

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年3月26日(26.03.2015)

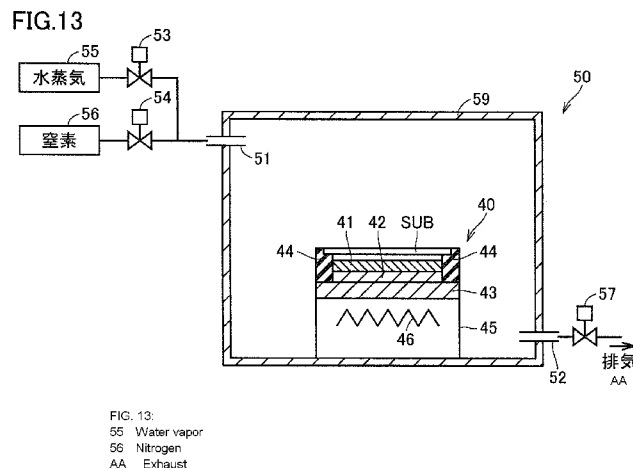


(10) 国際公開番号
WO 2015/040907 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/183 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/066114
- (22) 国際出願日: 2014年6月18日(18.06.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-191860 2013年9月17日(17.09.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 大久保 聡(OKUBO, Satoshi); 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島2丁目2番7号 中之島セントラルタワー Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING VERTICAL-CAVITY SURFACE-EMITTING LASER

(54) 発明の名称: 垂直共振器型面発光レーザの製造方法



(57) Abstract: A method for manufacturing a vertical-cavity surface-emitting laser, provided with: a step for forming a laminated article comprising first and second reflection mirror layers (11, 15), an active layer (13), and an oxidizable layer (16), to be formed into a current confinement structure, on a substrate; a step for machining the laminated article so that at least a side surface of the oxidizable layer (16) is exposed; and a step, after the laminated article is machined, for causing the oxidizable layer (16) to be oxidized from the side surface and thereby forming a current confinement structure. The above step for forming a current confinement structure includes a step for holding the substrate (SUB) along, and set apart from, a heat equalizing plate (41) placed on a heat transfer member (42), and a step for heating the heat transfer member (42) and thereby heating the substrate (SUB) using heat radiated from the heat equalizing plate (41).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/040907 A1



垂直共振器型面発光レーザの製造方法は、第１および第２の反射鏡層（１１，１５）、活性層（１３）、ならびに電流狭窄構造となる被酸化層（１６）を含む積層体を基板上に形成するステップと、少なくとも被酸化層（１６）の側面が露出するように、積層体を加工するステップと、積層体を加工した後、被酸化層（１６）を側面から酸化させることによって電流狭窄構造を形成するステップとを備える。上記の電流狭窄構造を形成するステップは、伝熱部材（４２）上に載置された均熱板（４１）に沿うとともに均熱板（４１）から離間させて基板（ＳＵＢ）を保持するステップと、伝熱部材（４２）を加熱することによって均熱板（４２）からの輻射熱で基板（ＳＵＢ）を加熱するステップとを含む。

明 細 書

発明の名称：垂直共振器型面発光レーザの製造方法

技術分野

[0001] この発明は、垂直共振器型面発光レーザの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL：Vertical Cavity Surface Emitting Laser）は、基板面と垂直方向に光共振器を形成することにより、基板面と垂直方向にレーザ光を出力するレーザ装置である。通常、VCSELでは、電流を発光領域に集中させるために電流狭窄構造が形成される。

[0003] 電流狭窄構造として多くの場合、AlAs（アルミニウム・ヒ素）層の外周側を酸化させることによって形成された開口構造が利用される。具体的には、AlAs層が側面に露出するようにメサ型に加工した積層体（酸化対象物）が形成された基板を400～500℃の加熱水蒸気中に保持することによってAlAs層の酸化が実行される。この場合、基板内の温度分布は±1℃以内であることが望ましい。

[0004] 基板内の温度分布を均一化させる方法として、特開2011-18876号公報（特許文献1）に記載された方法が知られている。この文献の方法では、酸化対象物が形成された基板の加熱酸化時における反りに倣って、基板が載置される放熱板の上部表面が球面状に加工される。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2011-18876号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 上記の特開2011-18876号公報（特許文献1）に記載の方法には以下の問題がある。まず、基板の反り量は、基板の温度によって異なるので、加熱酸化時の反り量を正確に把握することは難しい。さらに、基板の反り

量は基板上に形成されるエピタキシャル膜の構造やその成長条件によっても異なるため、製品の種類（型番）ごとに異なる大きさとなる。このため、上記の文献の方法を実現するためには、製品の種類ごとに上部表面の曲率が異なる放熱板を準備する必要があることになり、容易でない。

[0007] そもそも、基板の反り量は $20\mu\text{m}$ 程度である。したがって、放熱板と基板との間に数百 μm 程度のスペースを設けて、輻射熱によって加熱する場合には、基板の反り量は十分に無視できる値であり、放熱板の上面をわざわざ球面に加工する必要はない。

[0008] この発明の発明者らは、放熱板と基板との間にスペースを設けて放熱板からの輻射熱によって基板を加熱する場合に問題となるのは、基板の温度分布が放熱板上面の温度分布をそのまま反映するために、放熱板の温度分布であることを見出した。通常、放熱板はヒータ装置の内部に設けられた電熱線によって加熱されるので、電熱線の配置によって放熱板にかなりの温度分布が生じることになるからである。ところが、上記の特許文献1では、この放熱板の温度分布について何ら考慮されていない。

[0009] この発明は、上記の問題を考慮してなされたものであり、その目的は、垂直共振器型面発光レーザの製造において、加熱酸化の方法によって電流狭窄層を形成する際に、従来よりも基板内の温度分布を均一化することである。

課題を解決するための手段

[0010] この発明は一局面において垂直共振器型面発光レーザの製造方法であって、第1および第2の反射鏡層、活性層、ならびに電流狭窄構造となる被酸化層を含む積層体を基板上に形成するステップと、少なくとも被酸化層の側面が露出するように、積層体をメサ状に加工するステップと、積層体をメサ状に加工した後に、被酸化層を側面から酸化させることによって電流狭窄構造を形成するステップとを備える。上記の電流狭窄構造を形成するステップは、伝熱部材上に載置された均熱板に沿うとともに均熱板から離間させて基板を保持するステップと、伝熱部材を加熱することによって均熱板からの輻射熱で基板を加熱するステップとを含む。

- [0011] 上記の製造方法によれば、伝熱部材の温度分布が均熱板によって均一化されるので、基板面内の温度の均一性がより高い状態での酸化が可能になる。
- [0012] 好ましくは、均熱板は、面方向の熱伝導率が垂直方向の熱伝導率よりも大きい異方性材料によって構成される。上記のような異方性材料を均熱板に用いることによって、伝熱部材に温度分布が生じていたとしても均熱板内での温度分布を効果的に抑制することができる。
- [0013] 好ましくは、均熱板の材料は、パイロリティック・グラファイトである。パイロリティック・グラファイトは上記のような熱伝導率の異方性を有している。
- [0014] 好ましくは、上記の基板を保持するステップは、伝熱部材に取り付けられたスペーサによって基板の周縁部を支持するステップを含む。この場合、スペーサの熱伝導率は、均熱板の垂直方向の熱伝導率よりも小さいことが好ましい。上記の構成によって、スペーサを介した熱伝導によって基板が加熱されることを抑制することができる。
- [0015] 好ましくは、上記の伝熱部材および均熱板は酸化炉内に設けられる。上記の基板を加熱するステップは、酸化炉内を減圧した状態で実行される。減圧下で基板を加熱することにより、気体を介した熱伝導による基板の加熱が抑制され、主として均熱板 41 からの熱輻射によって基板が加熱されるようになるので、基板の温度均一性をさらに高めることができる。

