(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2017-195212
(P2017-195212A)
(43)公開日　平成29年10月26日(2017.10.26)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
H01S 5/183	***(2006.01)***	H01S	5/183	5F173

審査請求 未請求　請求項の数 7　ＯＬ　（全 13 頁）

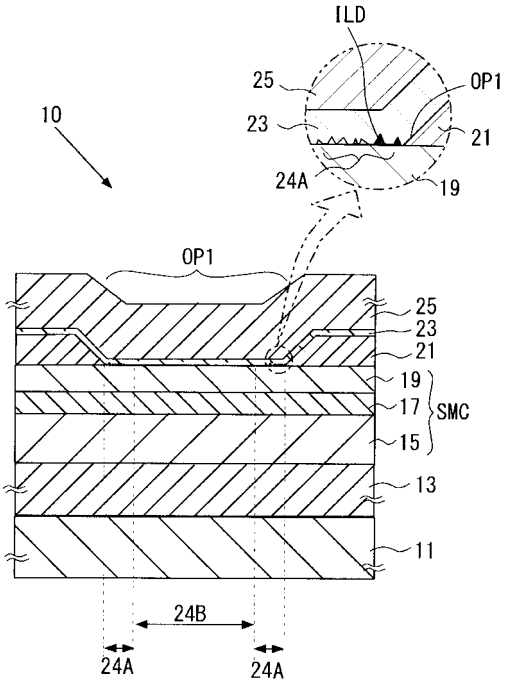
(21)出願番号　特願2016-82565(P2016-82565)
(22)出願日　平成28年4月18日(2016.4.18)

(71)出願人　000002303
スタンレー電気株式会社
東京都目黒区中目黒２丁目９番１３号
(74)代理人　110001025
特許業務法人レクスト国際特許事務所
(72)発明者　田澤　耕明
東京都目黒区中目黒２丁目９番１３号　スタンレー電気株式会社内
(72)発明者　梁　吉鎬
東京都目黒区中目黒２丁目９番１３号　スタンレー電気株式会社内
(72)発明者　小林　静一郎
東京都目黒区中目黒２丁目９番１３号　スタンレー電気株式会社内

Ｆターム(参考)　5F173 AC03 AC14 AC35 AC44 AC52 AD05 AH22 AK08 AP05 AR33

(54)【発明の名称】垂直共振器型発光素子

(57)【要約】
【解決課題】
単一横モード発振が得られる垂直共振器型発光素子を提供する。
【課題を解決するための手段】
垂直共振器型発光素子は、第１反射器上に順に形成され、第１の導電型の半導体層、活性層及び第１の導電型とは反対の導電型の第２の導電型の半導体層を有し、さらに、第２の導電型の半導体層上に形成された絶縁性の電流狭窄層と、電流狭窄層に形成された電流狭窄層を貫通する貫通開口部と、貫通開口部及び電流狭窄層を覆い、貫通開口部を介して第２の導電型の半導体層に接する透明電極と、透明電極上に形成された第２反射器と、を有する。貫通開口部において互いに接する透明電極の開口対応部分及び第２の導電型の半導体層の開口対応部分の少なくとも一方は、貫通開口部の内周に沿って配置された第１抵抗領域と、貫通開口部の中心側に配置された第２抵抗領域と、を有する。第１抵抗領域が第２抵抗領域の抵抗値よりも高い抵抗値を有する。
【選択図】図３



【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板上に形成された第１反射器と、
前記第１反射器上に形成され、第１の導電型の第１の半導体層、活性層及び前記第１の導電型とは反対の導電型の第２の導電型の第２の半導体層からなる半導体構造層と、
前記第２の半導体層上に形成された絶縁性の電流狭窄層と、
前記電流狭窄層に形成された前記電流狭窄層を貫通する貫通開口部と、
前記貫通開口部及び前記電流狭窄層を覆い、前記貫通開口部を介して前記第２の半導体層に接する透明電極と、
前記透明電極上に形成された第２反射器と、を有し、
前記貫通開口部において互いに接する前記透明電極の開口対応部分及び前記第２の半導体層の開口対応部分の少なくとも一方は、前記貫通開口部の内周に沿って配置された第１抵抗領域と、前記貫通開口部の中心側に配置された第２抵抗領域と、を有し、前記第１抵抗領域が前記第２抵抗領域の抵抗値よりも高い抵抗値を有することを特徴とする垂直共振器型発光素子。
【請求項２】
前記第１抵抗領域は前記貫通開口部の内周に沿って環状に形成されていることを特徴とする請求項１に記載の垂直共振器型発光素子。
【請求項３】
前記透明電極の開口対応部分の前記第１抵抗領域は、前記第２の半導体層上に形成され透光性の誘電体からなる複数のアイランドを含むことを特徴とする請求項１又は２に記載の垂直共振器型発光素子。
【請求項４】
前記透明電極の開口対応部分の前記第１抵抗領域の平均膜厚は前記第２抵抗領域の平均膜厚よりも薄いことを特徴とする請求項１又は２に記載の垂直共振器型発光素子。
【請求項５】
前記透明電極の開口対応部分の前記第２抵抗領域の膜厚は一定であり、前記第１抵抗領域の膜厚は前記貫通開口部の縁部に向かって連続的に薄くなっていることを特徴とする請求項４に記載の垂直共振器型発光素子。
【請求項６】
前記第２の半導体層の開口対応部分の前記第１抵抗領域は、前記第２抵抗領域よりも、前記第２の半導体層の成分原子の欠乏した成分原子空孔領域であることを特徴とする請求項１乃至５のいずれか１に記載の垂直共振器型発光素子。
【請求項７】
垂直共振器型発光素子の製造方法であって、
基板上に第１反射器を形成するステップと、
前記第１反射器上に、第１の導電型の半導体層、活性層及び前記第１の導電型とは反対の導電型の第２の導電型の第２の半導体層からなる半導体構造層を形成するステップと、
前記第２の半導体層上に、絶縁性の電流狭窄層を形成するステップと、
前記電流狭窄層を貫通する貫通開口部を前記電流狭窄層に形成するステップと、
前記貫通開口部及び前記電流狭窄層を覆い、前記貫通開口部を介して前記第２の半導体層に接する透明電極を形成するステップと、
前記透明電極上に形成された第２反射器を形成するステップと、
を含み、
前記貫通開口部を前記電流狭窄層に形成するステップと前記透明電極を形成するステップとの間に、
前記貫通開口部における露出した前記ｐ型半導体層上の中央部を覆うように保護パターンを形成して、前記中央部の周りの前記ｐ型半導体層１９の露出部に対してプラズマ処理を実行して、前記第２の半導体層の開口対応部分において、前記貫通開口部の内周に沿って配置された第１抵抗領域と、前記貫通開口部の中心側に配置され且つ前記第１抵抗領域

