成する工程と、
を備えたことを特徴とする窒化物系化合物半導体発光素子の製造方法。

【請求項７】
前記エッチングマスクは、前記活性層を構成する前記第２の窒化物系化合物半導体の自然へき開面に沿って応力を集中させるための対向した一対のくさび型のノッチを有し、前記活性層を構成する前記第２の前記窒化物系化合物半導体は前記ノッチの底を結んだ直線に沿ってへき開されるようにしたことを特徴とする請求項６記載の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は窒化物系化合物半導体材料を用いた半導体光発光素子に関し、特に、ＧａＮ、ＡｌＧａＮ、ＩｎＧａＮなどの窒化物系化合物半導体からなる窒化物系化合物半導体発光素子およびその製造方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
近年、家庭電化製品、ＯＡ機器、通信機器、工業計測器などさまざまな分野で半導体レーザが用いられている。中でも多くの分野で用いられることになるであろうと予想される高密度光ディスク記録等への応用を目的として短波長の半導体レーザの開発が注力されている。現在は赤色半導体レーザが用いられており、それまでの赤外半導体レーザに比べ記録密度が向上した。しかし、次世代の光ディスク記録等への応用には欠陥の低減が困難で、動作電圧が高いなど材料的な問題が数多く存在する。また、発振波長は短いものでも４６０ｎｍ程度であり、システムから要求される４２０ｎｍ台での発振は物性からいって困難である。
【０００３】
一方、ＧａＮを含む窒化物系半導体レーザは、原理的には３５０ｎｍ以下までの短波長化が可能であり、４００ｎｍでの発振動作が報告されている。信頼性に関しても、ＬＥＤにおいて１万時間以上の信頼性が確認されている。このように窒化物半導体系は材料的に次世代の光ディスク記録用光源として必要な条件を満たす優れた特性を持つ材料である。
【０００４】
【発明が解決しようとする課題】
ここで、レーザ発振動作には共振器が必要となる。通常の半導体レーザでは自然へき開面を用いてミラーを形成し共振器を形成している。これは立方晶型のせん亜鉛構造において、［０１１］あるいは［０－１１］方向に結合エネルギーの小さな面、つまりへき開面が存在することを利用したものである。窒化物半導体系においては、前述のような立方晶型と六方晶型とが存在し、サファイヤ上に成長する六方晶型結晶が現在のところ、最も良好な結晶が得られているが、残念ながら、六方晶型には通常の半導体レーザ形成時に用いる自然へき開面のモードは明確には存在しないため、サファイヤのへき開面に誘導され、その方向で窒化物半導体も割れてしまうことにより共振器ミラー形成が非常に困難で、素子製造プロセスの歩留まりが低いという問題も生じていた。
【０００５】
また、高出力での動作では共振器ミラーが突然劣化するといった問題があり、また動作時の発熱により基板との間に歪みが生じ、転位が増殖して端面が劣化するといった問題点も指摘されていた.
また、光記録用ディスクの光源として用いる場合には、レーザのスポットを絞るために横モードを制御し、基本モードのみで発振させることが必要である。これは記録時に用いる高出力のレーザでも制御しなければならないが困難であるという問題があった。
【０００６】
このように、従来の窒化物系半導体発光素子では、共振器ミラー形成が非常に困難である、信頼性に問題がある、横モード制御が困難である、といった数々の問題点があった。
【０００７】
本発明は係る問題点に鑑みてなされたものである。すなわち、その目的は、簡単な工程で良好なへき開面を形成することができる窒化物系化合物半導体発光素子およびその製造方

法を提供することにある。
【０００８】
【課題を解決するための手段】
本発明の骨子は、基板のへき開性に影響を受けずに発光層のへき開をおこなって共振器ミラーを形成し、端面の一部を基板から分離することにより基板からの歪みを受けづらくし歪みによる劣化を防止し、出射端面の一部の反射率を低くすること及び端面の一部を共振器として成り立たないように反対の面とが平行でない様にすることにより横モードを制御し、光記録ディスク用光源としての性能を向上することにある。
【０００９】
さらに具体的には、本発明の窒化物系化合物半導体発光素子は基板上に形成された第１のコンタクト層と、この第１のコンタクト層上に積層形成された電流狭窄層と、この電流狭窄層上に積層形成された窒素を含む化合物からなる発光層と、この発光層上に積層形成された第２のコンタクト層と、前記第１のコンタクト層および第２のコンタクト層に接触するように形成された第１および第２の電極とを備え、前記電流狭窄層はその側面が前記発光層の側面に対して内部に後退し、前記基板と前記発光層の側面との間に凹部が形成されていることを特徴とするものである。
【００１０】
また、本発明の窒化物系化合物半導体発光素子は、前記電流狭窄層の側面により形成される凹部を含む前記発光層の側面は絶縁物により被覆されている。
【００１１】
あるいは、本発明の窒化物系化合物半導体発光素子は、基板と、前記基板上に堆積された中間層と、前記中間層の上に堆積された窒化物系化合物半導体からなる第１のクラッド層と、前記第１のクラッド層の上に堆積された窒化物系化合物半導体からなる活性層と、前記活性層の上に堆積された窒化物系化合物半導体からなる第２のクラッド層と、を少なくとも備えた窒化物系化合物半導体発光素子であって、前記発光素子の光出射側の側面において、前記中間層の側面が前記活性層の側面よりも素子の内部に後退し、前記基板と前記活性層の側面との間に凹部が形成されていることを特徴とするものして構成される。
【００１２】
ここで、中間層は、ＡｌＮ、ＡｌＧａＮ、ＩｎＡｌＧａＮ、ＺｎＯ、およびＩｎＧａＮのうちのいずれかを用いることが望ましい。
【００１３】
また、前記発光素子は、前記活性層の対向する側面の一部分を光反射面とした共振器によりレーザ光を放出するものとして構成され、前記発光素子の光出射側の側面は、さらに、前記レーザ光の強度が最も強く出射される部分を含む前記窒化物系化合物半導体のへき開面と、前記へき開面の両側に配置され、前記レーザ光の波長における反射率が前記へき開面の前記レーザ光の波長における反射率よりも相対的に小さい面とを有することを特徴として構成することができる。
【００１４】
さらに、前記発光素子の光出射側の側面は、前記レーザ光の強度が最も強く出射される部分を含む前記窒化物系化合物半導体のへき開面と、前記へき開面の両側に配置され前記へき開面に対して傾斜を有する傾斜面とを有することを特徴として構成することができる。
【００１５】
また、本発明の窒化物系化合物半導体発光素子の製造方法は、基板上に第１のコンタクト層を形成する工程と、この第１のコンタクト層上に電流狭窄層を積層形成する工程と、この電流狭窄層上に窒素を含む化合物からなる発光層を積層形成する工程と、この発光層上に第２のコンタクト層を積層形成する工程と、前記第１のコンタクト層および第２のコンタクト層にそれぞれ接触する第１および第２の電極を形成する工程と、前記第１のコンタクト層から前記第２のコンタクト層に至る積層体をマスクを用いてエッチングしてメサ型の積層体を形成する工程と、このメサ型の積層体が形成された前記基板をダイシングにより素子単位に分離する工程と、この分離された素子を台座に設置した後、エッチング液に