発明の効果

- [0016] したがって、この発明によれば、直共振器型面発光レーザの製造において、加熱酸化の方法によって電流狭窄層を形成する際に、従来よりも基板内の温度分布を均一化することができる。

図面の簡単な説明

- [0017] [図1]VCSELの構成を模式的に示す平面図である。
- [図2]図1のⅠⅠ-ⅠⅠ線に沿った断面構造を模式的に示す図である。
- [図3]図2の一部を拡大した図である。
- [図4]図3の各層のA1組成の分布図である。

[図5]VCSELの作製プロセスにおいて、多層のエピタキシャル膜を模式的に示す断面図である。

[図6]VCSELの作製プロセスにおいて、メサポスト構造の形成を模式的に示す断面図である。

[図7]VCSELの作製プロセスにおいて、電流狭窄層の外周部の酸化を模式的に示す断面図である。

[図8]VCSELの作製プロセスにおいて、耐湿膜の形成を模式的に示す断面図である。

[図9]VCSELの作製プロセスにおいて、コンタクト電極の形成を模式的に示す断面図である。

[図10]VCSELの作製プロセスにおいて、ポリイミドパターンの形成を模式的に示す断面図である。

[図11]VCSELの作製プロセスにおいて、パッド電極の形成を模式的に示す断面図である。

[図12]VCSELの作製プロセスを示すフローチャートである。

[図13]酸化炉の構成を模式的に示す断面図である。

[図14]図13に示す基板加熱機構40の要部を拡大して模式的に示した断面図である。

[図15]加熱水蒸気酸化工程（図12のステップS140）の手順を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、実施形態について図面を参照して詳しく説明する。以下では、VCSELの構成およびその製造方法について説明した後、この発明の特徴である基板加熱の方法について詳しく説明する。なお、以下の説明において、同一または相当する部分には同一の参照符号を付して、その説明を繰返さない場合がある。

[0019] [VCSELの構成]

図1は、VCSELの構成を模式的に示す平面図である。図2は、図1の

ⅠⅠーⅠⅠ線に沿った断面構造を模式的に示す図である。図3は、図2の一部を拡大した図である。なお、図2および図3に示す断面図は模式図であって、図中の各層の厚みは実際のデバイスの厚みと比例関係にない。

[0020] 図1～図3を参照して、VCSEL1は、基板10と、半導体多層膜反射鏡層11、15と、クラッド層12、14と、活性層13と、半導体多層膜反射鏡層15の内部に設けられた電流狭窄層16と、アノード電極層19と、カソード電極層20とを含む。

[0021] この実施形態では、基板10としてN型の導電型を示すGaAs（ガリウム・ヒ素）半導体基板が用いられる。基板10の裏面にカソード電極層（裏面電極層）20が形成される。なお、図1～図3の場合と異なるが、基板10として半絶縁性を示すノンドープのGaAs基板を用いることもできる。この場合には、カソード電極層20は、DBR層11の表面に形成される。

[0022] 基板10上には、N型の導電型を示す化合物半導体で構成された半導体多層膜反射鏡（DBR：Distributed Bragg Reflector）層11が形成される。DBR層11は、たとえば $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ と $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ とを光学膜厚 $\lambda/4$ ずつ（ λ は波長を表す）交互に積層した構造を含む。N型の導電型を与えるためにSi（シリコン）がドーピングされており、その濃度は、たとえば $2\sim 3\times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ である。SiはGa（Al）サイトに配位してドナーになりやすい。

[0023] なお、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ （アルミニウム・ガリウム・ヒ素）は、GaAsとAlAsとの混晶半導体であり、Al組成（X）が高いほどエネルギーギャップが広く、屈折率は低くなる。Al組成（X）に応じて格子定数がほとんど変化しないために、あらゆるAl組成（X）の $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ 膜をGaAs基板上にエピタキシャル成長可能である。この明細書では、Al組成（X）を特定しない場合には、AlGaAsと記載する場合がある。

[0024] DBR層11の上に、レーザ光を発生する活性領域が形成される。活性領域は、クラッド層12、14と、クラッド層12、14に挟まれた光学利得を有する活性層13とによって構成される。活性層13には、量子井戸層と

障壁層とを多重に積層した多重量子井戸（MQW：Multiple Quantum Well）が形成される。活性層 13 は、不純物を導入しないノンドープ領域である。

[0025] クラッド層 12, 14 は、デバイスの抵抗値の設計に応じて、ノンドープにすることも部分的にドープすることもできる。本実施形態では、N 型および P 型 DBR 層 11, 15 に接するクラッド層 12, 14 の一部に、隣接する DBR 層 11, 15 と同じ導電型の不純物をドープしている。

[0026] 活性領域の上に、P 型の導電型を示す化合物半導体で構成された上層側の DBR 層 15 が形成される。上層側の DBR 層 15 は、下層側の DBR 層 11 とともに光共振器を構成する。DBR 層 15 は、電流狭窄層 16 を除いて、下層側（基板側）の DBR 層 11 と同様に、たとえば $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ と $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ とを光学膜厚 $\lambda/4$ ずつ交互に積層した構造を含む。P 型の導電型を与えるために、C（カーボン）がドーピングされており、その濃度は、たとえば $2 \sim 3 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ である。C は As サイトに配位してアクセプタになりやすい。

[0027] ここで、導電型を上記と逆にして、基板 10 を P 型半導体基板にし、下層側の DBR 層 11 の導電型を P 型にし、上層側の DBR 層 15 の導電型を N 型としてもよい。なお、この明細書において第 1 および第 2 の導電型と記載した場合には、第 1 および第 2 の導電型のうち一方が P 型であり、他方が N 型である。

[0028] さらに、上層側の DBR 層 15 の一部に、活性領域に効率よく電流を注入し、レンズ効果をもたらす電流狭窄層 16 が形成される。図 3 に示すように、電流狭窄層 16 は中心部分の未酸化部 18 とその周囲のほぼ絶縁体の酸化部 17 とを有する。この構造は、電流狭窄層 16 となるべき被酸化層を $0.95 \leq X \leq 1$ の $\text{Al}_X\text{Ga}_{(1-X)}\text{As}$ で形成し（ $X = 1$ の場合、すなわち AlAs を含む）、被酸化層を含むエピタキシャル多層膜をメサポスト形状に加工した後、加熱水蒸気雰囲気下で被酸化層を周囲から選択的に酸化させることによって得られる。中心部分の未酸化部 18 のみが電流経路となるので、活

性領域に効率よく電流を注入できる。

[0029] 図1、図2に示すようにメサポスト構造を有するエピタキシャル多層膜上には、防湿用の絶縁膜21（耐湿膜とも称する）が形成されている。メサポスト上部の絶縁膜21にはDBR層15の表面が露出するような開口が形成される。露出したDBR層15の表面には、アノード電極層19（リング電極層）が接続される。アノード電極層19にはボンディング用のパッド電極23が接続される。パッド電極23とDBR層11との間には、寄生容量を低減するためにポリイミドパターン22が設けられている。

[0030] [AⅠ組成分布]

図4は、図3の各層のAⅠ組成の分布図である。図4の縦軸は $AⅠ_xGa_{(1-x)}As$ のAⅠ含有量（X）を示し、横軸はVCSELの深さ方向を任意単位（AU）で示す。X=0の場合はGaAsを意味し、X=1の場合はAⅠAsを意味する。

[0031] 図4を参照して、DBR層11、15では、AⅠ含有量が多い低屈折率層とAⅠ含有量が少ない高屈折率層とが交互に積層されている。DBR層11、15のうちクラッド層12、14に隣接する領域が第1番目の低屈折率層に相当する。図4の場合、電流狭窄層16は、DBR層15の第1番目の低屈折率層内で、最も活性層13から離間した位置に形成される。電流狭窄層16を第1番目の低屈折率層内でより下層側（たとえば、クラッド層14に隣接する位置）に配置してもよい。P型ドープ領域31は、DBR層15からクラッド層14の一部にまで達する。