の抵抗値よりも低い抵抗値を有する第２抵抗領域を形成するステップを含むことを特徴とする垂直共振器型発光素子の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL：vertical cavity surface emitting laser）等の垂直共振器型発光素子に関する。
【背景技術】
【０００２】
垂直共振器型面発光レーザは、基板面に対して垂直に光を共振させ、当該基板面に垂直な方向に光を出射させる構造を有する半導体レーザである。例えば、特許文献１には、窒化物半導体層の少なくとも一方の表面に、開口部を有する絶縁層と、当該開口部を被覆するように当該絶縁層上に設けられた透光性電極と、当該透光性電極を介して当該開口部上に設けられた反射鏡と、を有する垂直共振器型面発光レーザが開示されている。透光性電極の開口部と発光層を挟んで互いに対向する反射鏡は、共振器を構成している。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特許第５７０７７４２号明細書
【特許文献２】特開２０００－２７７８５２号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
しかしながら、従来の垂直共振器面発光レーザでは、出射開口部の透光性電極の屈折率が周囲よりも低く横方向の閉じ込め構造がない。また、出射開口部の外側から開口中心に向かってＩＴＯ膜等の透光性電極を介して電流注入を行う故に、ＩＴＯ膜のシート抵抗によって開口中心部の駆動時の電流密度が低下する。結果的に、垂直共振器面発光レーザでは、上記開口部の縁に沿ったドーナツ状の高電流密度領域が発生し、発振の多モード化を招く問題があった。
【０００５】
本発明は上記した点に鑑みてなされたものであり、単一横モード発振が得られる垂直共振器型発光素子を提供することを目的としている。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明の垂直共振器型発光素子は、基板上に形成された第１反射器と、
前記第１反射器上に形成され、第１の導電型の半導体層、活性層及び前記第１の導電型とは反対の導電型の第２の導電型の半導体層からなる半導体構造層と、
前記第２の導電型の半導体層上に形成された絶縁性の電流狭窄層と、
前記電流狭窄層に形成された前記電流狭窄層を貫通する貫通開口部と、
前記貫通開口部及び前記電流狭窄層を覆い、前記貫通開口部を介して前記第２の導電型の半導体層に接する透明電極と、
前記透明電極上に形成された第２反射器と、を有し、
前記貫通開口部において互いに接する前記透明電極の開口対応部分及び前記第２の導電型の半導体層の開口対応部分の少なくとも一方は、前記貫通開口部の内周に沿って配置された第１抵抗領域と、前記貫通開口部の中心側に配置された第２抵抗領域と、を有し、前記第１抵抗領域が前記第２抵抗領域の抵抗値よりも高い抵抗値を有することを特徴としている。
【図面の簡単な説明】
【０００７】
【図１】本発明の実施例１である垂直共振器面発光レーザの１６個の４×４でアレイ化し

た構成を模式的に示す概略斜視図である。
【図２】図１のＸＸ線に亘る一部を模式的に示す垂直共振器面発光レーザの部分断面図である。
【図３】図２のＹ線に囲まれる一部を模式的に示す垂直共振器面発光レーザの部分断面図である。
【図４】本発明の実施例１である垂直共振器面発光レーザの構成を説明するための概略上面図である。
【図５】本発明の実施例１の垂直共振器面発光レーザの製造途中の構成の一部を説明する概略部分断面図である。
【図６】本発明の実施例１の垂直共振器面発光レーザの製造途中の構成の一部を説明する概略部分断面図である。
【図７】本発明による実施例２を模式的に示す垂直共振器面発光レーザの概略部分断面図である。
【図８】比較例の垂直共振器面発光レーザの概略部分断面図である。
【図９】本発明による実施例２の垂直共振器面発光レーザの製造途中の構成の一部を説明する概略部分断面図である。
【図１０】本発明による実施例２の垂直共振器面発光レーザの製造途中の構成の一部を説明する概略部分断面図である。
【図１１】本発明による実施例３を模式的に示す垂直共振器面発光レーザの概略部分断面図である。
【図１２】本発明による実施例３の垂直共振器面発光レーザの製造途中の構成の一部を説明する概略部分断面図である。
【図１３】本発明の実施例である垂直共振器面発光レーザを含む面発光レーザアレイ白色光源の構成を模式的に示す概略斜視図である。
【発明を実施するための形態】
【０００８】
本発明の垂直共振器型発光素子の一例として垂直共振器面発光レーザ（以下、単に面発光レーザともいう）について図面を参照しつつ説明する。以下の説明及び添付図面において、実質的に同一又は等価な部分には同一の参照符を付して説明する。
【実施例１】
【０００９】
図１は、本発明による実施例１の面発光レーザを発光部として１６個の４×４でアレイ化して配置された面発光レーザ１０Ａの外観の概略斜視図を示す。図２は、図１の１つの面発光レーザ１０のＸＸ線に亘る一部を模式的に示す部分断面図である。
【００１０】
図２に示すように、面発光レーザ１０は、たとえば、ＧａＮ（窒化ガリウム）から成る導電性の基板１１上に順に形成された、導電性の第１反射器１３と、ｎ型半導体層１５、量子井戸層を含む活性層１７及びｐ型半導体層１９から成る積層構造を有する。積層構造における第１反射器１３並びにｎ型半導体層１５、量子井戸層を含む活性層１７及びｐ型半導体層１９からなる半導体構造層ＳＭＣは、ＧａＮ系半導体から構成されている。
【００１１】
面発光レーザ１０は、さらに、半導体構造層ＳＭＣのｐ型半導体層１９上に順に形成された、絶縁性の電流狭窄層２１と、導電性の透明電極２３と、第２反射器２５と、を有している。
【００１２】
電流狭窄層２１は、貫通開口部ＯＰ１を有する。透明電極２３は、貫通開口部ＯＰ１を覆い、ｐ型半導体層１９に接するように、電流狭窄層２１とｐ型半導体層１９に亘って形成されている。電流狭窄層２１は、貫通開口部ＯＰ１以外ではｐ型半導体層１９への電流注入を阻害する。開口部ＯＰ１内部では透明電極２３からｐ型半導体層１９を介して活性層１７に電流を注入する。