浸して前記電流狭窄層をその側面周囲から選択エッチングし、前記メサ型の積層体側面に凹部を形成する工程と、この凹部が形成された積層体に外力を印加してへき開する工程と、を備えたことを特徴として構成される。

【００１６】

あるいは、基板上に中間層を堆積する工程と、前記中間層の上に、窒化物系化合物半導体からなる第１のクラッド層と、窒化物系化合物半導体からなる活性層と、窒化物系化合物半導体からなる第２のクラッド層を堆積する工程と、前記第２のクラッド層の上にエッチングマスクを形成する工程と、前記エッチングマスクを介して、前記中間層の側面が露出するまで、前記基板に対して略垂直方向にエッチングする第１のエッチング工程と、前記第１のエッチング工程により露出した前記中間層の側面を選択的にエッチングすることにより凹部を形成する第２のエッチング工程と、前記凹部の上に突出した前記活性層を含む半導体層部分をへき開により除去して半導体レーザの端面を形成する工程と、を備えたことを特徴として構成される。

【００１７】

ここで、前記エッチングマスクは、前記活性層を構成する前記窒化物系化合物半導体のへき開が容易になるように、前記窒化物系化合物半導体のへき開面に沿って応力を集中させるための少なくともひとつの楔形状を有することを特徴として構成することが望ましい。

【００１８】

また、前記中間層は、ＡｌＮ、ＡｌＧａＮ、ＺｎＯ、およびＩｎＧａＮのうちのいずれかからなることを特徴として構成することが望ましい。

【００１９】

さらに、前記第１のエッチング工程は、ドライエッチング法により行われるものとして構成されることが望ましい。

【００２０】

また、前記第２のエッチング工程は、エッチング溶液を用いたウェットエッチング法により行われるものとして構成されることが望ましい。

【００２１】

【発明の実施の形態】

本発明によれば、へき開が基板に誘導されることなく、発光層が自然へき開により、良好なミラーを形成することができる。また、端面の一部を基板から分離することにより基板からの歪みを受けづらくして、歪みによる劣化を防止することができる。さらに、本発明によれば、レーザ光出射端面の一部の反射率を低くし、あるいは端面の一部を共振器として成り立たないように反対の面と平行でない様に構成することにより横モードを制御し、光記録ディスク用光源として良好な発光素子を提供することができる。

【００２２】

以下、本発明の実施の形態について、実施例を参照しつつ説明する。

図１は、本発明の第１の実施例に係わる青色半導体レーザ装置の概略構成を説明するためのものである。サファイヤ基板１０上に、ｎ－ＧａＮバッファ層１１（Ｓｉドープ、３～５×10^{18} cm^{-3}、２μｍ）、ｎ－ＧａＮコンタクト層１２（Ｓｉドープ、３～５×10^{18} cm^{-3}、４μｍ）、ｎ－ＡｌＮ電流狭窄層１３（Ｓｉドープ、３～５×10^{18} cm^{-3}、１μｍ）、ｎ－ＧａＮクラッド層１４（Ｓｉドープ、５×10^{17} cm^{-3}、０．３μｍ）、$In_{0.2}Ga_{0.8}N$活性層１５（アンドープ、２ｎｍ）、ｐ－ＧａＮクラッド層１６（Ｍｇドープ、５×10^{17} cm^{-3}、０．３μｍ）、ＧａＮコンタクト層１７（Ｍｇドープ、１～３×10^{18} cm^{-3}、０．１μｍ）を、ＭＯＣＶＤ法によって順次積層形成し、この上に所定領域を覆うマスクを形成して、それ以外の部分をｎ型コンタクト層１２に達するまでエッチングを行ってメサ型の積層体を形成する。次に、この積層体の最上層であるＧａＮコンタクト層１７上にｐ側電極１８を、また、ｎ－ＧａＮコンタクト層１２上にｎ側電極１９をそれぞれ設ける。

【００２３】

その後、基板１０を構成するウェーハ裏面からダイシングにより素子単位に切りとり分離

する。分離された素子は、図示しないが、それぞれエッチング液が染み込む程度の間隔を置いて台座に設置してリン酸、弗素を含むエッチング液に浸し、ＡｌＮ層１３を側面より選択的にエッチングする。すなわち、ＡｌＮ層１３はＡｌが含まれているため、積層体Ｍを構成する他の層に対して選択的にオーバーエッチングされる。この結果、ＡｌＮ層１３はその側面が他の層の側面に比べて素子内部に後退し、積層体Ｍの周囲に溝状の凹部が形成される。この構造は、いわゆる、電流狭窄構造であり、電極１８、１９による電流注入の際に、このＡｌＮ層１３により電流が狭窄され、活性層１５に注入される電流密度を増すことができる。次にこのようにしてエッチングした各素子を水洗いし、図２に示されるように、積層体Ｍの共振器面となる側面付近の端部Ｍ１、Ｍ２に表面よりカＦを加える。これにより、積層体Ｍは基板１０のへき開方位に関係なく、溝状の凹部に沿って容易にへき開され、形成されたへき開面も良好であった。これはサファイヤ基板１０のへき開面に誘導されることなく、発光層である$In_{0.2}Ga_{0.8}N$活性層１５、その両側のｎ－ＧａＮクラッド層１４、ｐ－ＧａＮクラッド層１６およびＧａＮコンタクト層１７等のＧａＮ層の明確な自然へき開によるものと考えられる。

【００２４】

この実施例のレーザは、しきい値３０ｍＡで室温連続発振した。発振波長は４１７ｎｍ、動作電圧は８Ｖであった。また、発振しきい値は図３に示されるように、電流狭窄構造を用いない従来の素子（Ｐ）の１００ｍＡに比べこの実施例（Ｑ）の場合は３０ｍＡと低くなった。また、良好なへき開面であるため劣化などが抑えられ、発光のパターンも良好であった。これにより発光効率が従来のものに比べ２倍以上良くなった。

【００２５】

なお、ＡｌＮ電流狭窄層１３はＺｎＯに置き換えてもよく、エッチング液も硫酸を含むものやアンモニアを含むアルカリ性のものでもよい。ＺｎＯを用いた場合さらに結晶性が良い結晶ができるばかりでなく、エッチングがされやすく、工程が容易になり歩留まりが向上した。