[0032] なお、電流狭窄層16は、DBR層15を構成する第1番目の低屈折率層の内部に形成されていたが、クラッド層14の内部など、より活性層13に近い位置に配置することも可能である。したがって、より一般的に言えば、電流狭窄層16は、DBR層15の内部またはDBR層15と活性層13との間に配置される。あるいは、電流狭窄層16は、活性層13よりも基板10側に配置することも可能であり、DBR層11の内部またはDBR層11と活性層13との間に配置してもよい。

[0033] [VCSELの作製プロセス]

図5～図11は、VCSELの作製プロセスを模式的に示す断面図である。図12は、VCSELの作製プロセスを示すフローチャートである。以下、図5～図12を参照して、図1～図4で示したVCSEL1の作製方法について説明する。

[0034] 図5を参照して、半導体基板10（ここでは、N型GaAs基板）上に、多層のエピタキシャル膜11～16を形成する。エピタキシャル膜の形成はMOCVD（Metal Organic Chemical Vapor Deposition）またはMBE（Molecular Beam Epitaxy）などの手法が好適である。

[0035] 具体的に、GaAs基板10上に、まずN型の導電型を示すDBR層11を形成する（図12のステップS100）。DBR層11は、高屈折領域、低屈折領域がそれぞれ $\lambda/4$ となる光学膜厚を1ペアとして、30～40層形成する。高屈折材料として $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ で $x=0.1$ 程度のものが、低屈折材料として $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ で $x=0.9$ 程度のものが利用できる。N型の導電型を得るために、Siを不純物として $2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ 程度導入する。

[0036] 次にN型DBR層11の上に、クラッド層12、14に挟まれた形で量子井戸（QW：Quantum Well）を含む活性層13を形成する（図12のステップS105～S115）。活性層13およびクラッド層12、14は、発振波長に応じて適宜、その膜厚および材料を調整することができる。たとえば、活性層13の材料としてはGaAsを利用し、発振波長が850nmとなるように調整できる。

[0037] 次にクラッド層14の上に、P型DBR層15、15Aを形成する（図12のステップS120～S130）。P型DBR層15、15AもN型DBR層11と同様に、高屈折領域および低屈折領域がそれぞれ $\lambda/4$ となる光学膜厚を1ペアとして20層程度形成する。高屈折材料として $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ で $x=0.1$ 程度のものが、低屈折材料として $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ で $x=0.9$ 程度のものが利用できる。P型の導電型を得るために、Cを不純物として

$2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ 程度導入する。

[0038] ただし、図1～図4に示す構造の場合には、クラッド層14に接する第1番目の低屈折率層に電流狭窄層16となるべき被酸化層が形成される。具体的には、例えば、クラッド層14の上に $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ 層15A（ただし、 $x=0.65$ ）を $2 \sim 3 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ 程度のC（カーボン）を導入しながら形成し（図12のステップS120）、次に、Al組成Xを0.95以上に増加させることにより、被酸化層として $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ 層（ただし、 $0.95 \leq x \leq 1$ ）を $2 \sim 3 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ 程度のC（カーボン）を導入しながら形成する（図12のステップS125）。

[0039] 電流狭窄層16となるべき被酸化層は、酸化処理を行うときの体積収縮により歪が発生するので、歪の影響を抑えるために40nm以下にすることが望ましい。この被酸化層は、図4で説明したように、第1番目の低屈折率層中で上層寄りの位置に形成しても、下層寄りの位置に形成してもよい。

[0040] 図6を参照して、上記のように基板10上に形成したエピタキシャル多層膜（積層体）を、電流狭窄構造を形成するため、たとえば $\phi 30 \mu\text{m}$ のメサポストパターンに加工する（図12のステップS135）。メサポストパターンは、フォトリソグラフィーおよびドライエッチングの手法で形成する。ドライエッチングは、少なくとも電流狭窄層16となるべき被酸化層の側面が露出するまで行う必要があり、図6の場合には下層側のDBR層11の表面が露出する深さまで行っている。

[0041] 図7を参照して、次に、メサポストパターンに加工されたエピタキシャル多層膜付き基板を水蒸気雰囲気中で 450°C 以上に加熱することで、電流狭窄層16となるべき被酸化膜をその外周部から選択的に酸化を進行させることにより、酸化部17を形成する（図12のステップS140）。酸化時間は、中心部分の未酸化部18が $\phi 10 \mu\text{m}$ となるように調整する。

[0042] 図8を参照して、次に、耐湿膜21として、窒化シリコン膜または酸化シリコン膜を形成する（図12のステップS145）。耐湿膜21の形成は、CVDまたはスパッタなどの手法が適用可能である。メサポストの上部には

、コンタクト電極層用の開口が、フォトリソグラフィーおよびドライエッチングの手法で形成される（図１２のステップＳ１５０）。

[0043] 図９を参照して、次に、メサポスト上部の開口部に、たとえばフォトリソグラフィーおよび蒸着によりＰ型コンタクト電極層（アノード電極層）１９を形成する（図１２のステップＳ１５５）。Ｐ型コンタクト電極層１９として、たとえば、Ｔｉ（チタン）、Ｐｔ（白金）、およびＡｕ（金）からなる積層膜を利用することができる。

[0044] 図１０を参照して、次に、パッド電極２３下の容量低減の目的でポリイミドパターン２２を形成する（図１２のステップＳ１６０）。図１１を参照して、次に、Ｐ型コンタクト電極層１９と接続するパッド電極２３を、たとえばフォトリソグラフィーおよびスパッタリング製膜の手法で形成する（図１２のステップＳ１６５）。

[0045] その後、図１～図３に示すように、基板１０の厚みを調整した後に裏面電極層２０を形成する（図１２のステップＳ１７０）。裏面電極層２０として、たとえば、Ａｕ、Ｇｅ、およびＮｉからなる積層膜を用いることができる。さらに、各電極層１９、２０と半導体層とのオーミックコンタクトをとるためのアニール処理（図１２のステップＳ１７５）を行うことで、ＶＣＳＥＬ１が完成する。

[0046] [電流狭窄構造の形成方法の詳細]

次に、本発明の特徴的部分である加熱水蒸気酸化による電流狭窄層の形成方法（図１２のステップＳ１４０）について説明する。

[0047] 図１３は、酸化炉の構成を模式的に示す断面図である。図１３を参照して、酸化炉５０は、チャンバ５９と、チャンバ５９内に設けられた基板加熱機構４０と、チャンバ５９の壁を貫通する配管５１、５２とを含む。

[0048] 配管５１は、バルブ５３を介して水蒸気供給源５５に接続されるとともに、バルブ５４を介して窒素供給源５６に接続される。これによって、チャンバ５９内に水蒸気と窒素との混合ガスを供給することができる。

[0049] 配管５２は、排気孔として用いられ、バルブ５７を介してチャンバ内のガ

スが排気される。なお、チャンバ59内を減圧する場合には、配管52を、バルブ57を介して排気装置（たとえば、真空ポンプ）に接続してもよい。

[0050] 図14は、図13に示す基板加熱機構40の要部を拡大して模式的に示した断面図である。図13および図14を参照して、基板加熱機構40は、伝熱部材42、43と、伝熱部材42上に載置された均熱板41と、伝熱部材42に取り付けられたスペーサ44と、伝熱部材43を加熱するヒータ装置45とを含む。

[0051] 伝熱部材42、43は、熱伝導率が等方性の材料によって形成され、たとえば、等方性カーボン材によって形成される。等方性カーボン材の熱伝導率は、たとえば、 $110\text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ である。なお、図14には、2枚の板状の伝熱部材42、43が重ねられた構造が示されているが、これらを一つの構造体として形成しても構わない。

