

(明治安田生命ビル) 9階 創英国際特
許法律事務所 Tokyo (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, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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, ST, 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:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 光学素子の製造方法は、レーザ光が透過、往復又は反射する光学素子を製造する方法であって、レーザ光に対して透明な第1素子部及び第2素子部が非晶質層を介して表面活性接合されてなる接合素子を得る第1ステップと、第1ステップの後、接合素子を昇温することで、非晶質層の少なくとも一部を結晶化する第2ステップと、を備える。第2ステップにおいては、第1素子部及び第2素子部の融点よりも低い所定温度まで接合素子を昇温する。

明 細 書

発明の名称：光学素子の製造方法及び光学素子

技術分野

[0001] 本発明の一側面は、レーザ光が透過、往復又は反射する光学素子の製造方法、及びその光学素子に関する。

背景技術

[0002] 従来の光学素子の製造方法として、出射するレーザ光に対して透明な第1素子部及び第2素子部を表面活性により直接接合する方法が知られている（例えば、特許文献1参照）。このような光学素子の製造方法では、非晶質層を第1素子部と第2素子部との間に介在させることで、第1素子部と第2素子部との良好な接合が可能とされている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第6245587号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記従来技術では、例えば第1素子部と第2素子部とが異種材料であっても、前述のように非晶質層を介することで、両者の接合が可能である。しかし、非晶質層は準安定状態であることから、光学素子の物質状態（接合状態）が不安定となり、例えば光学素子の光学耐性等の強度が不十分となる可能性がある。

[0005] 本発明の一側面は、上記実情に鑑みてなされたものであり、物質状態を安定化させることが可能な光学素子の製造方法及び光学素子を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一側面に係る光学素子の製造方法は、レーザ光が透過、往復又は反射する光学素子を製造する方法であって、レーザ光に対して透明な第1素

子部及び第2素子部が非晶質層を介して表面活性接合されてなる接合素子を得る第1ステップと、第1ステップの後、接合素子を昇温することで、非晶質層の少なくとも一部を結晶化する第2ステップと、を備え、第2ステップにおいては、第1素子部及び第2素子部の融点よりも低い所定温度まで接合素子を昇温する。

[0007] 本発明の一側面に係る光学素子の製造方法では、接合素子を昇温することで非晶質層をエピタキシャル成長させ、非晶質層の少なくとも一部を結晶化し、光学素子の物質状態（接合状態）を安定化させることができる。

[0008] 本発明の一側面に係る光学素子の製造方法は、第1ステップでは、略真空環境下において、第1素子部の接合側の表面及び第2素子部の接合側の表面の少なくとも何れかにイオンビーム又は高速原子ビームを照射した後、第1素子部の表面と第2素子部の表面とを接触させることで、接合素子を得てもよい。

[0009] 本発明の一側面に係る光学素子の製造方法では、第1ステップにおいて、非晶質層は、第1素子部及び第2素子部を構成する物質以外の不純物として、イオンビーム又は高速原子ビームを構成するビーム源元素、及び、イオンビーム又は高速原子ビームのビーム筐体を構成するビーム筐体材料の少なくとも何れかを含んでいてもよい。ここで、接合素子を昇温する際、線膨張係数の違いから接合部分に応力が発生し、光学素子に剥離等の損傷が生じることが懸念される。この点、非晶質層に不純物としてビーム源元素及び／又はビーム筐体材料が含まれると、昇温の際におけるエピタキシャル成長に必要な温度を、第1素子部及び第2素子部の融点よりも低い所定温度まで下げ得ることが見出される。そこで、本発明の一側面に係る光学素子の製造方法では、非晶質層がビーム源元素及び／又はビーム筐体材料を含み、昇温の温度が第1素子部及び第2素子部の融点よりも低い所定温度まで下げられている。これにより、光学素子の当該損傷を抑制することができる。

[0010] 本発明の一側面に係る光学素子の製造方法では、第1素子部は、ダイヤモンド、シリコンカーバイド、サファイア、YAGを含むガーネット、バナデ

ート、セクスオキサイド、フロライド、アパタイト、タングステート、シリケート、リン酸系の材料、希土類イオンもしくは遷移金属を添加したレーザ材料、光スイッチ材料、非線形光学材料、又は、機能性光学材料であり、第2素子部は、ダイヤモンド、シリコンカーバイド、サファイア、YAGを含むガーネット、バナデート、セクスオキサイド、フロライド、アパタイト、タングステート、シリケート、リン酸系の材料、希土類イオンもしくは遷移金属を添加したレーザ材料、光スイッチ材料、非線形光学材料、又は、機能性光学材料であり、第2ステップの所定温度は、100℃以上で且つ非晶質層を構成する物質の融点より低い温度であってもよい。この場合、このような第1素子部及び第2素子部を備えた光学素子について、昇温により光学素子の物質状態を安定化させることが可能となる。

なお、ガーネットにはYAG, YSAG, YGAG, GGG, GSGG, LuAG, YALOなどの酸化物、バナデートは、例えば YVO_4 もしくは $GdVO_4$, $LuVO_4$ 等の VO_4 化合物、セクスオキサイドは Y_2O_3 , Sr_2O_3 , Lu_2O_3 , フロライドにはYLF, SrF_2 , CaF_2 などのフッ化物、アパタイトにはFAP, SFAP, VAP, SVAPなどリン酸系カルシウム化合物、タングステートとはKYW, KGWなどの WO_4 化合物である。機能性光学材料は、例えば水晶、LBO、 $LiNbO_3$ 、 $KTiPO_4$ 、ZGP、GaAsもしくはGaP, ZnSe, ZnSなど非線形感受率や電気光学効果、磁気光学効果を有する材料である。セラミックスは、例えば、TGG (テルビウム・ガリウム・ガーネット)、TAG (テルビウム・アルミニウム・ガーネット)、TSAG (テルビウム・スカンジウム・アルミニウム・ガーネット) セラミックス等のファラデー効果を有するものが挙げられる。

[0011] 本発明の一側面に係る光学素子の製造方法では、第1素子部及び第2素子部の状態は、単結晶、アモルファス（ガラスを含む）、又はセラミックスであってもよい。

[0012] 本発明の一側面に係る光学素子の製造方法では、第1素子部及び第2素子部の少なくとも一方は、その接合側部分に光学コーティング層を有し、所定

温度は、100℃以上600℃以下であってもよい。これにより、光学コーティング層の損傷についても抑制することが可能となる。

[0013] 本発明の一側面に係る光学素子の製造方法では、第2ステップで非晶質層を結晶化してなる結晶化層が有する界面の平面度は、非晶質層が有する界面の平面度よりも高くてもよい。これにより、透過、往復又は反射するレーザー光に対して界面が与える悪影響の可能性を抑制することが可能となる。

[0014] 本発明の一側面に係る光学素子は、レーザー光が透過、往復又は反射する光学素子であって、レーザー光に対して透明な第1素子部及び第2素子部と、第1素子部と第2素子部との間に介在され、結晶化してなる結晶化層と、を備え、結晶化層は、第1素子部側から第2素子部側に行くに従って、10nm領域で第1素子部を構成する元素が連続的に第2素子部を構成する元素に交換している。

[0015] 本発明の一側面に係る光学素子は、レーザー光が透過、往復又は反射する光学素子であって、レーザー光に対して透明な第1素子部及び第2素子部と、第1素子部と第2素子部との間に介在され、結晶化してなる結晶化層と、を備え、結晶化層は、Ar、Ne、Xe、He、Fe、Ni及びCrの少なくとも何れかを含んでいる。