【００２６】

また、結晶成長はＭＢＥ法でも良い。

【００２７】

図４は本発明の第２の実施例に係わる青色半導体レーザ装置の概略構成を示す図である。

【００２８】

サファイヤ基板２０上に、ＡｌＮバッファ層２１（$3\sim5\times10^{18}cm^{-3}$、０．１μｍ）、ｎ－ＧａＮコンタクト層２２（Ｓｉドープ、$1\times10^{19}cm^{-3}$、４μｍ）、Ｚｎ０層２３（１μｍ）、$n-Al_{0.5}Ga_{0.5}N$クラッド層２４（Ｓｉドープ、$5\times10^{17}cm^{-3}$、０．３μｍ）、ＧａＮ光閉じ込め層２５（Ｓｉドープ、０．１μｍ）、$In_{0.1}Ga_{0.9}N$活性層２６（Ｓｉドープ、３ｎｍ）、ＧａＮ光閉じ込め層２７（Ｓｉドープ、０．１μｍ）、$p-Al_{0.5}Ga_{0.5}N$クラッド層２８（Ｍｇドープ、$5\times10^{17}cm^{-3}$、０．３μｍ）、ＧａＮコンタクト層２９（Ｍｇドープ、$1\sim3\times10^{18}cm^{-3}$、０．１μｍ）をＭＢＥ法によって順次積層形成し、この上に所定領域を覆うマスクを形成して、それ以外の部分をｎ型コンタクト層２２に達するまでエッチングを行ってメサ型の積層体Ｍ’を形成する。次に、この積層体Ｍ’の最上層であるＧａＮコンタクト層２９上にｐ側電極３０を、また、ｎ－ＧａＮコンタクト層２２上にｎ側電極３１をそれぞれ設ける。

【００２９】

その後、基板２０を構成するウェーハ裏面からダイシングにより素子単位に切りとり分離する。分離された素子のそれぞれを、図示しないが、台座にマウントし、ｎ型、ｐ型ともにＡｕワイヤー３３、３４により台座の端子に配線を行う。次いで、これらの台座にマウントされた素子をエッチング液に浸し、Ｚｎ０層２３を側面より選択的にエッチングする。これによりＺｎ０層２３はオーバーエッチングされ、その側面が他の層の側面に比べメサ型の積層体Ｍ’内部に後退し、積層体Ｍ’の周囲に溝状の凹部を形成する。その後、台座にマウントされた素子を水洗いし、図５に示すように、各素子のメサ型の積層体Ｍ’部

分を中心に液状のシラノール化合物３２を適量塗布し、加熱によりキュアし積層体Ｍ’の周囲に図５に示すような、SiO_2膜３２を形成する。その後、台座にマウントされた素子を液体中に浸積して超音波をかけると、図５に示す共振器面となる端面部分Ｍ１’、Ｍ２’が図６に示すようにへき開される。この操作によりＺｎＯ層２３により電流狭窄構造が形成でき、その側面を絶縁物であるSiO_2が覆っているために表面を伝わって流れるリーク電流が阻止できた。

【００３０】

この実施例のレーザ素子は、図７の曲線Ｑで示されるように、しきい値１０ｍＡで８０℃まで連続発振した。発振波長は３８３ｎｍ、基本横モード発振し、図８に示すように、５０００時間までの安定動作も確認した。このレーザ素子の動作電圧は４Ｖであった。この素子構造ではＺｎ０層２３がエッチングの際に共振器ミラーの隣接面がエッチングされ、電流狭窄構造となっているため、図７に示したように、しきい値電流の低下がみられ、また、表面をリーク電流が流れない為に発光効率も向上した。さらに、共振器ミラー面近傍に電流が流れないので共振器ミラーの損傷が生じないためと発光層の歪が緩和されているために信頼性が向上した（図８）。また、ＡｌＮバッファ層２１の厚さを２０μｍと厚くしたところヒートシンクとしての働きが加わり、温度特性が向上し１００℃まで連続発振した。また、$n-Al_{0.5}Ga_{0.5}N$クラッド層２４を０．１μｍと薄くしたところ、クラッド層２４とSiO_2層３２との間の屈折率差により高出力においても横モードが制御が維持された。

【００３１】

次に、図９ないし図１１は本発明の第３の実施例を示す図で、図９および図１１は平面図、図１０は側面図である。

【００３２】

サファイヤ基板４０上に、ＡｌＮバッファ層４１（$3\sim5\times10^{18}cm^{-3}$、０．０１μｍ）、ｎ－ＧａＮコンタクト層４２（Ｓｉドープ、$1\times10^{19}cm^{-3}$、２μｍ）、ｎ－Ｚｎ０層４３（１μｍ）、ｎ－ＧａＮ層４４（Ｓｉドープ、$1\times10^{19}cm^{-3}$、１μｍ）、$n-Al_{0.5}Ga_{0.5}N$クラッド層４５（Ｓｉドープ、$5\times10^{17}cm^{-3}$、０．３μｍ）、ＧａＮ光閉じ込め層４６（Ｓｉドープ、０．１μｍ）、$In_{0.1}Ga_{0.9}N$活性層４７（Ｓｉドープ、３ｎｍ）、ＧａＮ光閉じ込め層４８（Ｓｉドープ、０．１μｍ）、$p-Al_{0.5}Ga_{0.5}N$クラッド層４９（Ｍｇドープ、$5\times10^{17}cm^{-3}$、０．３μｍ）、ＧａＮコンタクト層５０（Ｍｇドープ、$1\sim3\times10^{18}cm^{-3}$、０．１μｍ）をＭＢＥ法によって順次成長形成する。この後これらの成長層が積層された基板４０を成長室より取り出し、ｐ－ＧａＮコンタクト層５０上にSiO_2絶縁膜５１を形成し、その一部をｐ－ＧａＮコンタクト層５０に到達するようにストライプ状（図９の破線で示される部分）にエッチングし、その上からＮｉを５０ｎｍ蒸着する。その後、図１１に示すような形状のマスクをＴｉにより形成し、ドライエッチングによりｎ－ＧａＮコンタクト層４２に到達する迄エッチングを行う。次にｎ型電極５３となる部分以外にマスクを形成し、その後Ｔｉを蒸着しｐ型電極５２が形成できる。その後マスクは除去する。次に全体をそれ以外の部分をｎ型コンタクト層４２に達するまでエッチングを行い、ｎ型電極５３を形成する。そしてｐ型電極５２にはｐ側リード線５４が、また、ｎ型電極５３にはｎ側リード線５５がそれぞれ接続される。