[0052] 伝熱部材43の下面側（加熱対象の基板SUBと反対側）がヒータ装置45によって加熱される。ヒータ装置45は、電熱線46が埋め込まれたホットプレートであってもよいし、ランプヒータであってもよい。

[0053] 均熱板41は、伝熱部材42の上部平面上に載置される。均熱板41は、その面方向の熱伝導率が垂直方向の熱伝導率よりも高い異方性材料によって構成される。均熱板41の材料として、たとえば、パイロリティック・グラフアイト（PG: Pyrolytic Graphite）を用いることができる。PG材の熱伝導率は、たとえば、面方向に $350\text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ であり、垂直方向に $2\text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ である。この場合、面方向の熱伝導率と垂直方向の熱伝導率の比は175:1である。また、均熱板41の面方向の熱伝導率は伝熱部材42の熱伝導率よりも大きく、均熱板41の垂直方向の熱伝導率は伝熱部材42の熱伝導率よりもかなり小さいことが望ましい。

[0054] スペーサ44は、伝熱部材42に取り付けられ、基板SUBの周縁部を支持する。スペーサ44を介した熱伝導による基板SUBの加熱を抑制するために、スペーサ44の熱伝導率は、等方的であり、かつ、均熱板41の垂直方向の熱伝導率よりも小さいのが望ましい。スペーサ44として、たとえば

、熱伝導率 $1.6 \text{ W} / (\text{K} \cdot \text{m})$ のセラミック材料を用いることができる。

[0055] 基板加熱機構40の各部の厚みは、一例として、伝熱部材42の厚み b を 2.7 mm とし、均熱板41の厚み a を 2 mm とすることができる。この場合、伝熱部材43の上面から基板SUBの下面までの距離 c （スペーサの高さ）を 5 mm とすれば、均熱板41と基板SUBとの間に 0.3 mm のスペーサを形成することができる。これによって、基板SUBは、均熱板41からの輻射熱で加熱される。

[0056] 図15は、加熱水蒸気酸化工程（図12のステップS140）の手順を示すフローチャートである。図13および図15を参照して、まず、加熱対象となる試料（基板上の多層体がメサポスト状に加工されたもの）が酸化炉チャンバ59内の基板加熱機構40の所定の位置に（すなわち、図14のスペーサ44上に）固定される（ステップS200）。

[0057] 次に、減圧下で加熱水蒸気酸化を行う場合には、酸化炉チャンバ59内の減圧を開始し（ステップS205）、その後、水蒸気と窒素との混合ガスをチャンバ59内への供給を開始する（ステップS210）。水蒸気および窒素の混合ガスの供給量と排気量とのバランスによってチャンバ59内の圧力が決まる。減圧下で加熱することにより、気体を介した熱伝導による基板加熱が抑制され、主として均熱板41からの熱輻射によって基板が加熱されるようになるので、基板の温度均一性をさらに高めることができる。

[0058] 一方、大気圧下で加熱水蒸気酸化を行う場合には、ステップS205は実行されない。この場合、配管51のバルブを開放した状態で、水蒸気と窒素との混合ガスのチャンバ59内への供給が開始される（ステップS210）。

[0059] チャンバ59内が水蒸気雰囲気になるとともに、減圧下での酸化の場合にはチャンバ内の圧力が所定値になったら、ヒータ装置45による伝熱部材43の加熱が開始される。ヒータ装置45から伝熱部材43に与えられる熱量（より具体的には、電熱線46を流れる電流量）は、基板（試料）の特定位置での温度検出値に応じてフィードバック制御される。具体的には、基板の

特定位置（たとえば、中心位置）での温度が $450^{\circ}\text{C}\sim 500^{\circ}\text{C}$ の間の所定設定温度となるように制御される。

[0060] ヒータをオンしてから、所定の酸化時間が経過したら、水蒸気の供給が停止され（ステップS220）、ヒータ装置45による加熱がオフされる（ステップS225）。その後、試料が室温近くまで冷却されると、試料が酸化炉チャンバ59内から取り出される。

[0061] [比較実験の結果]

上記の均熱板41の効果を確認するため、図14に示す基板加熱機構40の構成において均熱板41を設けた場合（条件1）と均熱板41を設けなかった場合（条件2）とで、基板温度の面内分布を比較する実験を行った。基板温度は、基板の中心から $40\text{mm}\phi$ 以内の複数個所で測定した。条件1と条件2とで基板温度の平均値が等しくなるようにヒータ装置45の出力を設定したところ、均熱板41を設けた場合の（条件1）の標準偏差 σ は 1.2°C であったのに対し、均熱板41を設けない場合（条件2）の標準偏差 σ は 3.9°C となった。すなわち、均熱板41を設けることによって標準偏差が約 $1/3$ になっており、均熱板41による基板温度の均一化の効果が確認された。

[0062] [効果]

以上の実施形態によれば、伝熱部材42の上部表面に均熱板41を載置することにより、ヒータ装置45から伝熱部材42、43を介した熱伝導によって伝達された熱は、均熱板41内で均一化される。その後、均熱板41からの輻射熱によって基板SUBが加熱されるので、基板面内の温度をより均一化することができる。これによって、電流狭窄層16となる被酸化層（ $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ 層、ただし、 $0.95 \leq x \leq 1$ ）の酸化速度を面内で一定にすることができ、図3の未酸化部18および酸化部17の寸法の面内でのばらつきを抑制することができる。

[0063] [変形例]

上記の実施形態では、DBR層11、15、クラッド層12、14、活性

層 1 3、および電流狭窄層 1 6 となるべき被酸化層を含む積層体をメサポスト状に加工した。これに代えてリセス構造に積層体を加工してもよい。リセス構造の場合も、電流狭窄層 1 6 となるべき被酸化層の側面から酸化が進行することによって、未酸化部を取り囲むように酸化部が形成される。

[0064] 今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものでないと考えられるべきである。この発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

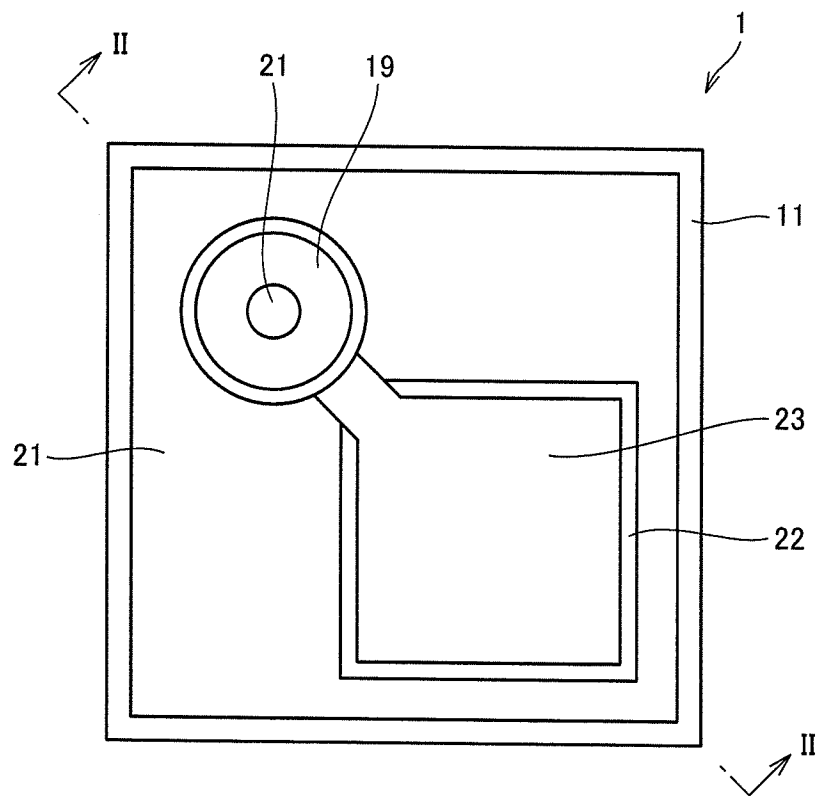
[0065] 1 VCSEL、10 基板、11, 15 半導体多層膜反射鏡層（DBR層）、12, 14 クラッド層、13 活性層、16 電流狭窄層、17 酸化部、18 未酸化部、19 コンタクト電極層（アノード電極層）、20 裏面電極層（カソード電極層）、21 耐湿膜（絶縁膜）、22 ポリイミドパターン、23 パッド電極、25 高抵抗領域、30 N型ドープ領域、31 P型ドープ領域、40 基板加熱機構、41 均熱板、42, 43 伝熱部材、44 スペーサ、45 ヒータ装置、46 電熱線、50 酸化炉、55 水蒸気供給源、56 窒素供給源、59 チャンバ。