[0016] この光学素子では、第1素子部及び第2素子部の間には、非晶質層ではなく、結晶化層が介在されている。結晶化層は、Ar、Ne、Xe、He、Fe、Ni及びCrの少なくとも何れかを含んでいる。そのため、再結晶化に有利となる（微量の不純物混入により低温での昇温処理での再結晶化が容易なだけで無く、通常温度での昇温処理であれば短時間での再結晶化が可能となる）。

[0017] 本発明の一側面に係る光学素子は、レーザー光が透過、往復又は反射する光学素子であって、レーザー光に対して透明な第1素子部及び第2素子部と、第1素子部と第2素子部との間に介在され、結晶化してなる結晶化層と、を備え、第1素子部及び第2素子部の少なくとも一方は、その接合側部分に光学コーティング層を有し、光学コーティング層に接する第1素子部又は第2素

子部の結晶化層において、10nm領域で第1素子部又は第2素子部を構成する元素が連続的に光学コーティング層を構成する元素に交換している。

[0018] 本発明の一側面に係る光学素子は、第1素子部及び第2素子部の少なくとも一方は、その接合側部分に光学コーティング層を有し、結晶化層は、Ar、Ne、Xe、He、Fe、Ni及びCrの少なくとも何れかを含んでいてもよい。

発明の効果

[0019] 本発明の一側面によれば、物質状態を安定化させることが可能な光学素子の製造方法及び光学素子を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]図1は、実施形態に係るレーザ素子を備えた小型集積レーザ装置を示す概略斜視図である。

[図2]図2(a)は、実施形態に係るレーザ素子の製造方法を説明する図である。図2(b)は、図2(a)の続きを説明する図である。

[図3]図3(a)は、図2(b)の続きを説明する図である。図3(b)は、図3(a)の続きを説明する図である。

[図4]図4は、図3(b)の続きを説明する図である。

[図5]図5(a)は、実施形態に係る接合素子の接合部分の周辺を示す図である。図5(b)は、図5(a)の破線枠内を示す拡大図である。

[図6]図6(a)は、実施形態に係るレーザ素子の接合部分の周辺を示す図である。図6(b)は、図6(a)の破線枠内を示す拡大図である。

[図7]図7(a)は、実施形態に係る接合素子の接合部分の周辺を示す図である。図7(b)は、図7(a)の枠内において検出された元素を示すグラフである。

[図8]図8(a)は、実施形態に係るレーザ素子の接合部分の周辺を示す図である。図8(b)は、図8(a)の枠内において検出された元素を示すグラフである。

[図9]図9(a)は、実施形態に係るレーザ素子の接合部分の周辺を示す図で

ある。図9 (b) は、図9 (a) の枠内において検出された元素を示すグラフである。

[図10]図10 (a) は、実施形態に係るレーザ素子の接合部分の周辺を示す図である。図10 (b) は、図10 (a) の枠内において検出された元素を示すグラフである。

[図11]図11 (a) は、実施形態に係るレーザ素子の接合部分の周辺を示す図である。図11 (b) は、図11 (a) の枠内において検出された元素を示すグラフである。

[図12]図12は、実施形態に係る接合素子の接合部分の周辺を示す図である。

[図13]図13は、実施形態に係るレーザ素子の接合部分の周辺を示す図である。

[図14]図14は、実施形態に係るレーザ素子の接合部分の周辺を示す図である。

[図15]図15は、変形例に係るレーザ素子を示す断面図である。

[図16]図16は、昇温ステップ前の素子である接合素子の接合部分の周辺を示す図である。

[図17]図17は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子の接合部分の周辺を示す図である。

[図18]図18は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子の接合部分の周辺を示す図である。

[図19]図19は、図18に表されるスキャン方向の位置において検出された元素を示すグラフである。

[図20]図20は、昇温ステップ前の素子である接合素子の接合部分の周辺を示す図である。

[図21]図21は、図20に表されるスキャン方向の位置において検出された元素を示すグラフである。

[図22]図22は、昇温ステップ前の素子であってEB照射後の接合素子の接

合部分の周辺を示す図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、図面を参照しつつ実施形態について詳細に説明する。以下の説明において同一又は相当要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

[0022] 図1は、小型集積レーザ装置100を示す概略斜視図である。図1に示される小型集積レーザ装置100は、レーザ光Lを出射するレーザ光源であって、ファイバレーザやディスクレーザに比べて小型簡便で高出力のパワーレーザを構成する。小型集積レーザ装置100は、実施形態に係るレーザ素子1を備える。なお、以下においては、便宜上、レーザ光Lの出射方向（進行方向）を「Z方向」として説明する。図2以降に示す断面は、XY断面であり、面内横軸を「X方向」とし、面内縦軸を「Y方向」とする。図面の寸法比率は図示の比率に限られるものではない。

[0023] まず、レーザ素子1の構成について説明する。

[0024] レーザ素子1は、DFC構造を有する光学素子である。レーザ素子1は、複数のヒートシンク2と、複数のレーザ媒質3と、第1コーティング層4aと、第2コーティング層5と、第3コーティング層4bと、を備える。レーザ素子1は、高出力マイクロレーザを構成可能なものである。一例として、レーザ素子1では、波長808nmの連続発振のダイオード光が励起光Iとして、Z方向における一端側（図示左側）からZ方向に沿って入力されると、波長1064nmのレーザ光Lが、可飽和吸収体からなるQスイッチ素子8を介してZ方向における他端側（図示右側）から出射される。なお、レーザ素子1は、Qスイッチ素子8を備えない場合、CW（Continuous Wave）レーザを構成することも可能である。

[0025] ヒートシンク2及びレーザ媒質3は、Z方向を厚さ方向とする矩形板状を呈する。例えばヒートシンク2は、厚さが1mm、縦寸法が10mm、横寸法が10mmの平板状を呈する。例えばレーザ媒質3は、厚さが1mm、縦寸法が8mm、横寸法が8mmの平板状を呈する。ヒートシンク2及びレーザ媒質3は、円形板状を呈していてもよい。ヒートシンク2とレーザ媒質3

とは、Z方向に沿って交互に並ぶように配置されている。つまり、隣接する一対のヒートシンク2の間に、レーザ媒質3が位置する。ヒートシンク2とレーザ媒質3とは、接着剤を介さずに接合（直接接合）されている。Z方向において最も一端側に配されたレーザ媒質3から最も他端側に配されたレーザ媒質3までの部分は、共振器として機能する。

[0026] ヒートシンク2は、レーザ媒質3に比べて熱伝導率が同程度か又は高い物質である。ヒートシンク2は、レーザ媒質3の熱を放熱する機能を有する。ヒートシンク2は、第1素子部を構成する。ヒートシンク2は、ダイヤモンド、シリコンカーバイド、サファイア、YAGを含むガーネット、バナデート、セクスオキサイド、フロライド、アパタイト、タングステート、シリケート、リン酸系の材料、希土類イオンもしくは遷移金属を添加したレーザ材料、光スイッチ材料、非線形光学材料、又は、機能性光学材料である。なお、バナデートは、例えば YVO_4 もしくは $LuVO_4$ 等である。機能性光学材料は、例えば $LiBO$ 、 $LiNbO_3$ 、 $KTiPO_4$ 、ZGP、 $GaAs$ もしくは GaP である。後述もしているが、ヒートシンク2は第1素子部の一例であり、第1素子部はヒートシンク2に限定されない。第1素子部の状態は、単結晶、アモルファス（ガラスを含む）、又はセラミックスであればよい。