【００３３】

この時点での形状の概略図を図１１に示す。同図は単一の発光素子領域の上面図であるが、ｐ側リード線５４が接続されるｐ型電極５２領域とこれに連結されるレーザ素子本体部５５とｎ型電極５３領域から構成されている。図１１と図９の完成上面図と比較すると、レーザ素子本体部５５の共振器面となるへき開面５６が形成されていないことがわかる。その後、前述の実施例の場合と同様に、基板４０全体をエッチング液に浸し、Ｚｎ０層４３を側面より選択的にエッチングする。これによりＺｎ０層４３はオーバーエッチングされ、その側面がメサ型の積層体Ｍ”部分の全体の側面に対して後退し、積層体Ｍ”部分の周囲に溝状の凹部５６が形成される。図１０においてはＺｎ０層４３の内部にもエッチン

グ除去された透孔５７が形成されるが、これは図１０あるいは図１１のレーザ素子本体部５５とｐ側リード線５４が接続されるｐ型電極５２領域との接続部両側の溝５９部におけるオーバーエッチングにより、透孔５７が形成される。

【００３４】

エッチング終了後、水洗いを行い基板４０を構成するウェーハ裏面からダイシングにより素子単位に切りとり、分離する。次いで、分離されたそれぞれの素子を図示しない台座にマウントし、ｎ型電極５３、ｐ型電極５４ともにＡｕワイヤーリード線５４、５５により台座の端子に配線を行う。この後図示しないが液体中で超音波をかけると、図１１に示す共振器面となるメサ型の積層体Ｍ”の端面部分Ｍ１”、Ｍ２”がへき開され、図１０に示すような完成された素子が得られる。次に、図９に示すように、レーザ素子のメサ型の積層体Ｍ”部分を中心に液状のシラノール化合物５８を適量塗布し、加熱によりキュアしシアノール化合物を酸化して、図１０に示すように、メサ型の積層体Ｍ”の側面部分を覆うSiO_2膜５８を形成する。

【００３５】

このようにして完成されたレーザ素子は、図１０に示されるように、Ｚｎ０層４３により電流狭窄構造が形成でき、その側面を絶縁物であるSiO_2膜５８が覆っているために表面を伝わって流れるリーク電流が阻止できた。そして最も重要なことは、これらの製造過程によりレーザ素子本体部５５の共振器長である、メサ型の積層体Ｍ”の端面Ｍ１”、Ｍ２”間の長さやこの間に延長されるストライプ状のＺｎ０層４３の幅を小さくできることである。これによりしきい値電流、動作電力が低減できる。共振器長が１００μｍ、ストライプ幅が５μｍの場合にしきい値電流が１ｍＡとなった。これにより素子の信頼性も向上した。

本実施例のレーザ素子では、しきい値３ｍＡで８０℃まで連続発振した。発振波長は３９０ｎｍ、基本横モード発振し、５０００時間までの安定動作も確認した。また、動作電圧は３．８Ｖであった。

【００３６】

次に、本発明の第４の実施例について説明する。

【００３７】

図１２は、本発明の第４の実施例に係わる青色半導体レーザ装置の断面構造を表す模式図である。同図において、６０はサファイヤ基板、６１はｎ－ＡｌＮバッファ層（Ｓｉドープ、キャリア濃度：$3\sim5\times10^{18}cm^{-3}$、層厚：１００ｎｍ）であり、６２はｎ－ＧａＮコンタクト層（Ｓｉドープ、$3\sim5\times10^{18}cm^{-3}$、４μｍ）、６３は$n-Al_{0.5}Ga_{0.5}N$クラッド層（Ｓｉドープ、$5\times10^{17}cm^{-3}$、０．３μｍ）、６４は$In_{0.2}Ga_{0.8}N$活性層（アンドープ、３ｎｍ）、６５は$p-Al_{0.5}Ga_{0.5}N$クラッド層（Ｍｇドープ、$5\times10^{17}cm^{-3}$、０．３μｍ）、６６はｐ－ＧａＮコンタクト層（Ｍｇドープ、$1\sim3\times10^{18}cm^{-3}$、０．１μｍ）、６７はｐ側電極、６８はｎ側電極である。同図において６１～６６で示した各半導体層の結晶成長は、ＭＯＣＶＤ法によって行った。

【００３８】

本実施例においても、同図に示した積層構造体を結晶成長した後に、素子化工程を行った。

【００３９】

図１３は、本実施例において用いるエッチングマスクの形状を表す模式図である。すなわち、前述した結晶成長工程の後に、まず、図１３のような形状のマスクをコンタクト層６６の上に形成し、マスクされていない部分を基板６０に達するまでエッチングする。このエッチングは、半導体層６１～６６の各層の組成などに依存する選択性を有さずに基板に対して垂直にエッチングできるエッチング法であることが望ましく、具体的にはドライエッチング法を用いることが望ましい。さらに具体的には、例えば、エッチングガスとしてCF_4、SF_6、BCl_3、Cl_2のうちのいずれかひとつが含まれる混合または単一ガスを用いて、ＥＣＲ（エレクトロンサイクロトロン共鳴）エッチング装置を用いて、反応

性イオンビームエッチングを行うことができる。

【００４０】

また、窒化ガリウム結晶の上にマスクを形成するに際しては、後述するように、同図のＡ－Ａ線が窒化ガリウム系化合物半導体のへき開面と平行になるように形成する。ここで、窒化ガリウム系化合物半導体のへき開面は、具体的には、（１－１００）、（１０－１０）、（０１－１０）、（－１１００）、（－１０１０）、あるいは（０－１１０）のうちのいずれかの面である。これらの面は、サファイアのへき開面とははずれており、本発明の方法によりサファイアとは別な面で窒化ガリウム系化合物半導体のへき開が可能となる。

【００４１】

図１４は、このエッチング後の形状を表す概略斜視図である。同図に示したように、半導体層６１～６６は、深さ方向に対して楔形状に切り込まれた形状にエッチングされた側面を有する。

次に、半導体層の側面に露出しているＡｌＮ層６１を選択的にエッチングする。このエッチング法としては、例えば、リン酸系、王水、あるいはＳＨ（硫酸：過酸化水素水：水＝５：１：１）などのエッチング溶液を用いたウェットエッチング法を用いることができる。すなわち、ＡｌＮ層６１はアルミニウムを含むために、これらのエッチング溶液に対して、選択的にエッチングされる。また、エッチング溶液の温度を上げることによりエッチング速度が上昇し、より早いプロセスが可能となる。