請求の範囲

- [請求項1] 第1および第2の反射鏡層、活性層、ならびに電流狭窄構造となる被酸化層を含む積層体を基板上に形成するステップと、
- 少なくとも前記被酸化層の側面が露出するように、前記積層体を加工するステップと、
- 前記積層体を加工した後に、前記被酸化層を側面から酸化させることによって電流狭窄構造を形成するステップとを備え、
- 前記電流狭窄構造を形成するステップは、
- 伝熱部材上に載置された均熱板に沿うとともに前記均熱板から離間させて前記基板を保持するステップと、
- 前記伝熱部材を加熱することによって前記均熱板からの輻射熱で前記基板を加熱するステップとを含む、垂直共振器型面発光レーザの製造方法。
- [請求項2] 前記均熱板は、面方向の熱伝導率が垂直方向の熱伝導率よりも大きい異方性材料によって構成される、請求項1に記載の垂直共振器型面発光レーザの製造方法。
- [請求項3] 前記均熱板の材料は、パイロリティック・グラファイトである、請求項2に記載の垂直共振器型面発光レーザの製造方法。
- [請求項4] 前記基板を保持するステップは、前記伝熱部材に取り付けられたスペーサによって前記基板の周縁部を支持するステップを含み、
- 前記スペーサの熱伝導率は、前記均熱板の垂直方向の熱伝導率よりも小さい、請求項2または3に記載の垂直共振器型面発光レーザの製造方法。
- [請求項5] 前記伝熱部材および前記均熱板は酸化炉内に設けられ、
- 前記基板を加熱するステップは、前記酸化炉内を減圧した状態で実行される、請求項1～4のいずれか1項に記載の垂直共振器型面発光レーザの製造方法。

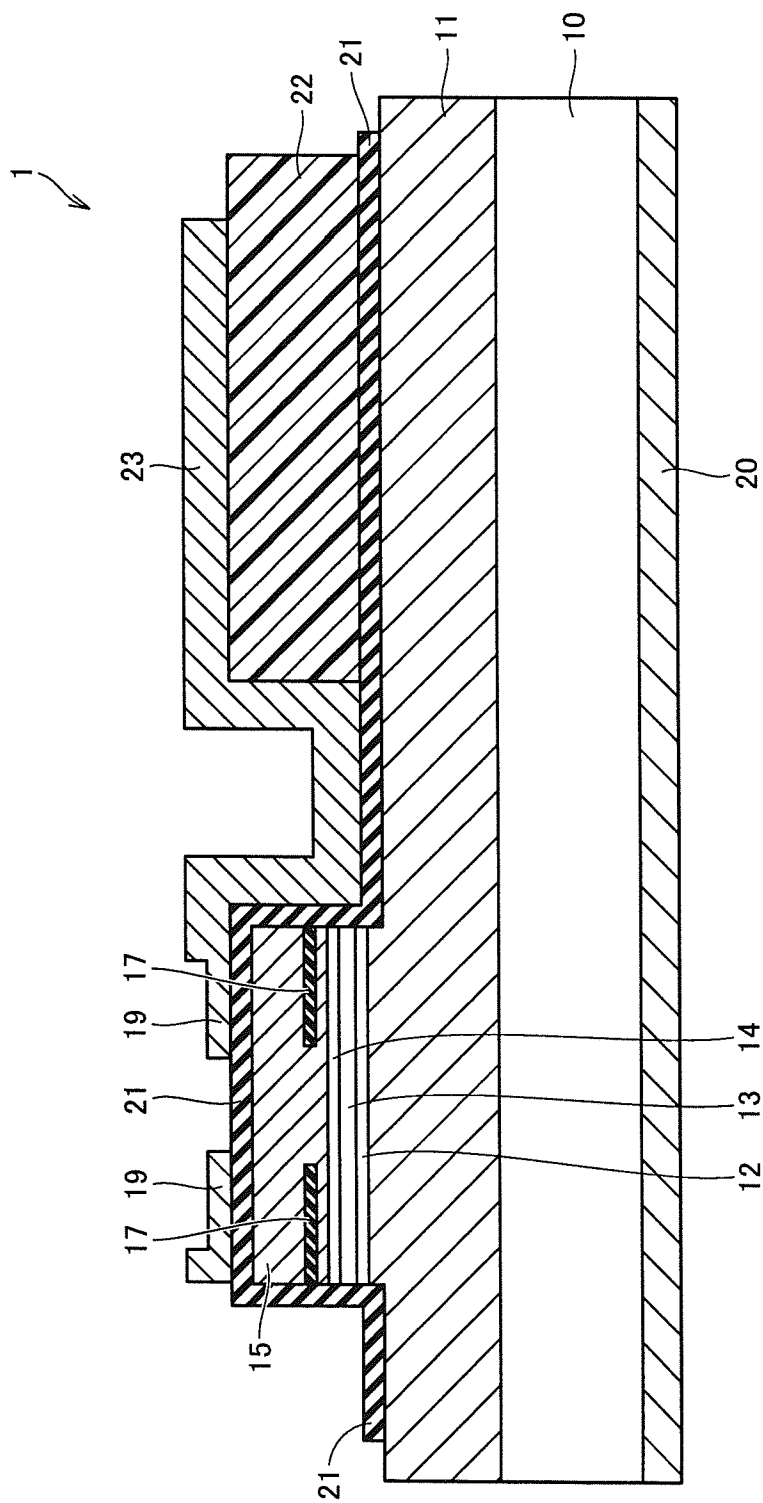
[図1]