【００１３】
図２に示すように、電流を注入するＰ電極２７Ｐは、貫通開口部ＯＰ１の周囲において透明電極２３と電気的に接続されるように形成されている。また、Ｐパッド電極２９Ｐは、貫通開口部ＯＰ１の周囲においてＰ電極２７Ｐと電気的に接続されるように絶縁性の第２反射器２５を貫通するように形成され、透明電極２３をＰ電極２７Ｐを介して外部に電気的に接続できるようにしてある。
【００１４】
図２に示すように、基板１１のオフセット表面（活性層１７と第１反射器１３との間に位置する）上にＮ電極２７Ｎが絶縁性の電流狭窄層２１を貫通するように形成されている。Ｎ電極２７Ｎは、Ｐパッド電極２９Ｐの周囲に配置されｎ型半導体層１５と電気的に接続されるように形成されている。また、Ｎパッド電極２９Ｎは、Ｐパッド電極２９Ｐの周囲においてＮ電極２７Ｎと電気的に接続されるように絶縁性の第２反射器２５を貫通するように形成され、ｎ型半導体層１５をＮパッド電極２９Ｎを介して外部に電気的に接続できるようにしてある。
【００１５】
貫通開口部ＯＰ１と活性層１７を挟んで互いに対向する第１反射器１３及び第２反射器２５の部分は、共振器２０を構成している。
【００１６】
共振器２０の間における、透明電極２３の直下に形成された電流狭窄層の貫通開口部ＯＰ１（透明電極２３と半導体構造層ＳＭＣとの界面）がレーザビームの出射口に対応する。レーザビームは、第１反射器１３と第２反射器２５のいずれか側から放射される。
【００１７】
本実施例では、第１反射器１３は、ＧａＮ系半導体の多層膜からなる分布ブラッグ反射器（DBR:Distributed Bragg Reflector）として形成されている。第１反射器１３として、例えば、ＧａＮ／ＩｎＡｌＮを４０ペア積層して構成することができる。第２反射器２５は、誘電体膜の多層からなる分布ブラッグ反射器として形成されている。第２反射器２５と第１反射器１３とが半導体構造層ＳＭＣを挟み、共振構造を画定する。第１反射器１３及び第２反射器２５は、それらの所望の導電性、絶縁性、反射率を得るために、屈折率が異なる２つの薄膜を交互に複数回積層する多層膜のペア数や、材料、膜厚等を適宜調整して構成される。絶縁性の反射器であれば、例えば、誘電体薄膜材料としては、金属、半金属等の酸化物や、ＡｌＮ、ＡｌＧａＮ、ＧａＮ、ＢＮ、ＳｉＮ等の窒化物がある。屈折率が異なる少なくとも２つの誘電体薄膜、例えば、SiO_2／Nb_2O_5、SiO_2／ZrO_2、SiO_2／ＡｌＮ、又はAl_2O_3／Nb_2O_5のペアを周期的に積層することにより絶縁性の反射器を得ることができる。
【００１８】
図３は、図２の面発光レーザ１０の破線Ｙに囲まれる一部を模式的に示す部分断面図である。
【００１９】
半導体構造層ＳＭＣは、第１反射器１３上に順に形成された、ｎ型半導体層１５、量子井戸層を含む活性層１７及びｐ型半導体層１９からなる。本実施例においては、第１反射器１３及び半導体構造層ＳＭＣの各層は、$Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$（０≦ｘ≦１、０≦ｙ≦１、０≦ｘ＋ｙ≦１）の組成を有する。例えば、第１反射器１３は、ＡｌＩｎＮの組成を有する低屈折率半導体層及びＧａＮの組成を有する高屈折率半導体層の組（ペア）が交互に複数回積層された構造を有する。また、本実施例においては、活性層１７は、ＩｎＧａＮの組成を有する井戸層（図示せず）及びＧａＮの組成を有する障壁層（図示せず）の組（ペア）が交互に積層された量子井戸構造を有する。また、ｎ型半導体層１３は、ＧａＮの組成を有し、ｎ型不純物としてＳｉを含む。ｐ型半導体層１９は、ＧａＮの組成を有し、Ｍｇ等のｐ型不純物を含む。これにより、ｎ型半導体層１３とｐ型半導体層１９は、互いに反対の導電型となる。また、発光波長が４００～４５０ｎｍとなるように半導体構造層ＳＭＣを設計できる。

【００２０】
また、第１反射器１３及び半導体構造層ＳＭＣは、有機金属気相成長法（ＭＯＣＶＤ法：Metal Organic Chemical Vapor Deposition）等を用いて形成されている。なお、基板１１と第１反射器１３との間にバッファ層（図示せず）が形成されていてもよい。
【００２１】
電流狭窄層２１の組成材料としては例えば、SiO_2、Ga_2O_3、Al_2O_3、ZrO_2等の酸化物、ＳｉＮ、ＡｌＮ及びＡｌＧａＮ等の窒化物等が用いられる。好ましくは、SiO_2が電流狭窄層２１に用いられる。電流狭窄層２１の膜厚は、５～１０００ｎｍ、好ましくは、１０～３００ｎｍである。
【００２２】
電導性の透明電極２３の透光性の組成材料としては例えば、ＩＴＯ（Indium Tin Oxide）、ＩＺＯ（In-doped ZnO）、ＡＺＯ（Al-doped ZnO）、ＧＺＯ（Ga-doped ZnO）、ＡＴＯ（Sb-doped SnO_2）、ＦＴＯ（F-doped SnO_2）、ＮＴＯ（Nb-doped TiO_2）、ＺｎＯ等が用いられる。好ましくは、ＩＴＯが透明電極２３に用いられる。透明電極２３の膜厚は、３～１００ｎｍ、また、好ましくは、２０ｎｍ以下である。透明電極２３は電子ビーム蒸着法や、スパッタ法等によって成膜できる。
【００２３】
図４は、面発光レーザ１０における電流狭窄層２１の貫通開口部ＯＰ１内の透明電極２３の構成を説明するための第２反射器２５の側から第２反射器２５を省略して眺めた概略上面透視図である。
【００２４】
貫通開口部ＯＰ１の形状としては、図４に示すように、ビーム中心までの距離を等距離とすることでガウシアンビームを得るために、直径が１～１５μｍ、好ましくは３～１０μｍの円形であることが好ましい。これにより、活性層１７に均一に電流を注入し且つ光ビームの均一な閉じ込めを可能とする。なお、貫通開口部ＯＰ１の形状は、円形以外の楕円形、多角形等、円形に近似する形状であってもよい。
【００２５】
図３及び図４に示すように、電流狭窄層２１の貫通開口部ＯＰ１の縁に沿って配置された第１抵抗領域２４Ａが環状に形成されている。すなわち、貫通開口部ＯＰ１においてｐ型半導体層１９に接する透明電極２３の開口部分は、貫通開口部の内周に沿って配置された第１抵抗領域２４Ａと、貫通開口部の中心側に配置された第２抵抗領域２４Ｂと、を有する。第１抵抗領域２４Ａは第２抵抗領域２４Ｂの抵抗値よりも高い抵抗値を有する。
【００２６】
第１抵抗領域２４Ａは、例えば、ＩＴＯ等の電導性の透明電極２３内に透明な絶縁材料、例えばSiO_2から成る複数の島（アイランド）ＩＬＤをｐ型半導体層１９上に分散配置させて構成される。本実施例においては、電流狭窄層２１の貫通開口部ＯＰ１の縁に沿ってSiO_2の複数のアイランドＩＬＤ（島状領域）を形成し、アイランドＩＬＤのない第２抵抗領域２４Ｂ（貫通開口の中央部）よりも高いコンタクト抵抗値を第１抵抗領域２４Ａにおいて発現させる（透明電極２３界面のｐ型半導体層１９への面積が第２抵抗領域２４Ｂより減少している）ことにより、駆動時の電流密度分布を貫通開口の中央部で高く貫通開口の縁部では低くなるように制御する。つまり、本実施例では、アイランドＩＬＤが存在しない中心部はコンタクト抵抗値が低く、駆動時の電流密度が増大し、透明電極２３の貫通開口の中央部の屈折率を増大させるように構成されている。複数のアイランドＩＬＤの組成材料としては、SiO_2の他に例えば、Ga_2O_3、Al_2O_3、ZrO_2等の酸化物等の透光性の誘電体が好ましくは用いられる。
【００２７】
アイランドＩＬＤの形成には図５に示す手法を用いることができる。まず、図５Ａに示すように、ｐ型半導体層１９上の電流狭窄層２１に貫通開口部ＯＰ１を形成する工程において、SiO_2の電流狭窄層２１の開口内壁の裾野がｐ型半導体層１９上で徐々に薄くなるように、リフトオフ法を用いて形成する。図５Ａに示すように、電流狭窄層２１の開口