【００４２】

図１５（ａ）および（ｂ）は、このエッチング工程後の半導体層の形状を表す説明図である。すなわち同図（ａ）は、その概略斜視図であり、同図（ｂ）は、（ａ）に示した矢印方向からみた概略正面図である。これらの図に示したように、このエッチング工程においては、楔形状の溝により両側から切り込まれた半導体層の端部Ｅの下部のＡｌＮ層６１がエッチング除去されるまで、エッチングを行う。このようにＡｌＮ層６１をエッチング除去することによって、端部Ｅは基板６０から切り離されて宙に浮いた状態となり、後に説明するへき開を容易に行うことができるようになる。

【００４３】

次に、ｐ電極となる部分をマスキングし、ｎ－ＧａＮ層６２が露出するまでエッチングする。さらに電極材料を堆積して、ｎ側電極６８を形成する。この後、溶液中に浸しこの溶液に超音波を伝えることにより、端面部分がへき開され鏡面状の端面が形成される。

【００４４】

図１６は、端面部分がへき開される様子を表す模式図である。本発明によれば、前述したように、窒化ガリウム系半導体の自然へき開面に沿って、図１３に示したマスクの楔形の向きを合わせ、エッチングする。従って、窒化ガリウム系半導体のへき開面に沿って応力を集中させ、容易にへき開を起こさせることができる。また、本発明によれば、このへき開分離される端部Ｅは、下層のＡｌＮ層６１をエッチング除去することによって基板６０から切り離されて宙に浮いているので、基板６０のへき開面方位とは無関係に、窒化ガリウム系半導体をへき開することができる。

【００４５】

この後さらに基板６０をダイシングして、基板６０ごと各素子を切りとる。

【００４６】

図１７は、完成した半導体発光素子の概略斜視図である。完成した素子の端面Ｓにおいては、アルミニウムを含む層が周りより窪んで凹状の形状となっている部分がある。このくぼみは、アルミニウムの含有量が多いほど大きい。このため基板６０の上のＡｌＮ層６１だけではなく、クラッド層６３および６５もエッチングされて側面が窪んで凹部が形成されている。しかし、レーザ光の出射端面付近ＳＬは、ＡｌＮ層のエッチング時には露出しておらず、超音波をかけてへき開した後に露出するので、このエッチングによる凹みは生ずることなく、レーザの発振動作に影響はない。

【００４７】

なお、楔型の形状を持つマスクでエッチングを行う工程は、ｎ側電極形成のためにエッチングしてｎ側コンタクト層を露出させる工程の後でもよい。

【００４８】

その他の工程も本実施例とは異なる順序で実施することができる。但し、その場合には適宜マスク形状を変える必要がある。また、図１３に例示したマスクは、ひとつの素子が他の素子から分離して独立した形状を有するが、本発明はこれに限定されず、例えば、ウェーハ上で隣接する各素子を接してならべたような形状のマスクを用いることもできる。

【００４９】

本発明者の試作の結果、本実施例による発光素子を評価用治具に固定し、動作させたところしきい値１５０ｍＡにおいて室温連続発振した。発振波長は４２２ｎｍで、動作電圧は４Ｖであった。また、素子の寿命は、通常のドライエッチングにより端面を形成した素子や、基板あるいは成長表面に傷をつけてそれに沿って割る方法により端面を形成した素子と比べて、１０倍以上長く、極めて長寿命を有することが分かった。

【００５０】

さらに、レーザ光の発光パターンをみると、光強度が最大の部分が１ヶ所のみであり、光記録ディスクの読み取りや書き込み用として最適なものであった。これは、本実施例による発光素子が、基本横モードにより発振していることを反映している。その理由として、端面に反射率が低い部分が存在し、これにより外側の高次モードがカットされ、基本モードのみで発振していることが確認された。

【００５１】

つまり、本実施例においては、図１３に例示したようなマスクを用いて楔形にエッチングするので、レーザの端面において、図１７に示したように、へき開面ＳＬの左右の面ＳＳ、ＳＳは、傾斜しており、共振器として作用しうるような平行面となってないために、この付近では高出力でも高次モードで発振は起こらない事が分かった。

【００５２】

一方、本発明においては、マスクの形状を変更して、レーザの端面が平面状となるように構成することもできる。

【００５３】

図１８は、このようなマスクを例示する模式図である。すなわち、発光素子の端面側が平面となるような楔形状Ｃを採用することもできる。このようなマスクを用いて前述と同様の工程により形成した発光素子の端面においても、へき開面とその左右の面とでは、光の反射率が異なるようにすることができる。その理由は、楔形にエッチングした後に形成されるエッチング面は鏡面にはならずに、微細な凹凸を有する「荒れた」面とすることができるからである。このような「荒れた」エッチング面は、ドライエッチング法などにおいて、エッチング条件を適宜調節することによって容易に得ることができる。

【００５４】

すなわち、図１８に示したようなエッチングマスクを用いた場合には、発光素子の端面は、略平面状とすることができ、しかも、レーザ光の出射部分は、へき開面による鏡面が形成されているのに対して、その左右には、反射率の低いエッチングされた面が存在するように形成することができる。この場合にも、へき開面の左右の面は、共振器として作用しうるような面となってないために、この付近では高出力でも高次モードで発振は起こらず、基本横モードを維持することができる。

【００５５】

一方、本実施例においても、ＡｌＮバッファ層６１は、ＺｎＯに置き換えてもよく、ＺｎＯを用いた場合には、その上に成長する各層はさらに結晶性が良い結晶となり、それにより発光素子の特性を向上させることができるという効果が得られる。この場合には、凹みを形成するためのエッチング液としては王水、あるいは塩酸系のエッチング溶液を用いることができる。

【００５６】

また、ＡｌＮバッファ層６１の代わりに、ＩｎＧａＮ層を用いても良い。この場合には、

その上に成長する結晶層の歪み量が調節され、ＡｌＧａＮ層のアルミニウム組成を高くした場合でも結晶にクラックが入ることがなくなるという効果が得られる。また、ＩｎＧａＮ層は光の吸収層として働き、モードの制御とともに自励発振を起こし、高周波駆動が容易になるという利点もある。この場合のエッチング液としては、臭素系、あるいは塩酸系のエッチング溶液を用いることができる。

【００５７】

また、本実施例においては、結晶の成長方法としてＭＯＣＶＤ法を用いたが、その他に、ＭＢＥ法、化学ビーム・エピタキシャル（ＣＢＥ）法、有機金属分子線エピタキシャル（ＭＯＭＢＥ）法、あるいはハイドライドＣＶＤ法などを用いることもできる。

【００５８】

また、図１３に示したようなエッチングマスクの形状としては、楔型の部分がレーザ光の出射端面に対して角度α＝０～４５°の間で発振可能であり、α＝０°の場合が電流値に対する出力が大きかったが、α＝１０°付近がもっとも横モード制御が保持できた。角度αがさらに大きくなると横モード制御は保持できるが出力が低下する傾向がみられる。