FIG.1



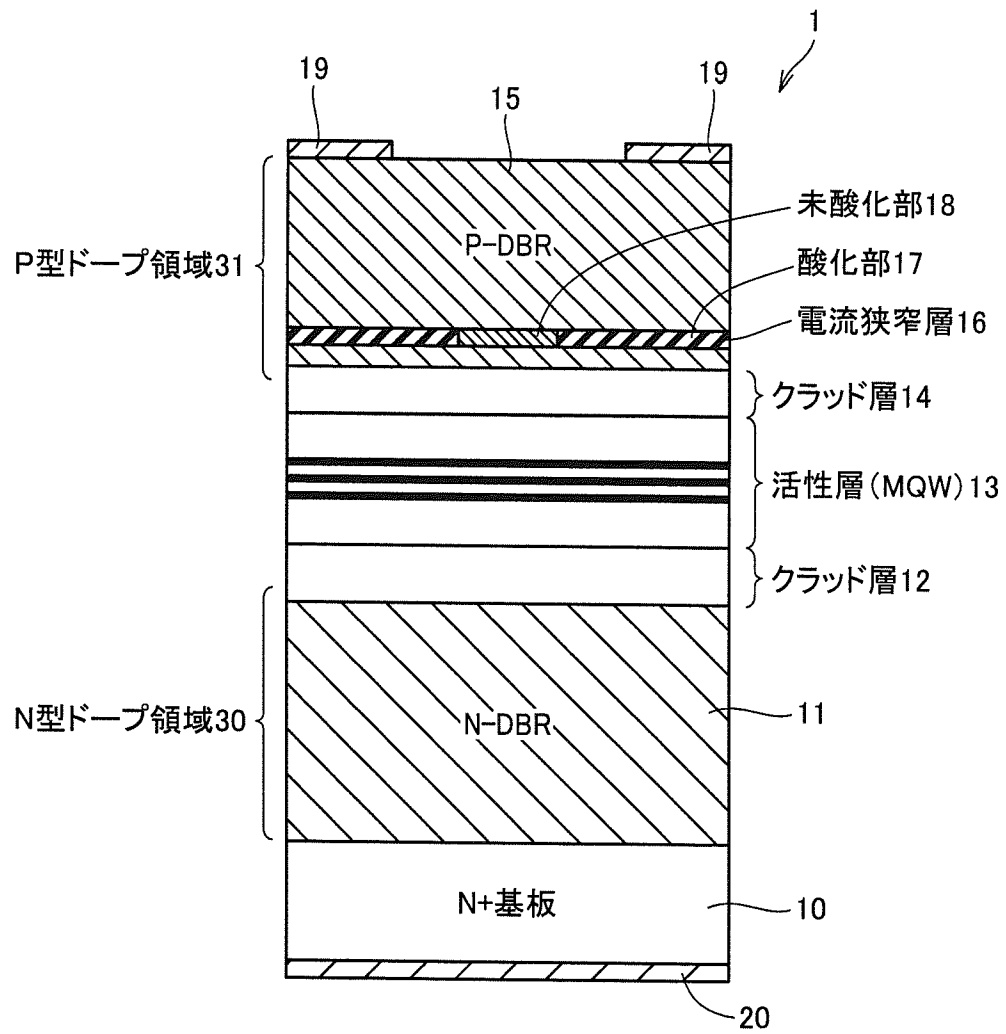
[図2]

FIG. 2



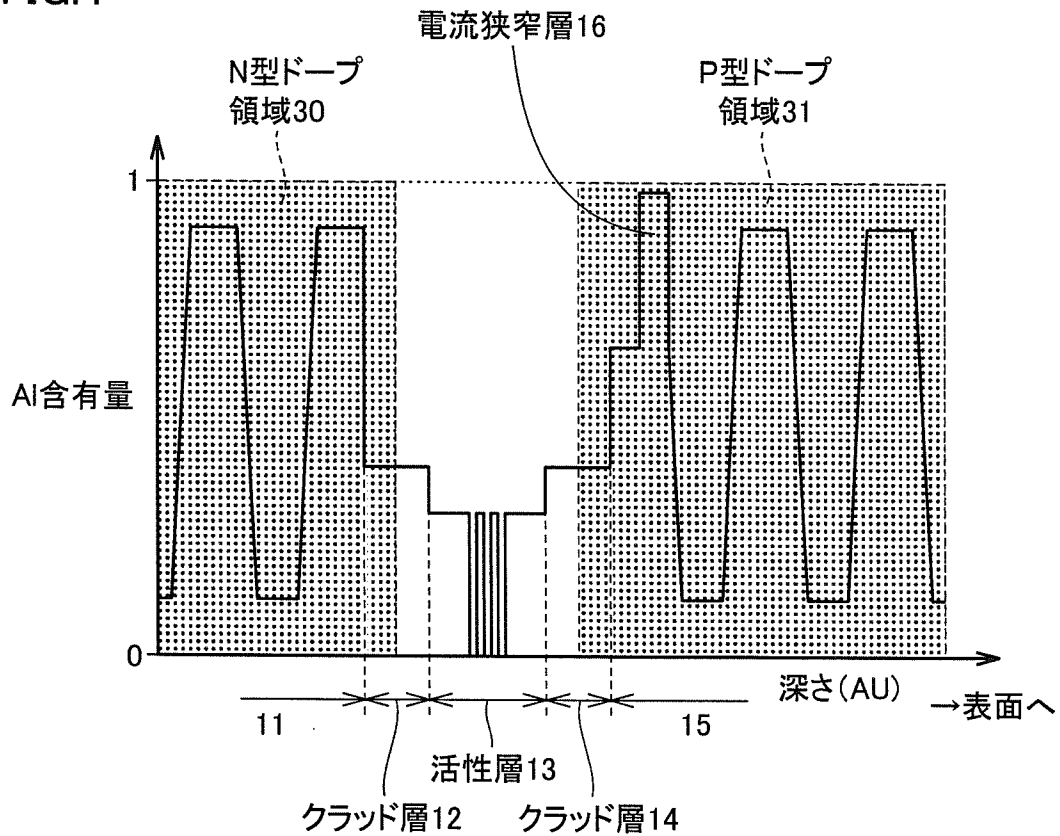
[図3]

FIG.3



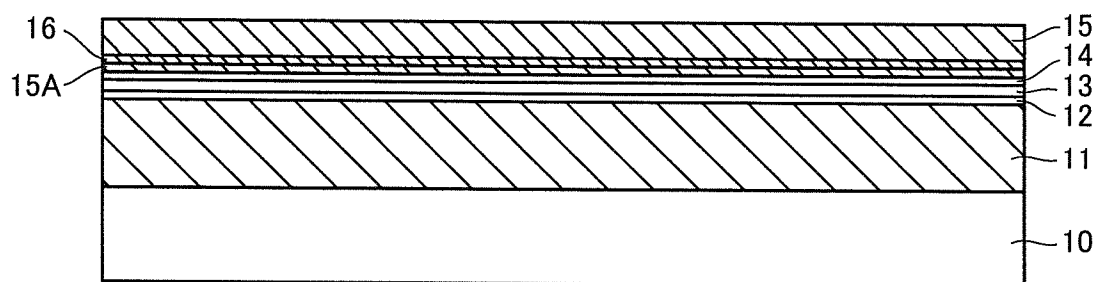
[図4]

FIG.4



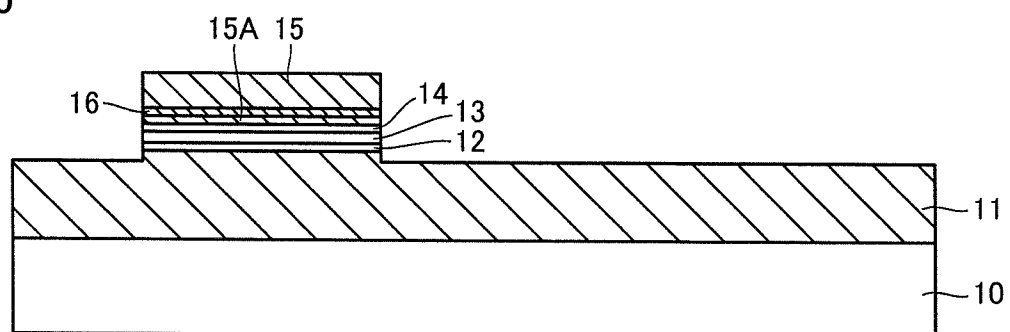
[図5]

FIG.5



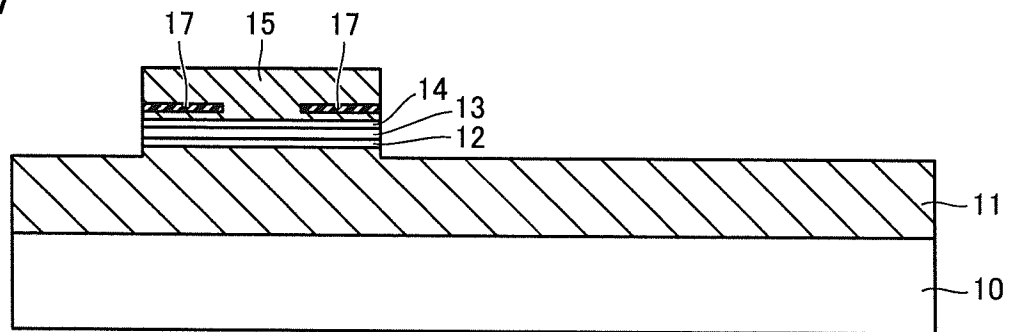
[図6]