[0027] レーザ媒質3は、励起状態において増幅が損失を上回る反転分布を形成し、誘導放出を利用して光を増幅させる物質である。レーザ媒質3は、利得媒質とも称する。レーザ媒質3は、第2素子部を構成する。レーザ媒質3は、ダイヤモンド、シリコンカーバイド、サファイア、YAGを含むガーネット、バナデート、セクスオキサイド、フロライド、アパタイト、タングステート、シリケート、リン酸系の材料、希土類イオンもしくは遷移金属を添加したレーザ材料、光スイッチ材料、非線形光学材料、又は、機能性光学材料である。半導体は、例えば ZnS もしくは $ZnSe$ 等である。後述もしているが、レーザ媒質3は第2素子部の一例であり、第2素子部はレーザ媒質3に限定されない。第2素子部の状態は、単結晶、アモルファス（ガラスを含む）、又はセラミックスであればよい。

- [0028] ヒートシンク2及びレーザ媒質3は、出射するレーザ光Lに対して透明である。レーザ光Lに対して透明（以下、単に「透明」ともいう）とは、レーザ光Lが透過することを意味し、具体的には、レーザ光Lが強度を維持して通過することを意味する。例えば透明とは、ここでは、レーザ光Lに対する透過率（Fresnel損失分を差し引いた正味の透過率）が95%以上をいい、具体的には、97%以上であることをいう。このことは、以下の透明において同様である。
- [0029] 第1コーティング層4は、Z方向における一端側のヒートシンク2において、一端側の表面（大気と接する面）に形成された誘電多層膜である。第1コーティング層4は、励起光Iに対しては無反射で、且つ、レーザ光Lに対しては高反射の反射特性を有する。第1コーティング層4によれば、一端側のヒートシンク2と大気との間における屈折率の変動を抑えることができる。
- [0030] 第2コーティング層5は、Z方向における他端側のヒートシンク2において、他端側の表面（大気と接する面）に形成された誘電多層膜である。第2コーティング層5は、励起光Iに対しては高反射で、且つ、レーザ光Lに対しては一部反射の反射特性を有する。第2コーティング層5によれば、他端側のヒートシンク2と大気との間における屈折率の変動を抑えることができる。ちなみに、第1コーティング層4及び第2コーティング層5の少なくとも何れかに代えてもしくは加えて、他の種々のコーティング層をヒートシンク2及びレーザ媒質3に適宜設けてもよい。これにより、ヒートシンク2及びレーザ媒質3の各界面での反射特性を所望に調整することができる。
- [0031] レーザ素子1は、図4に示されるように、結晶化層6を備える、結晶化層6は、ヒートシンク2及びレーザ媒質3との間に介在されている緩衝層である。レーザ素子1は、結晶化してなる層、すなわち、結晶状態の層である。結晶とは、空間的に周期的な原子配列を持った固体物質である。結晶とは、原子や分子が空間的に繰り返しパターンを持って配列している物質である。具体的には、結晶とは、離散的な空間並進対称性を有する物質である。ここ

での結晶は、準結晶を含む。結晶化層6は、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に行くに従って、ヒートシンク2を構成する元素が漸減する（次第に減る）と共に、レーザ媒質3を構成する元素が漸増する（次第に増える）層である（図8～図11参照）。結晶化層6は、ヒートシンク2及びレーザ媒質3と一体化されている。結晶化層6は、レーザ光Lに対して透明であり、レーザ光Lを透過させる。

[0032] なお、ヒートシンク材料及びレーザ媒質の材料としては、下表1の組合せが挙げられる。ただし、REは、Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb等の添加希土類元素である。TMは、Mg, Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cr, Ti, Te, Nb, V等の添加遷移金属元素である。後述するように、ヒートシンク及びレーザ媒質に光学コーティングを施してから接合する場合もある。

[表1]

ヒートシンク	レーザ媒質
Al ₂ O ₃ , ダイヤモンド, SiC, 無添加のレーザ材料, Cr:YAG, TM:YAG	RE:RAG (R=Y, Sc, Lu, Gd, etc)
	RE:RSiO ₂ (R=Y, Sc, Lu, Gd)
	RE:R ₂ SiO ₅ (R=Y, Sc, Lu, Gd)
	RE:Bi ₄ Si ₃ O ₁₂ (R=Y, Ca, Sr, Sc, Lu, Gd)
	RE:CaR ₄ (SiO ₄) ₃ O (R=Y, La, Ca, Sr, Sc, Lu, Gd)
	RE:SrR ₄ (SiO ₄) ₃ O (R=Y, La, Ca, Sr, Sc, Lu, Gd)
	RE:RAG (R=Y, Sc, Lu, Gd)
	RE:RAlO ₃ (R=Y, Sc, Lu, Gd)
	RE:RAl ₄ O ₇ (R=Y, Ca, Sr, Sc, Lu, Gd)
	RE:Y ₃ Sc _x Al _(5-x) O ₁₂
	RE:RVO ₄ (R=Y, Sc, Lu, Gd)
	RE:(s)FAP 又は RE:(s)VAP
	RE:RCOB (R=Y, Sc, Lu, Gd)
	RE:RLF (R=Y, Lu 等) RE:CaF ₂ , SrF ₂ 等

[0033] 次に、レーザ素子1の製造方法について説明する。

- [0034] レーザ素子 1 の製造方法では、概略として、まず、複数のヒートシンク 2 及び複数のレーザ媒質 3 を用意する。第 1 コーティング層 4 及び第 2 コーティング層 5 をヒートシンク 2 に適宜成膜する。当該成膜には、公知の種々の成膜手法を採用できる。続いて、接合ステップ（第 1 ステップ）として、ヒートシンク 2 及びレーザ媒質 3 を交互に並ぶように配置しつつ、ヒートシンク 2 及びレーザ媒質 3 を非晶質層 1 6 を介して直接接合し、接合素子を得る。そして、昇温ステップ（第 2 ステップ）として、当該接合素子を昇温することで、その非晶質層 1 6 の少なくとも一部を結晶化する。
- [0035] 以下、接合ステップ及び昇温ステップを詳説する。図 2 (a)、図 2 (b) 及び図 3 (a) は、接合ステップを説明するための各図である。図 3 (b) 及び図 4 は、昇温ステップを説明するための各図である。以下では、説明の便宜上、1 つのヒートシンク 2 と 1 つのレーザ媒質 3 との接合を例示する。また、ヒートシンク 2 及びレーザ媒質 3 を図 1 の A-A 線に沿う断面で示すが、当該断面にハッチングは施していない（その他の断面図において同様）。
- [0036] 図 2 (a) に示されるように、ヒートシンク 2 及びレーザ媒質 3 をチャンバー 1 1 内に配置し、チャンバー 1 1 内を略真空環境とする。ヒートシンク 2 とレーザ媒質 3 とを表面活性接合により接合する。表面活性接合は、真空中で接合する材料の接合面の酸化膜又は表面付着物を、イオンビーム照射又は F A B（高速原子ビーム）照射によって除去し、平坦で構成原子の露出した接合面同士を接合するという手法である。表面活性接合は、分子間結合を利用した直接接合である。表面活性接合は、他の接合手法と比較して接合温度を大幅に下げることができる。
- [0037] 具体的には、略真空環境下において、ヒートシンク 2 の接合側の表面、及び、レーザ媒質 3 の接合側の表面に、アルゴン (A r) 等のイオンビーム又は F A B（高速原子ビーム）を照射する。これにより、当該表面に吸着していた酸素等を除去し、ダングリングボンドを含む新生面を形成する。当該略真空環境は、例えばバックグラウンド圧力が 1×10^{-6} P a 以上、大気圧未