内壁の裾野はテーパー状断面形状を有する。次に、図５Ｂに示すように、電流狭窄層２１の開口内壁の裾野のみが露出するようにレジストパターンｒｅｓを当該開口内壁と共に電流狭窄層２１を覆うように形成する。次に、図５Ｃに示すように、エッチングによって、露出した薄い裾野部分を除去する。このエッチング工程のエッチングレートを調整することによって複数のアイランドＩＬＤをｐ型半導体層１９上に形成できる。

【００２８】

また、アイランドＩＬＤの形成には図６に示す手法を用いることができる。まず、図５Ａに示す工程と同様に図６Ａに示すように、リフトオフ法を用いて、電流狭窄層２１の開口内壁を、テーパー状断面形状を有するように形成する。次に、図６Ｂに示すように、電流狭窄層２１の開口内壁すべてが露出するように、レジストパターンｒｅｓを、電流狭窄層２１を覆うように形成する。次に、図６Ｃに示すように、エッチングのアンダーカットによって、露出した開口内壁を切削する。このエッチング工程のエッチングレートを調整することによって複数のアイランドＩＬＤをｐ型半導体層１９上に拡大して形成してもよい。

【実施例２】

【００２９】

図７は、本発明による実施例２の１つの面発光レーザ１０の一部を模式的に示す部分断面図である。

【００３０】

図７に示すように、実施例２の面発光レーザ１０は、実施例１の第１抵抗領域２４Ａの透明電極２３内にアイランドを形成せずに、透明電極２３の第１抵抗領域２４Ａの平均膜厚が第２抵抗領域２４Ｂの平均膜厚よりも薄くしている以外、構成するその他の要素は実施例１と実質的に同一であり、同符号を付した構成、作用についての説明は省略する。

【００３１】

本実施例においては、ＩＴＯ等の透明電極２３の膜厚を、第１抵抗領域２４Ａ（開口部の縁部近傍）で薄く、第２抵抗領域２４Ｂ（開口部の中心）で厚くすることで透明電極２３のシート抵抗Ｒｓに分布を付与している。ＩＴＯ膜厚が薄い部分はシート抵抗Ｒｓが高く、ＩＴＯ透明電極２３の厚い部分はシート抵抗Ｒｓが低くなるため（シート抵抗Ｒｓ１＞シート抵抗Ｒｓ２）、駆動時の第２抵抗領域２４Ｂの電流密度が増大し、温度上昇によりバンドギャップが縮小し、その結果、開口部の中心の透明電極２３の屈折率が増大する。つまり、開口部内で透明電極２３の屈折率ガイド構造を形成することができる。このように、第１抵抗領域２４Ａと第２抵抗領域２４Ｂとで電流注入領域に抵抗差をつけることにより単一横モード発振を安定させることができる。ＩＴＯが厚い部分（第２抵抗領域２４Ｂ）は図７のように平坦（第２反射器２５の界面）に形成する必要がある。これは、例えば透明電極２３を図８に示すように球面状に形成すると、その上部の第２反射器２５に連続的な膜厚分布が生じ、位相変化をもたらしてしまうためである。

【００３２】

図７のように第１抵抗領域２４Ａと第２抵抗領域２４Ｂを膜厚分布を持たせる透明電極２３の形成には図９に示す手法を用いることができる。まず、図９Ａに示すように、電流狭窄層２１と貫通開口部ＯＰ１のｐ型半導体層１９と上を覆う透明電極２３の第１抵抗領域用のＩＴＯの薄い膜を形成する。次に、図９Ｂに示すように、電流狭窄層２１の開口のｐ型半導体層１９上のＩＴＯ膜のみが露出するようにレジストパターンｒｅｓを電流狭窄層２１上のＩＴＯ膜を覆うように形成する。次に、図９Ｃに示すように、透明電極２３の第２抵抗領域用のＩＴＯの厚い膜を、電流狭窄層２１の開口のｐ型半導体層１９上の露出ＩＴＯ膜上にスパッタ法によって形成する。次に、図９Ｄに示すように、リフトオフ法によって、レジストパターンｒｅｓを除去する。これによって、第１抵抗領域２４Ａと第２抵抗領域２４Ｂに膜厚分布を有する透明電極２３をｐ型半導体層１９上に形成できる。すなわち、透明電極２３の開口部分の第２抵抗領域２４Ｂの膜厚は一定であり、第１抵抗領域２４Ａの膜厚は貫通開口部ＯＰ１の縁部に向かって連続的に薄くなっている膜厚分布を得ることが出来る。

【００３３】
また、第１抵抗領域２４Ａと第２抵抗領域２４Ｂに膜厚分布を有する透明電極２３の形成には図１０に示す手法を用いることもできる。まず、図１０Ａに示すように、電流狭窄層を形成する前に、露出したｐ型半導体層１９上を覆う透明電極２３の第１抵抗領域用のＩＴＯの薄い膜をスパッタ法によって形成する。次に、図１０Ｂに示すように、後の電流狭窄層の開口の中央となるべき部位のｐ型半導体層１９上のＩＴＯ膜のみを残すべく、所定レジストパターン（図示せず）を用いてエッチングによって、後の電流狭窄層を形成する部位のＩＴＯ膜を除去する。次に、図１０Ｃに示すように、電流狭窄層の開口のｐ型半導体層１９上のＩＴＯ膜とその周囲（第１抵抗領域の予定部位）を覆うようにレジストパターンｒｅｓを形成する。次に、図１０Ｄに示すように、電流狭窄層２１用のSiO_2の膜を所定膜厚でｐ型半導体層１９上に形成する。次に、図１０Ｅに示すように、リフトオフ法によって、レジストパターンｒｅｓを除去して、電流狭窄層２１に貫通開口部ＯＰ１を形成するとともに、ｐ型半導体層１９上のＩＴＯ膜を露出させる。次に、図１０Ｆに示すように、電流狭窄層２１の開口のｐ型半導体層１９上の露出ＩＴＯ膜上とその周りのｐ型半導体層１９上と電流狭窄層２１上とを覆う透明電極２３の第２抵抗領域用のＩＴＯの厚い膜をスパッタ法によって、形成する。これによって、第１抵抗領域２４Ａと第２抵抗領域２４Ｂに膜厚分布を有する透明電極２３をｐ型半導体層１９上に形成できる。