【００５９】

次に、本発明の第５の実施例について説明する。

【００６０】

図１９は、本発明の第５の実施例に係わる青色半導体レーザ装置の断面構造を表す模式図である。すなわち、同図に示したレーザ装置は、サファイヤ基板２０の上にＧａＮバッファ層８１（３～５×10^{16} cm^{-3}）、ｎ－ＧａＮコンタクト層８２（Ｓｉドープ、１×10^{18} cm^{-3}）、ｎ－ＺｎＯ層８３（Ｃｌドープ、１×10^{19} cm^{-3}、１μｍ）、ｎ－$Al_{0.5}Ga_{0.5}N$クラッド層８４（Ｓｉドープ、５×10^{17} cm^{-3}、０．３μｍ）、ＧａＮ光閉じ込め層８５（アンドープ、０．１μｍ）、$In_{0.2}Ga_{0.8}N$／ＧａＮ３ＭＱＷ活性層８６（アンドープ、井戸層２ｎｍ、障壁層４ｎｍ）、ＧａＮ光開じ込め層８７（アンドープ、０．１μｍ）、ｐ－$Al_{0.5}Ga_{0.5}N$クラッド層８８（Ｍｇドープ、５×10^{17} cm^{-3}、０．３μｍ）、ＧａＮコンタクト層８９（Ｍｇドープ、１～３×10^{18} cm^{-3}、０．１μｍ）が順次成長された積層構造を有する。また、９１はｐ側電極、９２はｎ側電極である。

【００６１】

結晶成長は、ＭＢＥ法によって行った。この後ｐ型電極となる部分に図１３のようなマスクを形成し、それ以外の部分をｎ型コンタクト層８２に達するまでエッチングを行い、ｎ型電極９２を形成する。次に、エッチング液に浸し、ＺｎＯ層８３を側面からエッチングする。エッチング液としては王水、あるいは塩酸系のエッチング溶液を用いることができる。これにより、ＺｎＯ層８３はエッチングされ、ＺｎＯ層８３の側面が他の層の側面に比べて素子内部に後退して凹んだ構造が作成される。さらに、エッチング後の水洗い時に、強い水流で洗浄することにより、楔型の切れ込みより先端側がへき開されて除去される。あるいは、水中で超音波を印加することによりへき開しても良い。このような楔型の切れ込みを入れない場合には、意図した端面が形成できず、歩留まりが低下した。

【００６２】

図２０は、前述したへき開の前の形状を表す概略要部斜視図である。

【００６３】

本発明者の試作の結果、本実施例の発光素子は、しきい値１００ｍＡで８０℃まで連続発振した。また、発振波長は４１８ｎｍで、基本横モード発振し、５０００時間までの安定動作も確認することができた。また、素子の動作電圧は４Ｖであった。

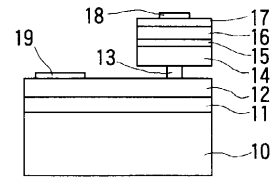
【００６４】

ここで、本実施例においては、図２０に示したように、ＺｎＯ層８３がエッチングによって素子側面よりも後退している。すなわち、電流が狭窄され、レーザ共振器の端面となる鏡面の近傍に電流が流れない、いわゆる窓構造となっている。その結果として、本実施例によれば、共振器面の近傍への電流注入に起因する光学的損傷（ＣＯＤ：ｃａｔａｓｔｒｏｐｈｉｃ　ｏｐｔｉｃａｌ　ｄａｍａｇｅ）が抑制され、発光素子の信頼性が向上する

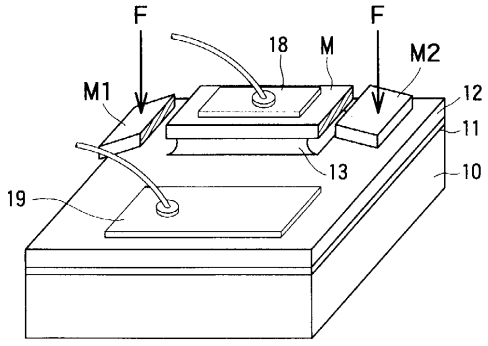
という効果も得ることができる。
なお、本実施例においても、結晶成長法はＭＢＥ法に限定されず、その他にＭＯＣＶＤ法、化学ビーム・エピタキシャル（ＣＢＥ）法、有機金属分子線エピタキシャル（ＭＯＭＢＥ）法、あるいはハイドライドＣＶＤ法などを用いることもできる。
【００６５】
【発明の効果】
本発明は、以上説明したような形態で実施され、以下に説明する効果を奏する。
【００６６】
まず、本発明によれば、高電流注入密度、高発光効率、良好なミラーを形成でき、素子構造も簡略化することができる半導体レーザ装置を提供することができる。
【００６７】
また、本発明によれば、発光層の歪が緩和されるため信頼性が向上し、端面への電流注入が減少するので端面での光学的突発劣化が起こりにくくなり高出力で信頼性の優れた素子を得ることができる。
【００６８】
また上記した構造は再現良く簡単なプロセスで製造することができるものであり、その有用性は絶大である。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の第１の実施例を示す発光素子の断面図である。
【図２】図１に示す発光素子の製造方法を示す斜視図である。
【図３】図１に示した発光素子の注入電流と発光強度の関係を、従来の発光素子と比較して示すグラフである。
【図４】本発明の第２の実施例を示す発光素子の断面図である。
【図５】図４に示す発光素子の製造方法を示す発光素子の斜視図である。
【図６】図４に示す発光素子の製造方法を示す発光素子の斜視図である。
【図７】図４に示した発光素子の注入電流と発光強度の関係を、従来の発光素子と比較して示すグラフである。
【図８】図４に示した発光素子の動作時間と動作電流の関係を、従来の発光素子と比較して示すグラフである。
【図９】本発明の第３の実施例を示す発光素子の上面図である。
【図１０】図９に示す発光素子の断面図である。
【図１１】図９に示す発光素子の製造方法を示す概略図である。
【図１２】本発明の第４の実施例に係わる青色半導体レーザ装置の断面構造を表す模式図である。
【図１３】第４実施例において用いるエッチングマスクの形状を表す模式図である。
【図１４】エッチング後の形状を表す概略斜視図である。
【図１５】（ａ）および（ｂ）は、このエッチング工程後の半導体層の形状を表す説明図である。すなわち同図（ａ）は、その概略斜視図であり、同図（ｂ）は、（ａ）に示した矢印方向からみた概略正面図である。
【図１６】端面部分がへき開される様子を表す模式図である。
【図１７】第４実施例にかかる完成した半導体発光素子の概略斜視図である。
【図１８】マスクを例示する模式図である。
【図１９】本発明の第５の実施例に係わる青色半導体レーザ装置の断面構造を表す模式図である。
【図２０】第５実施例に係る発光素子のへき開の前の形状を表す概略要部斜視図である。
【符号の説明】
１０、６０、８０　サファイヤ基板
１１　ｎ－ＧａＮバッファ層
１２、６２、８２　ｎ－ＧａＮコンタクト層
１３　ｎ－ＡｌＮ電流狭窄層