満の真空又は減圧雰囲気である。

- [0038] イオンビーム又はF A Bとしては、アルゴンの他に、ネオン (N e)、クリプトン (K r)、キセノン (X e)、ヘリウム (H e) 等の希ガス又は不活性ガスを採用することができる。希ガスは、化学反応を起こしにくいので、被照射面の化学的性質を大きく変化させることはない。粒子ビーム源又はプラズマ発生装置を用いてイオンビームの粒子を接合面に向けて加速することで、イオンビーム又はF A Bに所定の運動エネルギーを与えることができる。
- [0039] 図2 (b) に示されるように、ヒートシンク2の接合側とレーザ媒質3の接合側とを対向させる。室温下において、ヒートシンク2及びレーザ媒質3の結合手が露出している新生面同士を、略真空環境中で接触させる。これにより、図3 (b) に示されるように、原子間の相互作用による結合力が発生し、ヒートシンク2とレーザ媒質3とが非晶質層16を介して強固に結合してなる接合素子10を得る。当該略真空環境は、例えばバックグラウンド圧力が 1.5×10^{-6} Pa以下の真空又は減圧雰囲気である。接触させたヒートシンク2及びレーザ媒質3に所定の圧力(1.5~2.0 MPa)を加えてもよい。
- [0040] 非晶質層16は、非晶質状態の層である。非晶質層16は、接合素子10におけるヒートシンク2及びレーザ媒質3との間に介在された緩衝層である。非晶質(アモルファス)とは、結晶のような長距離秩序はないが、短距離秩序はある物質である。非晶質とは、結晶構造が崩れている状態の物質である。非晶質層16は、結晶性が一定レベルよりも低い層である。非晶質層16は、レーザ光Lに対して透明であり、レーザ光Lを透過させる。
- [0041] 非晶質層16は、ヒートシンク2及びレーザ媒質3を構成する物質以外の不純物として、イオンビーム又はF A Bを構成するビーム源元素、及び、イオンビーム又はF A Bのビーム筐体を構成するビーム筐体材料を含む。ビーム源元素は、例えば、例えばAr (アルゴン) 又はNe (ネオン) である。ビーム筐体材料は、例えば、Fe (鉄)、Ni (ニッケル) 又はCr (クロ

ム)である。非晶質層16に含まれるビーム源元素の量は、レーザ光Lの発振に影響が出ないほど微量である。

[0042] 図3(b)に示されるように、接合素子10を加熱炉14内に配置し、接合素子10に加熱処理を施し、接合素子10を所定温度まで昇温する。これにより、接合素子10がアニール処理され、接合素子10の非晶質層16がエピタキシャル成長して結晶化する。これにより、図4に示されるレーザ素子1を得る。

[0043] 昇温させる所定温度(結晶化温度又はエピ成長温度とも称する)は、ヒートシンク2及びレーザ媒質3の融点よりも低い温度である。昇温させる所定温度は、100℃以上で且つ非晶質層16を構成する物質の融点より低い温度である。昇温させる所定温度は、ヒートシンク2及びレーザ媒質3の融点である約2000℃の半分程度の約865℃である。昇温させる所定温度は、コーティングを施さないガーネットの融点である1900℃以下である。コーティング(例えば、後述の光学コーティング層12(図15参照))が施されている場合には、昇温させる所定温度は、コーティングに影響が出ない程度の低い温度であり、200℃又は300℃等である。接合素子10の加熱時間は、例えば数時間~数10時間である。例えば長時間の昇温処理の場合には、昇温させる所定温度が100℃以下でもよい。なお、材料別の融点の例として、例えば、表2に示される温度が挙げられる。

[表2]

	融点 (°C)
Y_2O_3	2,430
$YAlO_3$	1,850
$Y_3Al_5O_{12}$	1,930
Al_2O_3	2,040
$LiYF_4$	825
$BeAl_2O_4$	1,870

[0044] 図5 (a) は、昇温ステップ前の素子である接合素子10の接合部分の周辺を示す図である。図5 (b) は、図5 (a) の破線枠内を示す拡大図である。図5 (a) 及び図5 (b) に示されるサンプルでは、ヒートシンク2にサファイアを用い、レーザ媒質3にNd : YAG (以下、図中のNd : YAGに関しては、単に「YAG」ともいう) を用いた (以下の図6~図11について同じ)。図5 (a) 及び図5 (b) の図は、EDX (Energy dispersive X-ray spectroscopy) データである (以下の図6~図14について同じ)。図5 (a) 及び図5 (b) に示されるように、接合素子10では、ヒートシンク2とレーザ媒質3との間に非晶質層16が介在していることが確認できる。

[0045] 図6 (a) は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子1の接合部分の周辺を示す図である。図6 (b) は、図6 (a) の破線枠内を示す拡大図である。図6 (a) 及び図6 (b) のレーザ素子1は、接合素子10を1000℃で3h昇温して得たものである。図6 (a) 及び図6 (b) に示されるように、レーザ素子1では、昇温工程で非晶質層16が結晶化し、ヒートシンク2とレーザ媒質3の間には結晶化層6が介在していることが確認できる。レーザ素子1では、ヒートシンク2とレーザ媒質3との間の境界は、クリア (はっきりと) に存在している。

[0046] また、レーザ素子1の製造方法では、図5 (a) に示されるように、非晶質層16は、ヒートシンク2との間に界面E1を有する。図6 (a) に示されるように、非晶質層16を結晶化してなる結晶化層6は、ヒートシンク2との間に界面E2を有する。図5 (a) 及び図6 (a) に示されるように、界面E2の平面度は、界面E1の平面度よりも高い。平面度とは、例えば、平面からの狂いの大きさとして定義することができる。平面度は、例えば、最も出っ張った部分と最も凹んだ部分との間の距離で表すことができる。

[0047] 図7 (a) は、昇温ステップ前の素子である接合素子10の接合部分の周辺を示す図である。図7 (b) は、図7 (a) の枠内において検出された元素を示すグラフである。図7 (b) のグラフにおいて、縦軸は元素の数量に

当たる計測信号量であり、横軸はスキンの距離である。図7 (b) のグラフのスキンの方向は、図7 (a) における上から下に向かう方向に対応する。図7 (b) のグラフの説明は、図8 (b)、図9 (b) 及び図10 (b) について同じである。

[0048] 図7 (b) に示されるように、非晶質層16が存在する範囲(25 nm~40 nm)では、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に行くに従って、ヒートシンク2を構成する元素が漸減すると共に、レーザ媒質3を構成する元素が漸増していることが確認できる。また、非晶質層16が存在する範囲(25 nm~40 nm)には、ヒートシンク2及びレーザ媒質3を構成する物質以外の不純物として、Fe及びArが僅かに含まれていることが確認できる。

[0049] 図8 (a) は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子1の接合部分の周辺を示す図である。図8 (b) は、図8 (a) の枠内において検出された元素を示すグラフである。図8 (a) 及び図8 (b) のレーザ素子1は、接合素子10を1000℃で3h昇温して得たものである。図8 (b) に示されるように、結晶化層6が存在する範囲(20 nm~23 nm)では、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に行くに従って、ヒートシンク2を構成する元素が漸減すると共に、レーザ媒質3を構成する元素が漸増していることが確認できる。