【実施例３】

【００３４】
図１１は、本発明による実施例３の１つの面発光レーザ１０の一部を模式的に示す部分断面図である。

【００３５】
図１１に示すように、実施例３の面発光レーザ１０は、実施例１の第１抵抗領域２４Ａの透明電極２３内にアイランドを形成せずに、貫通開口部ＯＰ１内の透明電極２３の抵抗値の分布を一様として、貫通開口部ＯＰ１内のｐ型半導体層１９の表面（透明電極２３との界面）に、高抵抗化した第１抵抗領域２４Ａと高抵抗化していない第２抵抗領域２４Ｂとを設けている以外、構成するその他の要素は実施例１と実質的に同一であり、同符号を付した構成、作用についての説明は省略する。

【００３６】
本実施例においては、ｐ型半導体層１９の表面を、第１抵抗領域２４Ａ（開口部の縁部近傍）でプラズマ処理を施し、第２抵抗領域２４Ｂ（開口部の中心）でプラズマ処理を実行しないことで、開口内部のｐ型半導体層１９の表面（透明電極２３との界面）に抵抗値分布を付与している。当該抵抗値分布は、例えばｐ-ＧａＮ半導体層１９の表面に、プラズマ処理、イオン注入、電子線照射等の処理を施し、ガリウムに比して軽元素である窒素を多く弾き出し、意図的に窒素ベーカンシー（nitrogen-vacancy）すなわち窒素空孔の領域ＮＶ（窒素成分原子の欠乏した成分原子空孔領域）を生成させ部分的にｐｎ接合を形成することにより、抵抗値を増大させて形成している。処理後のＧａＮ表面は未照射に比べ直列抵抗が増加する現象を利用している。このように、ｐ型半導体層１９の界面において、開口縁部の第１抵抗領域２４Ａと開口中心の第２抵抗領域２４Ｂとで電流注入領域に抵抗差をつけることにより単一横モード発振を安定させることができる。

【００３７】
プラズマ処理の一例として、図１２Ａに示すように、ｐ型半導体層１９上に電流狭窄層２１と貫通開口部ＯＰ１を形成する。次に、図１２Ｂに示すように、電流狭窄層の貫通開口部ＯＰ１のｐ型半導体層１９上の中央部（第２抵抗領域の予定部位）を覆うようにレジストパターン（図示せず）を形成して、第１抵抗領域の予定部位のｐ型半導体層１９に対して、アルゴンガスにより１パスカル程度の圧力中ＲＦパワー５０Ｗで１０秒から数分間、プラズマ処理する。これにより、貫通開口部ＯＰ１の開口中心の第２抵抗領域２４よりも抵抗値の高い開口縁部の第１抵抗領域２４Ａに窒素空孔領域ＮＶが形成できる。

【００３８】
また、本実施例は、上記の実施例１及び２の透明電極の開口対応部分における第１抵抗

領域と組み合わせて、利用することもできる。すなわち、図３の実施例１においては、図示しないが、第１抵抗領域２４Ａの透明電極２３内にアイランドの直下のｐ型半導体層１９に窒素空孔領域ＮＶを形成してもよい。さらに、図７の実施例２においては、図示しないが、第２抵抗領域２４Ｂの膜厚よりも薄い第１抵抗領域２４Ａの透明電極２３の直下のｐ型半導体層１９に窒素空孔領域ＮＶを形成してもよい。

【００３９】

プラズマ処理を施したｐ－ＧａＮ半導体層における窒素空孔領域ＮＶの存在の有無を調べる窒素ベーカンシー検証手法には、以下のものがある。

【００４０】

（手法１）コンタクト抵抗測定による検証：

ｐ－ＧａＮ表面にてＡｒプラズマ処理（＞５０Ｗ、６０秒以上）を行い、通常のｐ型コンタクト層を形成した際、得られるコンタクト抵抗が通常の$1\times10^{-2}\Omega cm^2$程度から、劇的に悪化する（$1\Omega cm^2$など、プラズマダメージが大きい場合、完全な絶縁性を示す）。これは窒素欠乏したＧａ原子の外郭電子が自由電子となって、ｐ－ＧａＮ中の空孔を補償し、窒素ベーカンシーの濃度が高い場合はｎ型半導体に転じ、全体のダイオード構造は実質的なｎｐｎ構造（トランジスタ）となって、絶縁性を示すためである。

【００４１】

（手法２）表面電位計測による検証：

半導体の表面電位を計測することで表面のキャリアの種類及びキャリア密度を特定することが可能である。例えば、現在使用しているＣＶ(cyclic voltammetry: サイクリックボルタンメトリー)エッチングプロファイラ等を使用すれば、Ａｒプラズマ処理により発生した電子濃度を定量評価し、窒素ベーカンシー濃度を割り出すことが可能である。

【００４２】

（手法３）Ｘ線光電分光法を用いた検証：

Ａｒプラズマ照射有無のＧａＮ表面をＸＰＳ(X-ray Photoelectron Spectroscopy)装置を用いてＧａの３ｄコアスペクトルを調べると、プラズマ処理程度に応じて結合エネルギーが高エネルギー側へ０～数百ｍｅＶ程度シフトする。このシフト量を用いて窒素ベーカンシーの濃度を定量評価することが可能である。

【００４３】

以上の本発明によれば、例えば、４×４でアレイ化して配置された面発光レーザ１０Ａを用いて面発光レーザアレイ白色光源が得られる。例えば、図１３に示すように、面発光レーザ１０Ａの基板１１（第１反射器）側に蛍光体ガラスプレート３０を貼り付ける。そして、Ｓｉ，ＡｌＮ，ＳｉＣ等の高熱伝導材料からなるマウント基板３１の実装面に面発光レーザ１０ＡのＰパッド電極及びＮパッド電極にそれぞれ対応する対応Ｐ接続電極及び対応Ｎ接続電極３１Ｐ，３１Ｎを設けたものを用意する。そして、マウント基板３１の実装面上に面発光レーザ１０Ａの半導体構造層ＳＭＣ（第２反射器、Ｐパッド電極及びＮパッド電極）側をフリップチップ実装して面発光レーザアレイ白色光源が得られる。なお、放熱効率、配線設計の観点から、実装手法にはＡｕ－Ｓｎ共晶層を用いることが好ましい。本発明の用途としては、自動車前照灯をはじめとする高輝度且つ高配光光源やセンサー用多チャンネル信号源が挙げられる。

【００４４】

以上の本発明の面発光レーザによれば、面発光レーザ自体の閾値電流（消費電力）が低減されるだけでなく、面発光レーザの製造歩留まりが向上し、特に、面発光レーザのアレイ化で複数の面発光レーザの発光部間の閾値電流のバラつきの低減に効果がある。