FIG.6



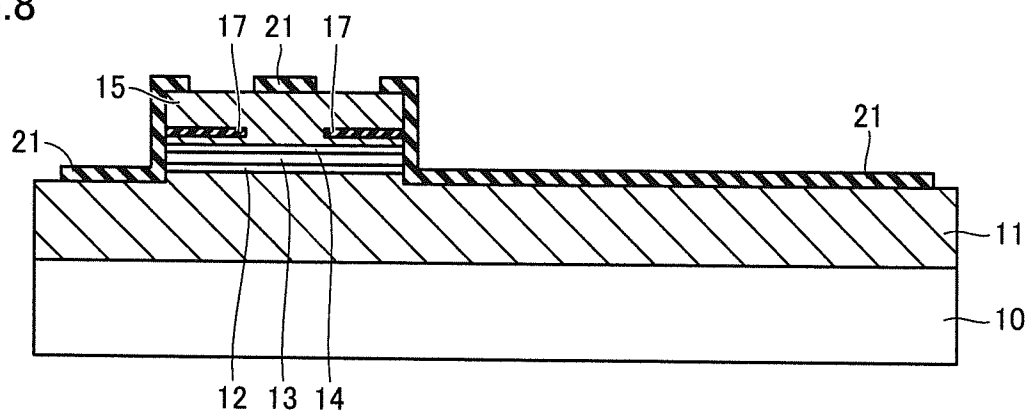
[図7]

FIG.7



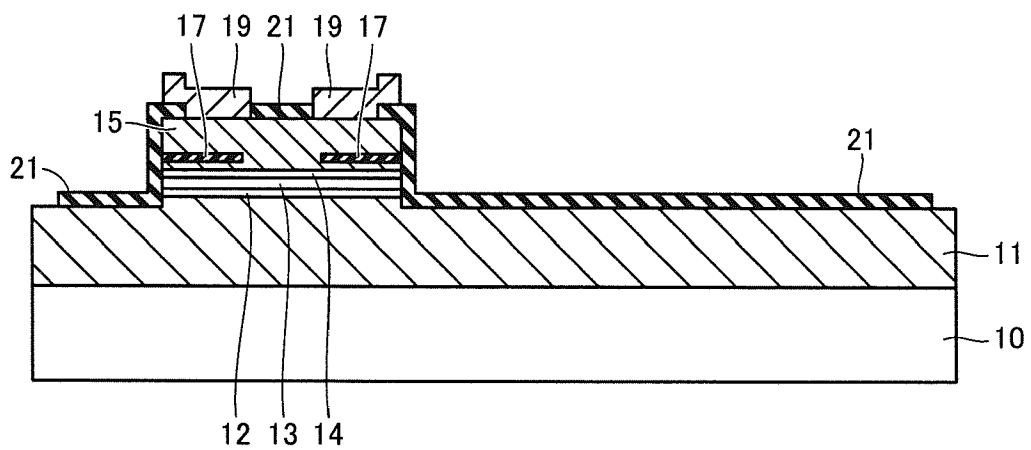
[図8]

FIG.8



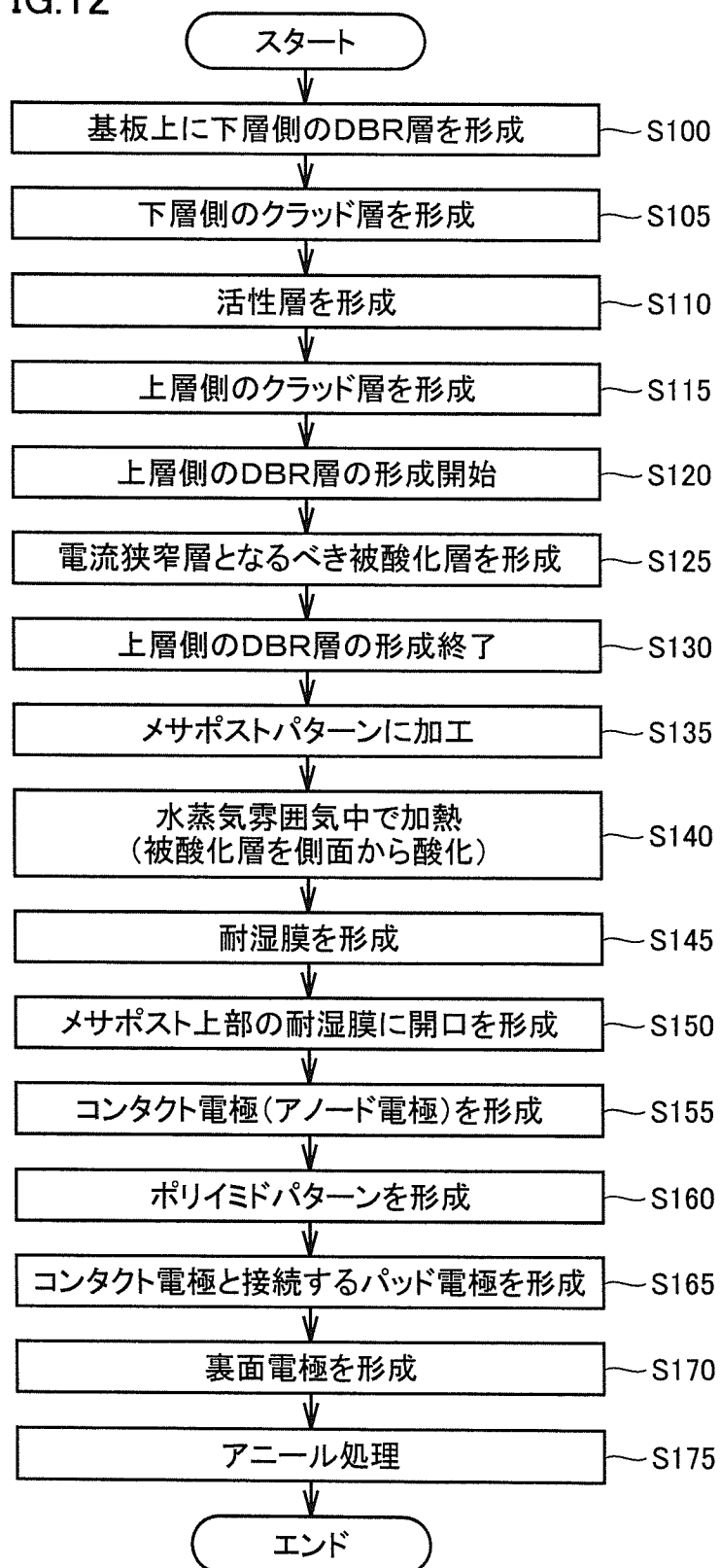
[図9]