１４、６３、８５　ｎ－ＧａＮクラッド層
１５、６４、８６　ＩｎＧａＮ活性層
１６、６５、８７　ｐ－ＧａＮクラッド層
１７、６６、８９　ＧａＮコンタクト層
１８、６７、９１　ｐ側電極
１９、６８、９２　ｎ側電複
２０　サファイヤ基板
２１　ＡｌＮバッファ層
２２　ｎ－ＧａＮコンタクト層
２３　Ｚｎ０層
２４　ｎ－ＡｌＧａＮクラッド層
２５　ＧａＮ光閉じ込め層
２６　ＩｎＧａＮ活性層
２７　ＧａＮ光閉じ込め層
２８　ｐ－ＡｌＧａＮクラッド層
２９　ＧａＮコンタクト層
３０　ｐ側電極
３１　ｎ側電極
３２　SiO_2 絶縁膜

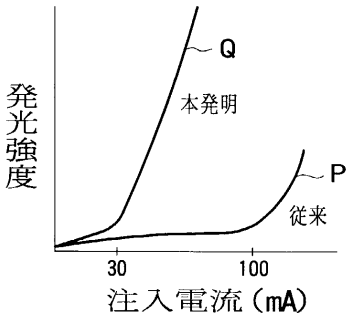
【図１】



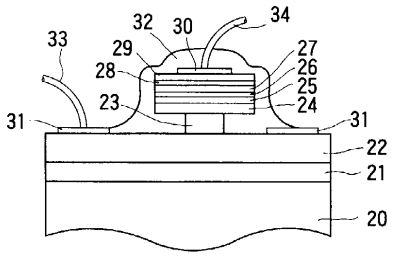
【図２】



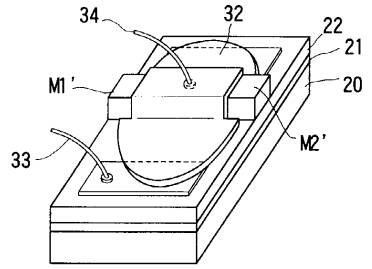
【図３】



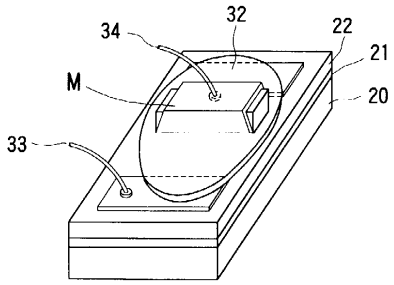
【図４】



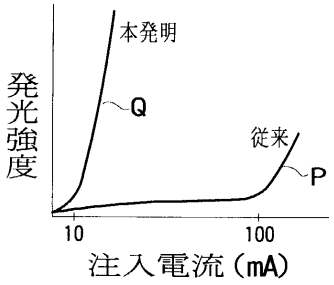
【図５】



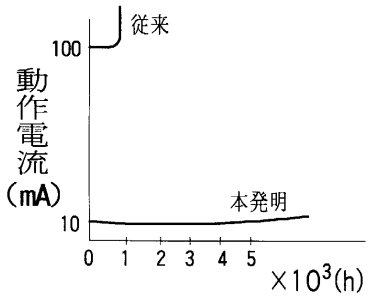
【図６】



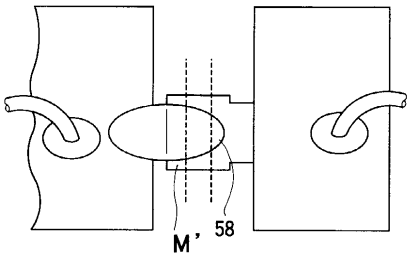
【図７】



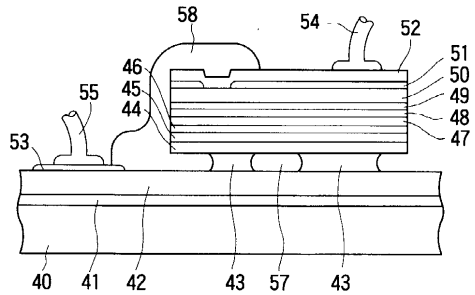
【図８】



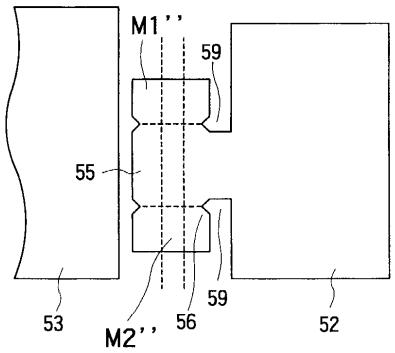
【図９】



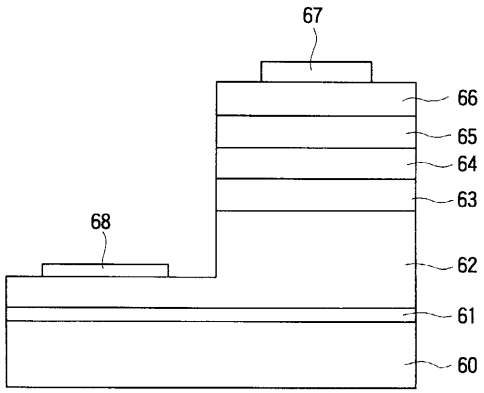
【図１０】



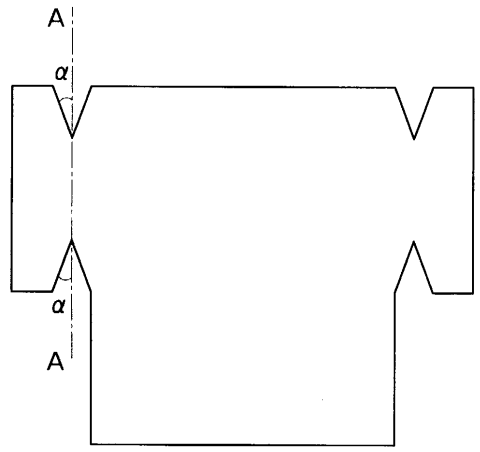
【図１１】



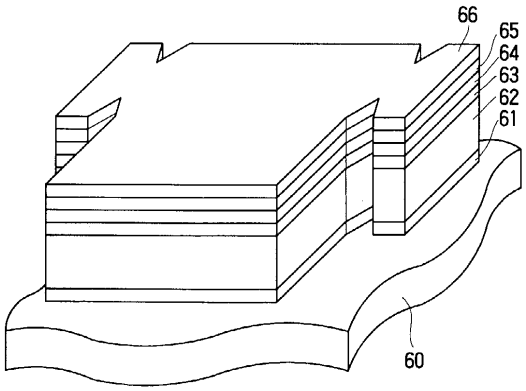