【００４５】

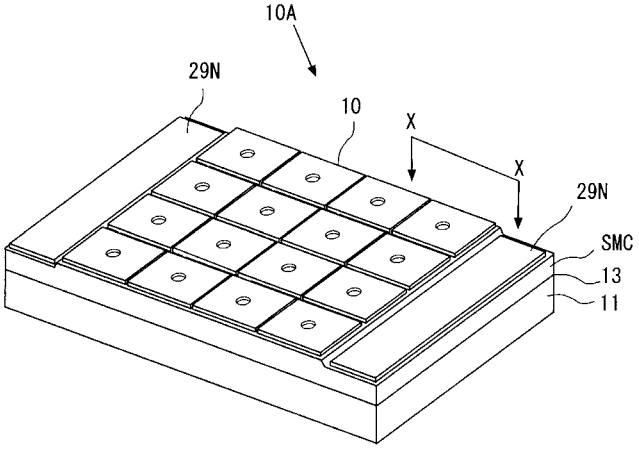
なお、本発明の何れの実施例においても、活性層１７を、多重量子井戸（MQW:Multiple Quantum Well）構造からなる活性層１７を有するように構成された面発光レーザにも適用が可能である。また、半導体構造層ＳＭＣがＧａＮ（窒化ガリウム）系半導体からなる場合について説明したが、結晶系はこれに限定されない。また、上記した実施例を適宜、改変及び組合せてもよい。

【符号の説明】

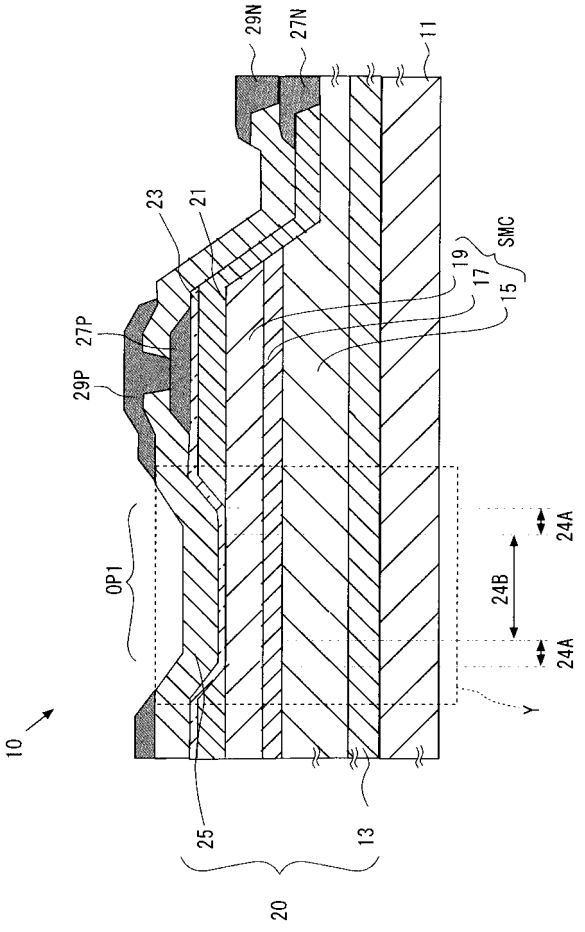
【００４６】

１０　面発光レーザ
１３　第１反射器
１５　ｎ型半導体層（第１の半導体層）
１７　活性層
１９　ｐ型半導体層（第２の半導体層）
２１　電流狭窄層
２３　透明電極
２４Ａ　第１抵抗領域
２４Ｂ　第２抵抗領域
２５　第２反射器
２７Ｐ　Ｐ電極
２７Ｎ　Ｎ電極
２９Ｐ　Ｐパッド電極
２９Ｎ　Ｎパッド電極
ＯＰ１　貫通開口部
ＳＭＣ　半導体構造層