[0050] 図9 (a) は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子1の接合部分の周辺を示す図である。図9 (b) は、図9 (a) の枠内において検出された元素を示すグラフである。図9 (a) 及び図9 (b) のレーザ素子1は、接合素子10を1000℃で3h昇温して得たものである。図9 (b) の結果は、図8 (b) の結果よりも高分解能の分析結果である。図9 (b) に示されるように、結晶化層6が存在する範囲(80 nm~95 nm)では、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に行くに従って、ヒートシンク2を構成する元素が漸減すると共に、レーザ媒質3を構成する元素が漸増していることが確認できる。

- [0051] 図10(a)は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子1の接合部分の周辺を示す図である。図10(b)は、図10(a)の枠内において検出された元素を示すグラフである。図10(a)及び図10(b)のレーザ素子1は、接合素子10を1000℃で3h昇温して得たものである。図10(b)の結果は、図9(b)の結果のうちのC(炭素)、Ar及びFeを示す。図10(a)上において図10(b)のDistanceに対応する位置には、図10(b)のグラフを重畳している。
- [0052] 図10(b)に示されるように、結晶化層6が存在する範囲(80nm~95nm)には、ヒートシンク2及びレーザ媒質3を構成する物質以外の不純物として、Ar、Ne、Xe、He、Fe、Ni及びCrの少なくとも何れか(イオンビーム又は高速原子ビームを構成するビーム源元素、及び、イオンビーム又は中性高速原子ビームのビーム筐体を構成するビーム筐体材料の少なくとも何れか(Cr、Ar及びFeの少なくとも何れか)が含まれていることが確認できる。特に、Feが、ヒートシンク2とレーザ媒質3との界面付近からレーザ媒質3側(YAG側)に10nm程度の範囲で偏析していることが確認できる。
- [0053] 図11(a)は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子1の接合部分の周辺を示す図である。図11(b)は、図11(a)の枠内において検出された元素を示すグラフである。図11(a)及び図11(b)のレーザ素子1は、接合素子10を1000℃で3h昇温して得たものである。図11(b)の結果は、図8(b)の結果よりも高分解能の分析結果である。図11(b)のグラフにおいて、縦軸は元素の数量に当たる計測信号量であり、横軸はスキヤンの距離である。図11(b)のグラフのスキヤン方向は、図11(a)における上から下に向かう方向に対応する。図11(b)に示されるように、結晶化層6が存在する範囲(85nm~95nm)では、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に行くに従って、ヒートシンク2を構成する元素が漸減すると共に、レーザ媒質3を構成する元素が漸増していることが確認できる。

[0054] 図12は、昇温ステップ前の素子である接合素子10の接合部分の周辺を示す図である。図12に示されるサンプルでは、ヒートシンク2にサファイアを用い、レーザ媒質3にセラミックYAGを用いた（以下の図13及び図14について同じ）。図12に示されるように、接合素子10では、ヒートシンク2とレーザ媒質3との間に、厚さ7nm以下の非晶質層16が介在していることが確認できる。また、ここでは、ヒートシンク2とレーザ媒質3との界面付近に不明層Qが存在している。

[0055] 図13は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子1の接合部分の周辺を示す図である。図13のレーザ素子1は、接合素子10を100℃で10h昇温して得たものである。図13のレーザ素子1では、非晶質層16の結晶化が進行している。図13に示されるように、ヒートシンク2とレーザ媒質3との間には、結晶化層6が介在していることが確認できる。

[0056] 結晶化層6は、さらに複数の層を含むような層状に構成されていることが確認できる。ここでは、結晶化層6は、ある箇所において、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に向かって、2.6nmの層と、1.7nmの層と、2.2nmの層と、を含む。結晶化層6は、他の箇所において、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に向かって、2.6nmの層と、2.0nmの層と、1.7nmの層と、を含む。結晶化層6は、更に他の箇所において、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に向かって、2.6nmの層と、1.7nmの層と、2.0nmの層と、を含む。結晶化の進行係数は、0.5nm/hである。

[0057] 図14は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子1の接合部分の周辺を示す図である。図14のレーザ素子1は、接合素子10を100℃で24h昇温して得たものである。図14のレーザ素子1では、非晶質層16の結晶化がより進行している。図14に示されるように、ヒートシンク2とレーザ媒質3との間には、結晶化層6が介在していることが確認できる。

[0058] ここでは、結晶化層6は、ある箇所において、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に向かって、1.8nmの層と、3.4nmの層と、を含む。結

晶化層6は、他の箇所において、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に向かって、3.1nmの層と、1.7nmの層と、を含む。結晶化層6は、更に他の箇所において、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に向かって、3.3nmの層と、1.7nmの層と、を含む。結晶化の進行係数は、0.5nm/hである。

[0059] 以上、レーザ素子1の製造方法では、接合素子10を昇温することで非晶質層16をエピタキシャル成長させ、非晶質層16を結晶化し、レーザ素子1の物質状態（接合状態）を安定化させることができる。例えばレーザ素子1の強度や機械的特性を高めることが可能となる。すなわち、表面活性接合による光学素子において、その接合部の特性を劣化させることなく、接合特性を高めることができる。

[0060] レーザ素子1の製造方法では、接合ステップでは、略真空環境下において、ヒートシンク2の接合側の表面及びレーザ媒質3の接合側の表面の少なくとも何れかにイオンビーム又は高速原子ビームを照射した後、ヒートシンク2の接合側の表面とレーザ媒質3の接合側の表面とを接触させることで、接合素子10を得ることができる。

[0061] ここで、昇温ステップでは、線膨張係数の違いから接合部分に応力が発生し、レーザ素子1に剥離等の損傷が生じることが懸念される。この点、非晶質層16に、イオンビーム又は高速原子ビームを構成するビーム源元素及び／又はビーム筐体材料の不純物が含まれると、昇温の際におけるエピタキシャル成長に必要な温度を、ヒートシンク2及びレーザ媒質3の融点よりも遥かに低い所定温度まで下げ得ることが見出される。そこで、レーザ素子1の製造方法では、非晶質層16がビーム源元素及び／又はビーム筐体材料を含み、昇温の温度がヒートシンク2及びレーザ媒質3の融点よりも低い所定温度まで下げられている。したがって、レーザ素子1の当該損傷を抑制することが可能となる。結晶化層6では、固相反応で高温を必要としないため、歪みの少ない理想的な結晶育成が可能となっている。

[0062] レーザ素子1の製造方法では、ヒートシンク2は、ダイヤモンド、シリコ

ンカーバイド、サファイア、YAGを含むガーネット、バナデート、希土類イオンもしくは遷移金属を添加したレーザ材料、光スイッチ材料、非線形光学材料、機能性光学材料、又は、セラミックスである。レーザ媒質3は、ダイヤモンド、シリコンカーバイド、サファイア、YAGを含むガーネット、バナデート、希土類イオンもしくは遷移金属を添加したレーザ材料、光スイッチ材料、非線形光学材料、機能性光学材料、又は、セラミックスである。昇温させる際の温度（エピ成長温度）である所定温度は、100℃以上1100℃以下である。このようなヒートシンク2及びレーザ媒質3を備えたレーザ素子1について、昇温によりレーザ素子1の物質状態を安定化させると共に、昇温の際におけるレーザ素子1の損傷を抑制することが可能となる。