【図１２】



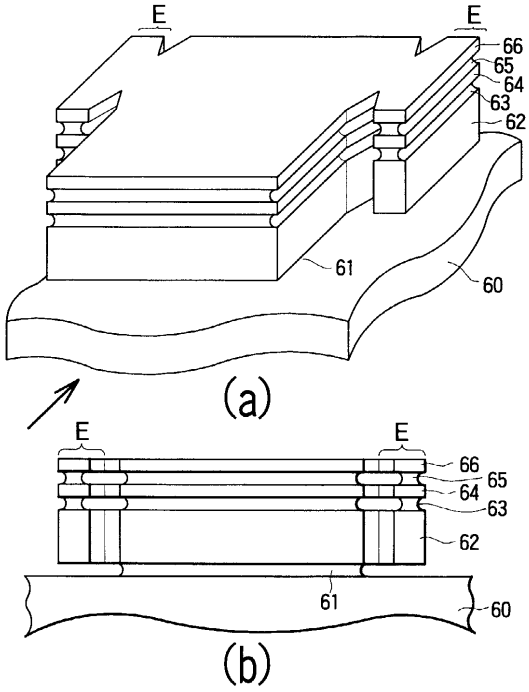
【図１３】



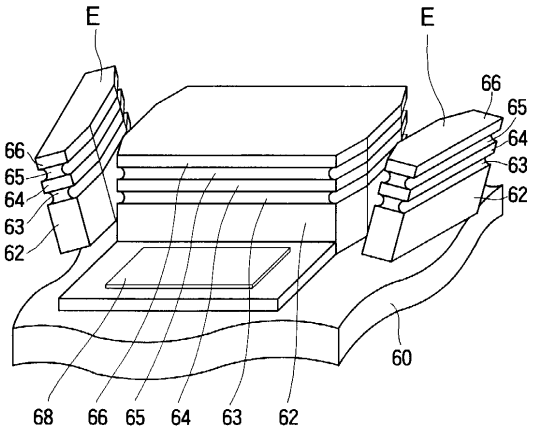
【図１４】



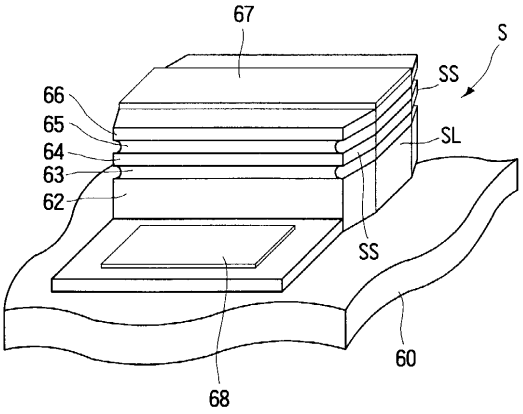
【図１５】



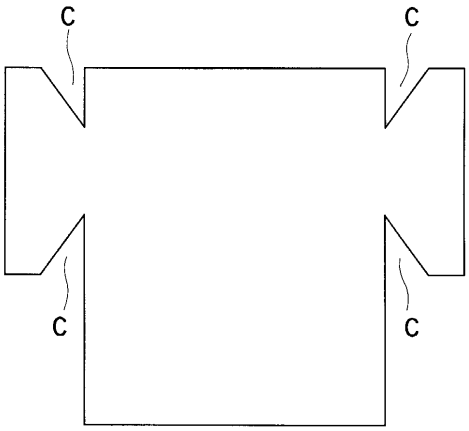
【図１６】



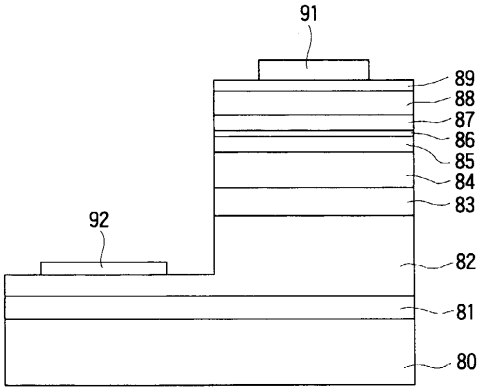
【図１７】



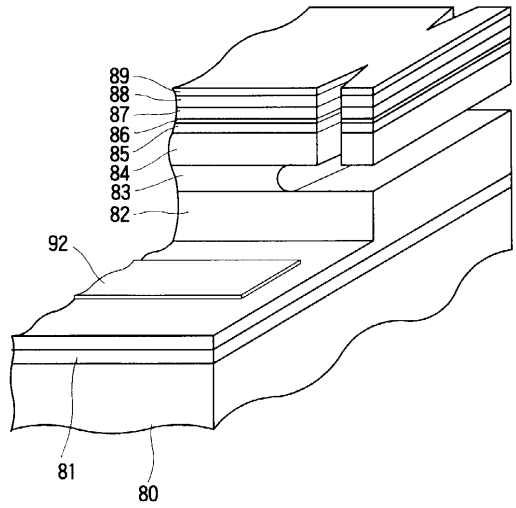
【図１８】



【図１９】



【図２０】



フロントページの続き

(72)発明者 小野村 正 明
神奈川県川崎市幸区小向東芝町１ 株式会社東芝 研究開発センター内
(72)発明者 ジョン レニー
神奈川県川崎市幸区小向東芝町１ 株式会社東芝 研究開発センター内
(72)発明者 波多腰 玄 一
神奈川県川崎市幸区小向東芝町１ 株式会社東芝 研究開発センター内
(72)発明者 藤 本 英 俊
神奈川県川崎市幸区小向東芝町１ 株式会社東芝 研究開発センター内

審査官 道祖土 新吾

(56)参考文献 特開昭６１－０７７３８５（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－２１５０３１（ＪＰ，Ａ）
特開昭６１－１５４１９３（ＪＰ，Ａ）
IEEE Journal of Quantum Electronics, １９８４年, QE-20[2], p.126-130
Appl.Phys.Lett., １９８２年, Vol.40,No.4, p.289-290

(58)調査した分野(Int.Cl.[7], ＤＢ名)
H01S 5/00-5/50
H01L 33/00