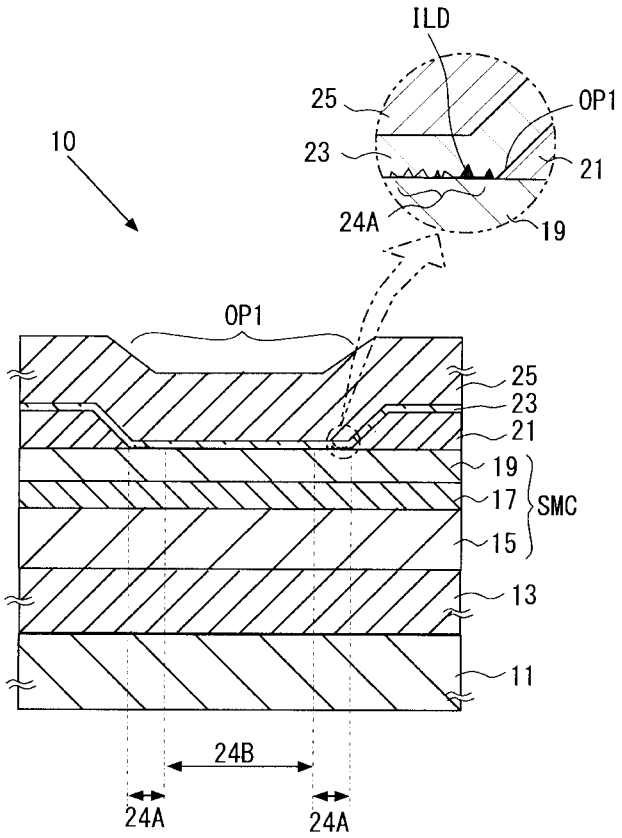
【図１】



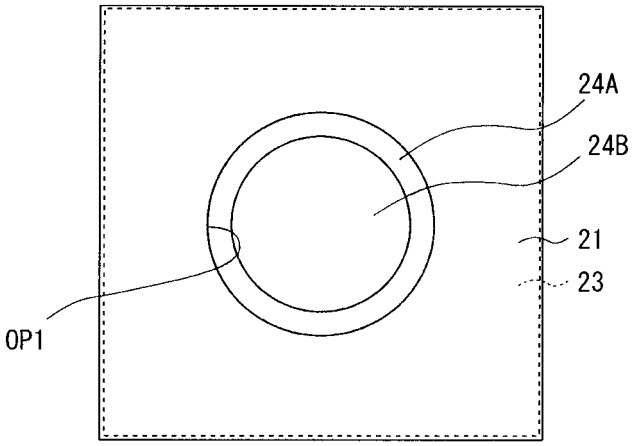
【図２】



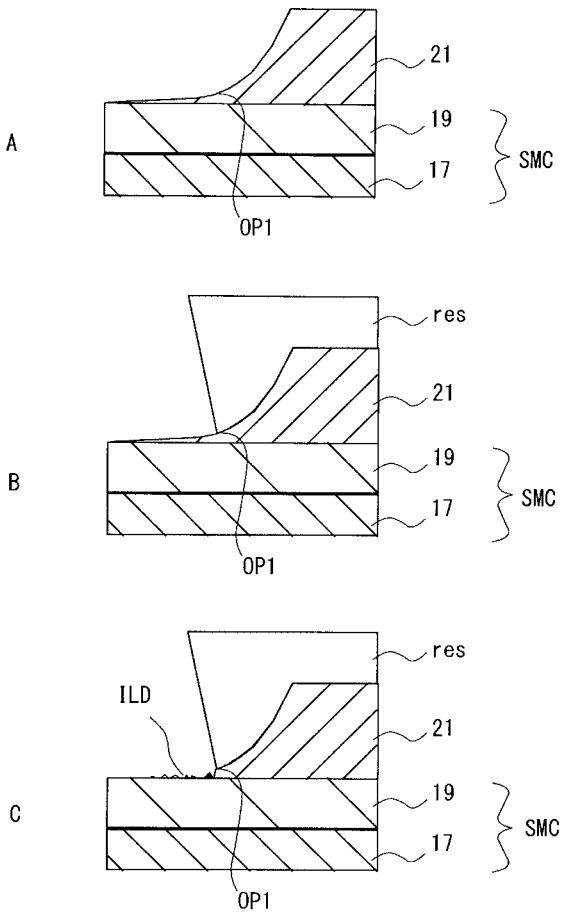
【図３】


ILD
25
OP1
23
21
10
24A
19
OP1
25
23
21
19
17
SMC
15
13
11
24B
24A
24A

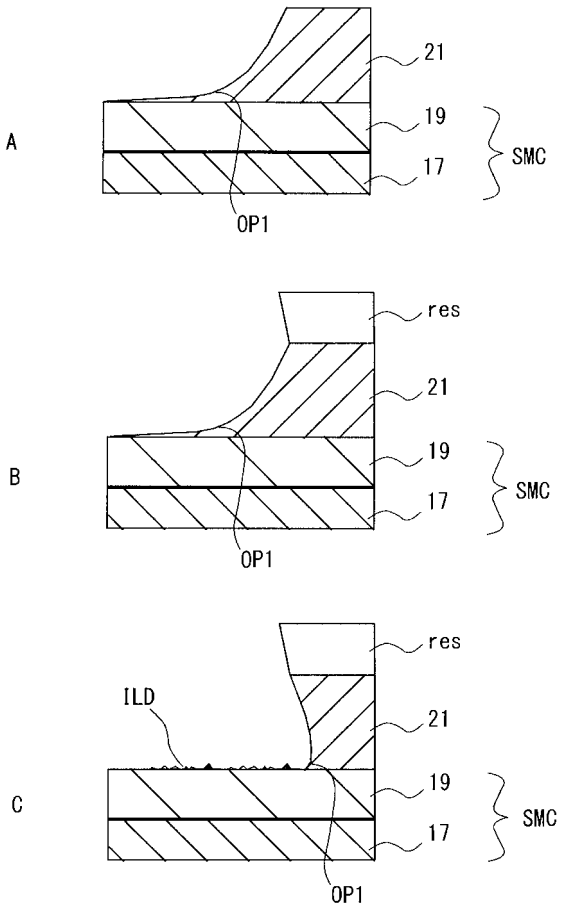
【図４】


24A
24B
21
23
OP1

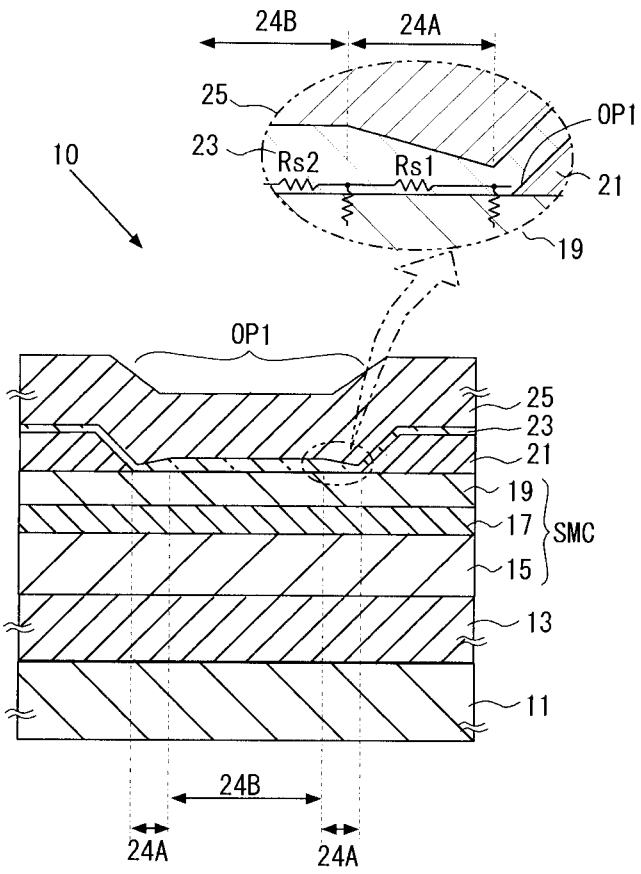
【図５】


A
21
19
17
SMC
OP1
B
res
21
19
17
SMC
OP1
C
res
ILD
21
19
17
SMC
OP1

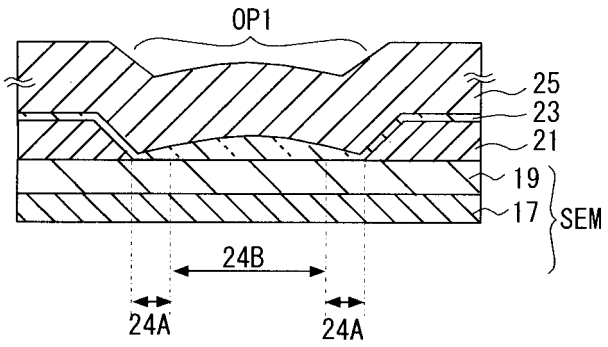
【図６】


A
21
19
17
SMC
OP1
B
res
21
19
17
SMC
OP1
C
res
ILD
21
19
17
SMC
OP1

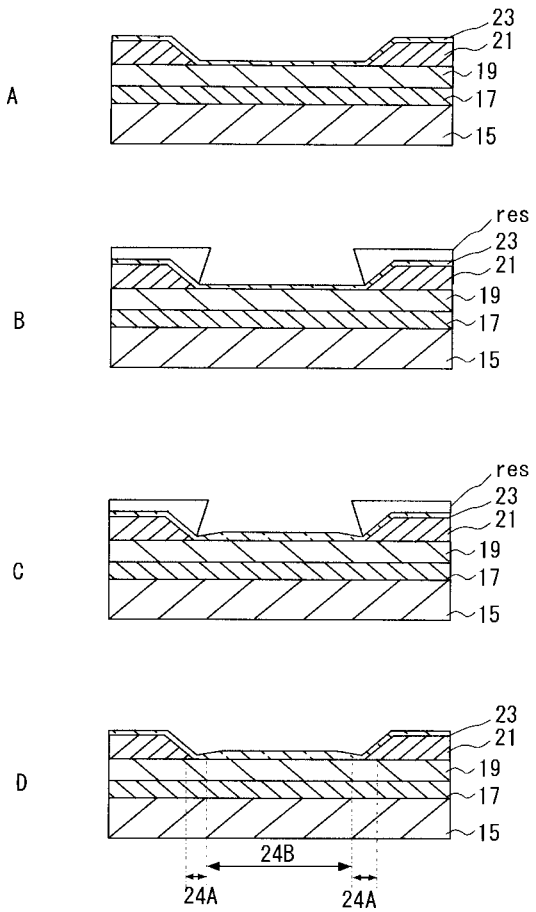
【図７】


24B
24A
25
23
Rs2
Rs1
OP1
21
19
10
OP1
25
23
21
19