[0063] セラミックスは、例えば、TGG（テルビウム・ガリウム・ガーネット）、TAG（テルビウム・アルミニウム・ガーネット）、TSAG（テルビウム・スカンジウム・アルミニウム・ガーネット）セラミックス等のファラデー効果を有するものが挙げられる。セラミックスは、端面が粒界のために損傷を受けやすく、保護の意味でも接合して使用する必要がある。セラミックスは厚さが10mm程度した作れないため、厚い材料とする場合には、接合が不可欠である。セラミックスを接合する場合、その接合境界物質が不安定であるために、昇温ステップ（アニール処理）により安定化することが望ましい。

[0064] レーザ素子1では、ヒートシンク2とレーザ媒質3との間には、非晶質層16ではなく結晶化層6が介在され、結晶化層6は、ヒートシンク2側からレーザ媒質3側に行くに従って、ヒートシンク2を構成する元素が漸減すると共に、レーザ媒質3を構成する元素が漸増する。このような構成によれば、レーザ素子1の物質状態を安定化させることが可能となる。非晶質層16では当該元素が比較的ゆっくり変化するが、結晶化層6では、当該元素の変化は急峻になる。

[0065] 図15は、変形例に係るレーザ素子101を示す断面図である。レーザ素子101の製造方法では、ヒートシンク2の表面に光学コーティングを施す

ことで、ヒートシンク2の表面に光学コーティング層12を形成する。光学コーティングとしては、特に限定されず、種々の公知の光学コーティングを採用できる。光学コーティング層12は、ヒートシンク2の一部であって、ヒートシンク2の表面側を構成する。つまり、ヒートシンク2は、その接合側部分に光学コーティング層12を有する。なお、上述ないし後述のように、ヒートシンク2に限られず、他のレーザ材料であってもよいし、Cr:YAG等の光スイッチであってもよいし、水晶やLN, LBO, KTP, GaAs, GaP, ZnSe, ZnS等の非線形光学結晶であってもよい。なお、光学コーティングでは、その最終層として、昇温処理により透明となる層、すなわち、Si, Ga, Zn等の半導体材料、又はSi, Al, Ti, Hf, Mg, Zr, Ta, Nbを堆積させることもある。換言すると、光学コーティング層12の最終層は、昇温処理により透明となる層を有する。昇温処理により透明となる層は、ヒートシンク2とレーザ媒質3との接合後、酸素雰囲気等を適切な環境として熱処理することで酸化物や化合物となり、希望するレーザ波長域で透明化して、十分に機能を果たす。

[0066] レーザ素子101を製造する場合、ヒートシンク2の表面に光学コーティングを施し、当該ヒートシンク2とレーザ媒質3とを表面活性接合により接合して接合素子を形成する。接合素子に加熱処理を施し、接合素子を所定温度まで昇温する。これにより、接合素子がアニール処理され、接合素子の非晶質層がエピタキシャル成長して結晶化した結果、図15に示されるレーザ素子101を得る。昇温させる所定温度は、ヒートシンク2及びレーザ媒質3の融点よりも低い温度である。昇温させる所定温度は、100℃以上600℃以下である。

[0067] このように、変形例に係るレーザ素子101の製造方法では、ヒートシンク2は、その接合側部分に光学コーティング層12を有しており、昇温させる所定温度は、100℃以上600℃以下である。約800℃以上の温度まで昇温すると、光学コーティング層12の劣化が認められる。よって、変形例に係るレーザ素子101の製造方法では、光学コーティング層12の損傷も抑制することができる。光学コーティング層12が損傷を受けない十分な

低温の昇温による再結晶化、すなわちエピ成長が可能である。

[0068] なお、レーザ媒質3がその接合側部分に光学コーティング層を有していてもよいし、ヒートシンク2及びレーザ媒質3の双方が、その接合側部分に光学コーティング層を有していてもよい。昇温させる所定温度は、800℃以下であってもよいし、200℃～300℃であってもよいし、100℃であってもよいし、接合温度以上であればよい。ヒートシンク2がSiC又はダイヤモンドの場合、屈折率が大きく違うため、光学コーティング層12は特に有効である。接合温度とは、その物質が使用される温度であることが望ましい。なお、光学コーティングでは、その最終層として、昇温処理により透明となる層、すなわち、Si, Ga, Zn等の半導体材料、又はSi, Al, Ti, Hf, Mg, Zr, Ta, Nbを堆積させることもある。換言すると、光学コーティング層の最終層は、昇温処理により透明となる層を有する。昇温処理により透明となる層は、ヒートシンク2とレーザ媒質3との接合後、酸素雰囲気等を適切な環境として熱処理することで酸化物や化合物となり、希望するレーザ波長域で透明化して、十分に機能を果たす。

[0069] また、本実施形態では、以下の作用効果も奏する。

[0070] レーザ素子1の製造において、表面活性接合を採用することで、次の作用効果も奏される。すなわち、同種材料同士の接合だけでなく、一般的に接合が困難な異種材料同士の接合が可能となる。金属、ガラス及びフィルム等のあらゆる材料が接合可能となる。熱がかからず、熱による変形を抑制できる。接着剤が不要となる。接合強度を制御できる。強固な接合だけでなく、剥離を前提とした仮接合にも対応できる。接合時間が短いため、原理的には秒単位で接合を完了できる。接合後のずれはなく、高いアライメント精度を実現できる。

[0071] Qスイッチ型マイクロチップレーザでは、共振器が短いほど発生するパルスを短くできる。レーザ媒質にNd:YAGを、また受動Qスイッチ媒質にCr:YAGを用いた端面励起型マイクロチップレーザでは、通常、共振器を短くするために、Nd:YAGを短くする。ただし、励起光の吸収効率は

、Nd : YAGの長さを L_0 とし、励起光吸収係数を α とするなら、 $\eta = 1 - \exp(-\alpha L_0)$ となる。すなわち、Nd : YAGの長さ L_0 を短くすると、先の式に従って吸収効率が低下する。そのため、励起側とは反対面(Cr : YAGの境界面)に励起波長に関する高反射コーティングを施し、 L_0 を半分にする構成がとられる。ところが、セラミックYAGで使われる焼結法で接合すると、コーティング層が邪魔をして接合できない。このため、セラミックYAGによる接合チップは一般に長く、得られるパルス幅も長い。すなわち、性能が低く、競争力の弱いレーザ光源しか作れない。

[0072] このような接合素子に本実施形態を適用することで、短いパルス幅の発生が可能なマイクロチップがセラミックYAGにより望める。大面積の接合も可能なことからセラミックYAGのコンポジットも、大面積を一括して成形し、それを小さなチップにカットすることで量産効果及び低コスト化が可能となる。特に本実施形態では、さらなる大面積化、更に高い接合強度での接合が可能になり、大型化による量産効果及び低コスト化が顕著である。高性能及び高信頼性を有する光学素子の製造が可能となる。

[0073] 以上、本発明の一形態について説明したが、本発明の一態様は、上記実施形態に限られない。

[0074] 例えば上記の各数値には、設計上、計測上又は製造上等の誤差が含まれていてもよい。本発明の一形態に係るレーザ素子1は、様々なレーザ部品ひいてはレーザ装置に適用でき、更には、そのレーザ装置は、計測装置、加工装置、診断装置、医療機器等の各種装置にて利用できる。

[0075] 本発明の一形態では、昇温ステップにおいて、接合素子10を昇温することで非晶質層16の全体を結晶化したが、非晶質層16の全体を結晶化することに限られず、非晶質層16の少なくとも一部を結晶化すればよい。非晶質層16は、SiとYAGとの混晶系、又は、Siとサファイアとの混晶系であってもよい。これらの融点は2000℃程度と非常に高いが、エピ成長温度である所定温度は、それより遥かに低い。