FIG.9



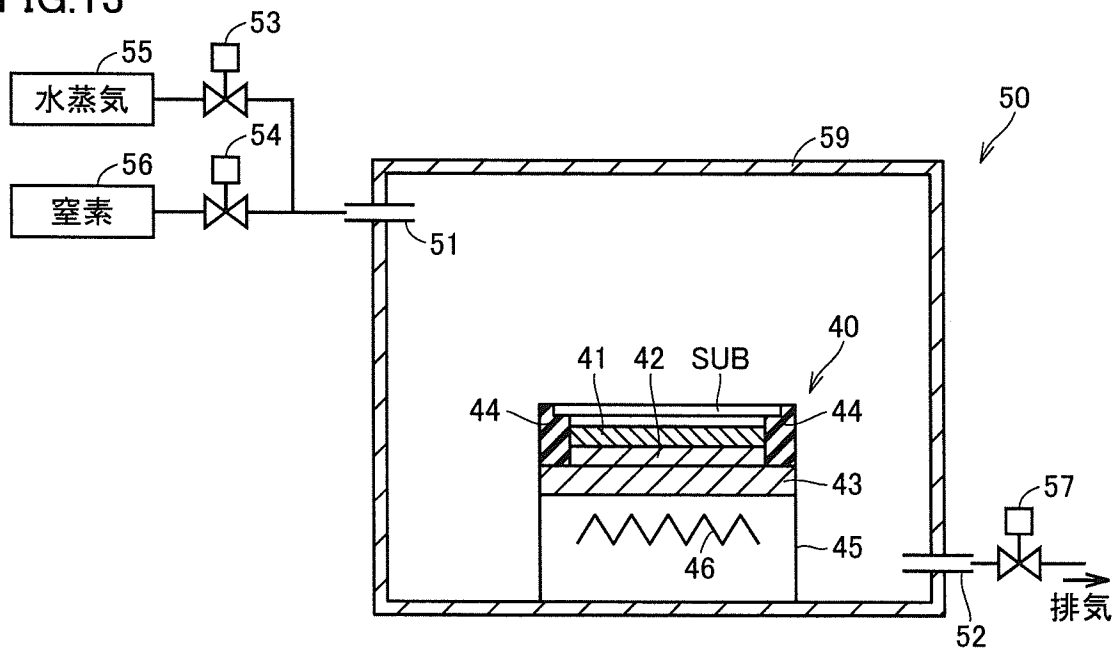
[図12]

FIG.12



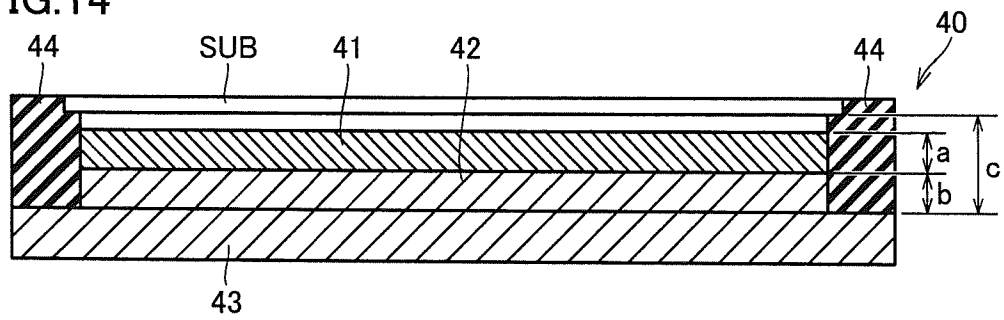
[図13]

FIG.13



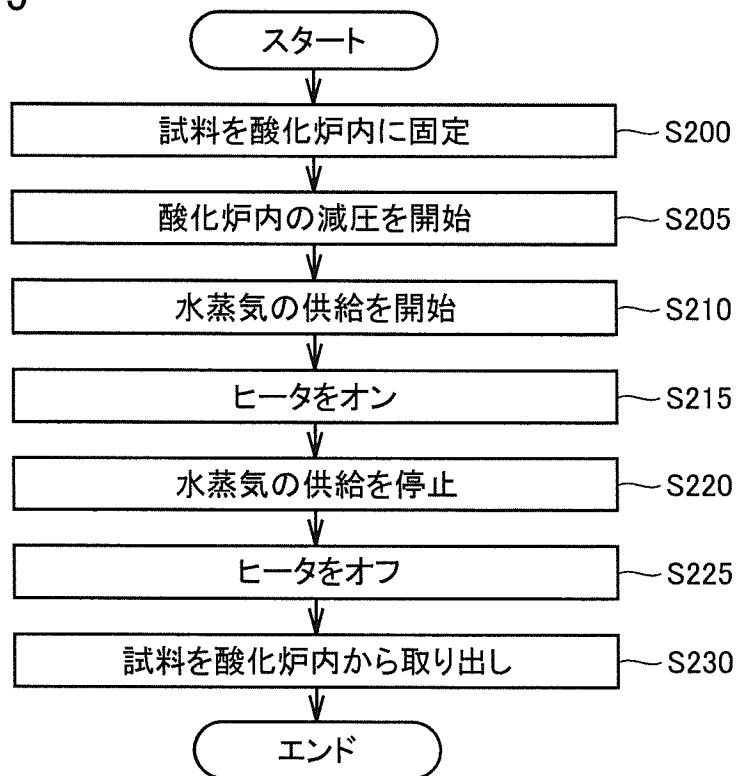
[図14]

FIG.14



[図15]

FIG.15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/066114

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/183(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S5/00-5/50, H01L21/26-21/268, 21/322-21/326, 21/42-21/425, 21/428, 21/477-21/479

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2011-018876 A (Ricoh Co., Ltd.), 27 January 2011 (27.01.2011), entire text; all drawings (particularly, claims 1, 2; paragraph [0009]) & US 2010/0311194 A1	1-5
Y	JP 2010-129894 A (Ricoh Co., Ltd.), 10 June 2010 (10.06.2010), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0091] to [0093], [0151]) (Family: none)	1-5
Y	JP 2003-324048 A (Kyocera Corp.), 14 November 2003 (14.11.2003), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0018] to [0023], [0064]) (Family: none)	1-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 August, 2014 (27.08.14)

Date of mailing of the international search report
22 September, 2014 (22.09.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/066114

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2012/092026 A2 (TWIN CREEKS TECHNOLOGIES, INC.), 05 July 2012 (05.07.2012), entire text; all drawings (particularly, page 11, lines 7 to 15) & JP 2014-506008 A & US 8173452 B1 & US 2012/0167969 A1 & US 2012/0168091 A1 & US 2012/0220068 A1 & US 2012/0171809 A1 & EP 2659521 A2 & EP 2659517 A2 & WO 2012/092145 A2 & CN 103370800 A & TW 201246301 A & CN 103348491 A	2-5
Y	JP 08-070007 A (Dainippon Screen Mfg. Co., Ltd.), 12 March 1996 (12.03.1996), entire text; all drawings (particularly, paragraph [0019]) (Family: none)	4, 5
A	JP 2007-242850 A (NEC Corp.), 20 September 2007 (20.09.2007), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0033] to [0035]) (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/183(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/00-5/50, H01L21/26-21/268, 21/322-21/326, 21/42-21/425, 21/428, 21/477-21/479

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2011-018876 A（株式会社リコー）2011.01.27, 全文、全図（特に、請求項1,2、[0009]） & US 2010/0311194 A1	1-5
Y	JP 2010-129894 A（株式会社リコー）2010.06.10, 全文、全図（特に、[0091]-[0093], [0151]） （ファミリーなし）	1-5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 7 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 2 . 0 9 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

佐藤 秀樹

2 X

3 1 5 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2003-324048 A (京セラ株式会社) 2003. 11. 14, 全文、全図 (特に、[0018]-[0023], [0064]) (ファミリーなし)	1-5
Y	WO 2012/092026 A2 (TWIN CREEKS TECHNOLOGIES, INC.) 2012. 07. 05, 全文、全図 (特に、第 11 ページ第 7-15 行) & JP 2014-506008 A & US 8173452 B1 & US 2012/0167969 A1 & US 2012/0168091 A1 & US 2012/0220068 A1 & US 2012/0171809 A1 & EP 2659521 A2 & EP 2659517 A2 & WO 2012/092145 A2 & CN 103370800 A & TW 201246301 A & CN 103348491 A	2-5
Y	JP 08-070007 A (大日本スクリーン製造株式会社) 1996. 03. 12, 全文、全図 (特に、[0019]) (ファミリーなし)	4, 5
A	JP 2007-242850 A (日本電気株式会社) 2007. 09. 20, 全文、全図 (特に、[0033]-[0035]) (ファミリーなし)	1-5