17
SMC
15
13
11
24B
24A
24A

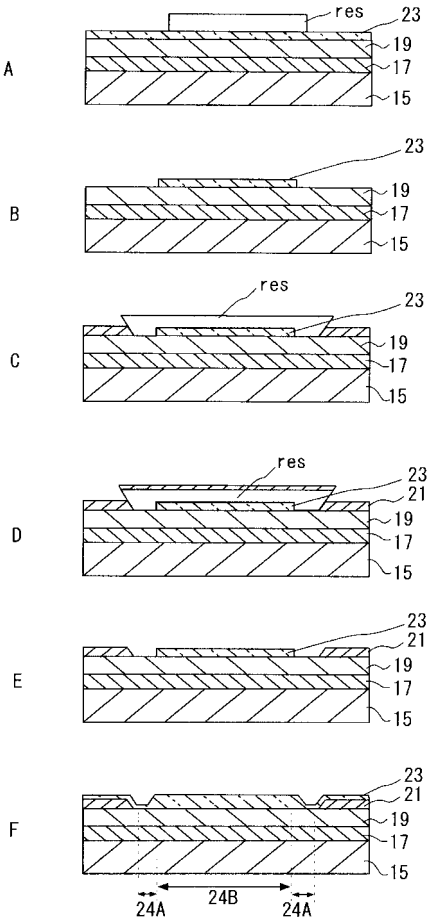
【図８】


OP1
25
23
21
19
17
SEM
24B
24A
24A

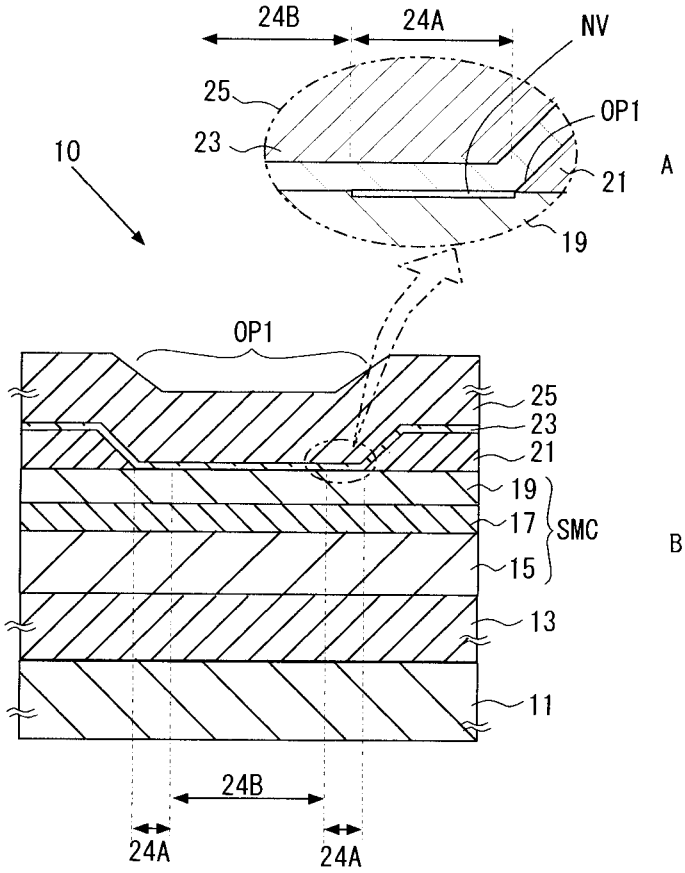
【図９】


A
23
21
19
17
15
B
res
23
21
19
17
15
C
res
23
21
19
17
15
D
23
21
19
17
15
24B
24A
24A

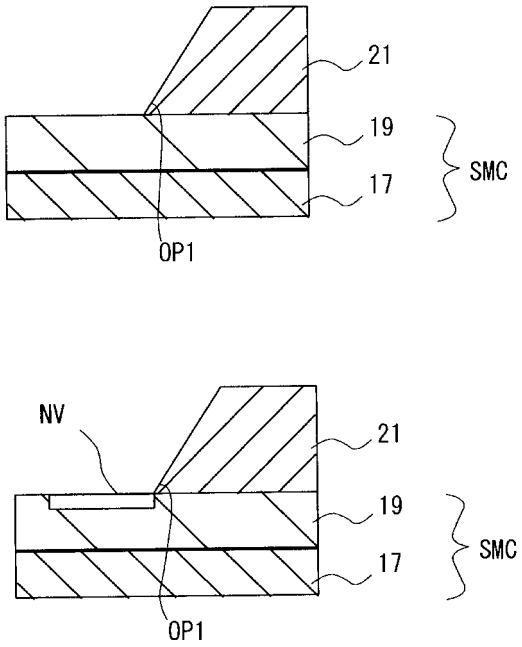
【図１０】


A
res
23
19
17
15
B
23
19
17
15
C
res
23
19
17
15
D
res
23
21
19
17
15
E
23
21
19
17
15
F
23
21
19
17
15
24A
24B
24A

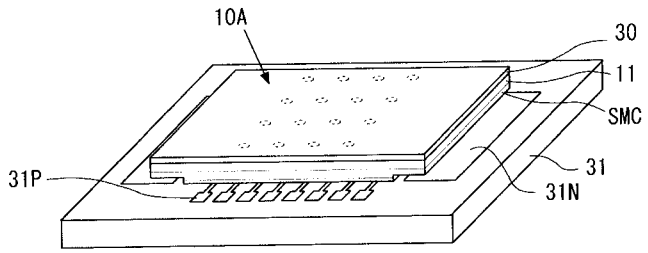
【図１１】


24B
24A
NV
25
OP1
23
10
21
19
OP1
25
23
21
19
17
SMC
15
13
11
24B
24A
24A

【図１２】


21
19
17
SMC
OP1
A
NV
21
19
17
SMC
OP1
B

【図１３】


10A
30
11
SMC
31
31N
31P