[0076] 本発明の一形態は、レーザ光の空間モードを制御する空間変調素子を備え

ていてもよい。例えば空間変調素子は、ヒートシンク 2 及びレーザ媒質 3 に対して接合されていてもよいし、接合されていなくてもよい。これにより、高輝度及び高出力のマイクロアンプを構成することが可能となる。

[0077] 本発明の一形態では、第 1 素子部と第 2 素子部とを表面活性接合したが、表面活性接合では、ヒートシンク 2 及びレーザ媒質 3 を接触させる際に略真空環境としなくてもよい。本発明の一態様において、第 2 素子部は、金 (Au)、銅 (Cu)、銅タングステン (CuW)、アルミニウム (Al)、鉄 (Fe)、チタン (Ti)、或いは、これらのうちの少なくとも何れかの合金を含む金属であってもよい。

[0078] 本発明の一形態は、レーザ光が透過、往復又は反射する光学素子であれば、あらゆる光学素子に適用できる。本発明の一形態に係る光学素子は、発振器に限定されず、増幅器、機能性光学材料 (Cr:YAG等のQスイッチ素子) 又は、非線形光学材料やQPM-水晶等の波長変換素子も含む。接合する材料として、レーザ媒質及びヒートシンクの組合せだけで無く、可飽和吸収体等の光スイッチや波長変換のための非線形光学材料等でもよい。レーザ光が透過する光学素子としては、必ずしも透明化の透過率が95%以上である必要はない。

[0079] 本発明の一形態において、結晶化層を介して接合される構成は、上述したものに特に限定されず、例えば以下の構成例 1~4 の光学素子であってもよい。なお、レーザ媒質は、例えば、RE:単結晶・セラミックス (YAG, YSGG, YLF, YVO₄, SFAP等), RE:ガラスである。Qスイッチ素子は、例えば、Cr:YAGである。透明ヒートシンクは、例えば、YAG, サファイア, SiC, ダイヤモンドである。

(構成例 1)

レーザ媒質と、当該レーザ媒質に積層されたQスイッチ素子と、これらの間の結晶化層と、を備えた光学素子。

(構成例 2)

透明ヒートシンクと、当該ヒートシンクに積層されたレーザ媒質と、

これらの間の結晶化層と、を備えた光学素子。

(構成例3)

透明ヒートシンクと、当該透明ヒートシンクに積層されたレーザ媒質と、当該レーザ媒質に積層されたQスイッチ素子と、透明ヒートシンクとレーザ媒質との間の結晶化層と、レーザ媒質とQスイッチとの間の結晶化層と、を備えた光学素子。

(構成例4)

透明ヒートシンクと、当該透明ヒートシンクに積層されたレーザ媒質と、当該レーザ媒質に積層されたQスイッチ素子と、当該Qスイッチに積層された透明ヒートシンクと、透明ヒートシンクとそれに隣接するレーザ媒質との間の結晶化層と、レーザ媒質とQスイッチとの間の結晶化層と、Qスイッチ素子とそれに隣接する透明ヒートシンクとの間の結晶化層と、を備えた光学素子。

[0080] 本発明の一形態において、光学素子を構成する各部材（第1素子部及び第2素子部）には、公知のコーティング層（光学コーティング層）を適宜設けてもよい。Nd:YAGとCr:YAGについては、屈折率が略同じであるために、コーティング層としてAR (Anti Reflection) コートを要さずに、結晶化層を介した直接接合が可能である。しかし、励起効率改善のために、コーティング層として、対象波長が808nmや885nmのHR (High Reflection) コート且つ対象波長が1064nmのARコートは設けてもよい。つまり、本発明の一形態では、コーティング（光学コーティング）してそこに結晶化層を介して接合してなる構成等のバリエーションを含む。本発明の一形態において、透明な第1素子部及び第2素子部は、スイッチがONのときに透明なQスイッチ素子等の光スイッチ素子を含む。

[0081] 接合されるべき素子部の組合せは、光利得媒質、Qスイッチ素子、ヒートシンク（YAG、サファイア、SiC、ダイヤモンドの他、Al、Cu、CuW等の不透明材料）、非線形光学素子（非線形波長変換（SHG, ラマン素子等）、非線形光スイッチ等）、波長板、ポーラライザ、ビームスプリッタ

、ビーム結合素子等のうちの適切な組合せであってもよい。Qスイッチ素子としては、従来のAO (Acousto Optic) , EO (Electro Optic) だけでなく、MO (Magneto Optic) も含む。本発明の一形態では、共振器内部に波長板やポーラライザを配置して、接合してもよい。本発明の一形態では、非線形光学波長変換素子が含まれていてもよいし、ビームスプリッタやビーム結合素子が含まれていてもよい。本発明の一形態では、励起光をヒートシンクから導入してもよい。透明ヒートシンクの接合は、寄生発振防止にも有効である。

[0082] なお、ディスクレーザのような構成では、ヒートシンクとして金属を用いる。金属がAl又はその合金、更には、ヒートシンクの最外面部のみがAl等の場合、出射するレーザ光に関するHRコートをレーザ媒質に施した後、そのヒートシンクを何らかの方法で接合する。当該何らかの方法として、HRコートの外側にアルミナ層をスパッタ又は蒸着した後に、その両者をアンビルなどで挟み、そこにHRコートを透過する別波長のジャイアントパルスレーザ光を照射し、ヒートシンクを構成する元素とレーザ媒質を構成する元素とを非熱的に結晶レベルで混じり合わせて接合をさせる方法も有効である。

[0083] 図16は、昇温ステップ前の素子である接合素子10の接合部分の周辺を示す図である。図16に示されるサンプルでは、ヒートシンク2にNd:YAGセラミックスを用い、レーザ媒質3にNd:YAG単結晶を用いた(以下の図17~図22について同じ)。図16の図は、EDXデータである(以下の図17及び図22について同じ)。図16に示されるように、昇温ステップ前(アニール処理前)の接合素子10では、非晶質層16が介在していることが確認できる。図示する一例では、非晶質層16は、10~15nmの厚さである。

[0084] 図17は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子1の接合部分の周辺を示す図である。図17に示されるように、昇温ステップ後(アニール処理後)のレーザ素子1では、非晶質層16(図16参照)が消失していることが

確認できる。Nd : YAG単結晶の領域の拡大（エピタキシャル成長）を検証できる。

[0085] 図18は、昇温ステップ後の素子であるレーザ素子1の接合部分の周辺を示す図である。図19は、図18に表されるスキャン方向の位置において検出された元素を示すグラフである。図20は、昇温ステップ前の素子である接合素子10の接合部分の周辺を示す図である。図21は、図20に表されるスキャン方向の位置において検出された元素を示すグラフである。

[0086] 図18及び図20の図は、透過した電子のうち散乱されずに透過した電子及び小さい角度で散乱した電子を検出して作られたSTEM像である明視野像（bright-field image）である。図19及び図21のグラフにおいて、縦軸は元素の数量に当たる計測信号量であり、横軸はスキャンの距離である。図19のグラフのスキャン方向は、図18における上から下に向かう方向に対応する。図21のグラフのスキャン方向は、図20における上から下に向かう方向に対応する。図18～図21に示されるように、例えばヒートシンク2側からレーザ媒質3側に行くに従って、ヒートシンク2を構成する元素が漸減すると共に、レーザ媒質3を構成する元素が漸増していることが確認できる。

[0087] 図22は、昇温ステップ前の素子であってEB照射後の接合素子10の接合部分の周辺を示す図である。Nd : YAGセラミックスとNd : YAG単結晶との接合界面の非晶質層16の不安定性は著しく、図22の丸枠内に示されるように、解析途中のEB（Electron Beam）照射後では、非晶質層16にボイドが発生していることが確認できる。なお、EB照射前では、非晶質層16に損傷はない（図16参照）。昇温ステップ（アニール処理）により非晶質層を結晶化した場合には、このような損傷はみられない。YAG単結晶とYAGセラミックスとの接合後に昇温することで、その接合界面を含めて多結晶体であるセラミックス領域が単結晶化され、セラミックス由来の特性劣化、例えば配向性、グレイン界面での電子やフォノンの散乱が抑制される。任意のセラミックス材料と単結晶とを表面活性接合させた後に昇温によ

り単結晶化する手法は、材料の特性改善に有効である。

[0088] 例えば図16～図22の少なくとも何れかに示されるように、本発明の一態様は、セラミックスに単結晶を表面活性接合後に昇温することでその接合界面を含めて多結晶体であるセラミックス領域を融点以下の固相法により単結晶化することを特徴とする。

[0089] 例えば図16～図22の少なくとも何れかに示されるように、本発明の一態様は、レーザ光が透過、往復又は反射する光学素子であって、レーザ光に対して透明な第1素子部及び第2素子部と、第1素子部と第2素子部との間に介在され、結晶化してなる結晶化層と、を備え、結晶化層は、第1素子部側から第2素子部側に行くに従って、10nm領域で第1素子部を構成する元素が連続的に第2素子部を構成する元素に交換している。

[0090] 例えば図16～図22の少なくとも何れかに示されるように、本発明の一態様は、レーザ光が透過、往復又は反射する光学素子であって、レーザ光に対して透明な第1素子部及び第2素子部と、第1素子部と第2素子部との間に介在され、結晶化してなる結晶化層と、を備え、第1素子部及び第2素子部の少なくとも一方は、その接合側部分に光学コーティング層を有し、光学コーティング層に接する第1素子部又は第2素子部の結晶化層において、10nm領域で第1素子部又は第2素子部を構成する元素が連続的に光学コーティング層を構成する元素に交換している。

[0091] 例えば図16～図22の少なくとも何れかに示されるように、本発明の一態様は、第1素子部及び第2素子部の少なくとも一方は、その接合側部分に光学コーティング層を有し、結晶化層は、Ar、Ne、Xe、He、Fe、Ni及びCrの少なくとも何れかを含む。ちなみに、上記セラミックYAGについては、500℃でアニール処理すると、LIDT（レーザー損傷閾値）が高くすることができ、100℃でアニール処理すると、劣化しやすくなることを見出される。

符号の説明

[0092] 1, 101…レーザ素子（光学素子）、2…ヒートシンク（第1素子部）

、 3…レーザ媒質（第2素子部）、6…結晶化層、10…接合素子、12…光学コーティング層、16…非晶質層、E1…界面、E2…界面、L…レーザ光。

請求の範囲

- [請求項1] レーザ光が透過、往復又は反射する光学素子を製造する方法であつて、
- 前記レーザ光に対して透明な第1素子部及び第2素子部が非晶質層を介して表面活性接合されてなる接合素子を得る第1ステップと、
- 前記第1ステップの後、前記接合素子を昇温することで、前記非晶質層の少なくとも一部を結晶化する第2ステップと、を備え、
- 前記第2ステップにおいては、前記第1素子部及び前記第2素子部の融点よりも低い所定温度まで前記接合素子を昇温する、光学素子の製造方法。
- [請求項2] 前記第1ステップでは、略真空環境下において、前記第1素子部の接合側の表面及び前記第2素子部の接合側の表面の少なくとも何れかにイオンビーム又は高速原子ビームを照射した後、前記第1素子部の前記表面と前記第2素子部の前記表面とを接触させることで、前記接合素子を得る、請求項1に記載の光学素子の製造方法。
- [請求項3] 前記第1ステップにおいて、前記非晶質層は、前記第1素子部及び前記第2素子部を構成する物質以外の不純物として、前記イオンビーム又は前記高速原子ビームを構成するビーム源元素、及び、前記イオンビーム又は前記高速原子ビームのビーム筐体を構成するビーム筐体材料の少なくとも何れかを含む、請求項2に記載の光学素子の製造方法。
- [請求項4] 前記第1素子部は、ダイヤモンド、シリコンカーバイド、サファイア、YAGを含むガーネット、バナデート、セクスオキサイド、フロライド、アパタイト、タングステート、シリケート、リン酸系の材料、希土類イオンもしくは遷移金属を添加したレーザ材料、光スイッチ材料、非線形光学材料、又は、機能性光学材料であり、
- 前記第2素子部は、金、銅、銅タングステン、アルミニウム、鉄、チタン、或いは、これらのうちの少なくとも何れかの合金を含む金属

、ダイヤモンド、シリコンカーバイド、サファイア、YAGを含むガーネット、バナデート、セクスオキサイド、フロライド、アパタイト、タングステート、シリケート、リン酸系の材料、希土類イオンもしくは遷移金属を添加したレーザ材料、光スイッチ材料、非線形光学材料、又は、機能性光学材料であり、

前記第2ステップの前記所定温度は、100℃以上で且つ前記非晶質層を構成する物質の融点より低い温度である、請求項1～3の何れか一項に記載の光学素子の製造方法。

[請求項5] 前記第1素子部及び第2素子部の状態は、単結晶、アモルファス（ガラスを含む）、又はセラミックスである、請求項1～3の何れか一項に記載の光学素子の製造方法。

[請求項6] 前記第1素子部及び前記第2素子部の少なくとも一方は、その接合側部分に光学コーティング層を有し、

前記所定温度は、100℃以上600℃以下である、請求項4に記載の光学素子の製造方法。

[請求項7] 前記光学コーティングの最終層は、昇温処理により透明となる層を有する、請求項6に記載の光学素子の製造方法。

[請求項8] 前記第2ステップで前記非晶質層を結晶化してなる結晶化層が有する界面の平面度は、前記非晶質層が有する界面の平面度よりも高い、請求項1～7の何れか一項に記載の光学素子の製造方法。

[請求項9] レーザ光が透過、往復又は反射する光学素子であって、
前記レーザ光に対して透明な第1素子部及び第2素子部と、
前記第1素子部と前記第2素子部との間に介在され、結晶化してなる結晶化層と、を備え、

前記結晶化層は、前記第1素子部側から前記第2素子部側に行くに従って、10nm領域で前記第1素子部を構成する元素が連続的に前記第2素子部を構成する元素に交換している、光学素子。

[請求項10] レーザ光が透過、往復又は反射する光学素子であって、

前記レーザ光に対して透明な第1素子部及び第2素子部と、
前記第1素子部と前記第2素子部との間に介在され、結晶化してなる結晶化層と、を備え、

前記結晶化層は、Ar、Ne、Xe、He、Fe、Ni及びCrの少なくとも何れかを含む、光学素子。

[請求項11]

レーザ光が透過、往復又は反射する光学素子であって、

前記レーザ光に対して透明な第1素子部及び第2素子部と、
前記第1素子部と前記第2素子部との間に介在され、結晶化してなる結晶化層と、を備え、

前記第1素子部及び前記第2素子部の少なくとも一方は、その接合側部分に光学コーティング層を有し、

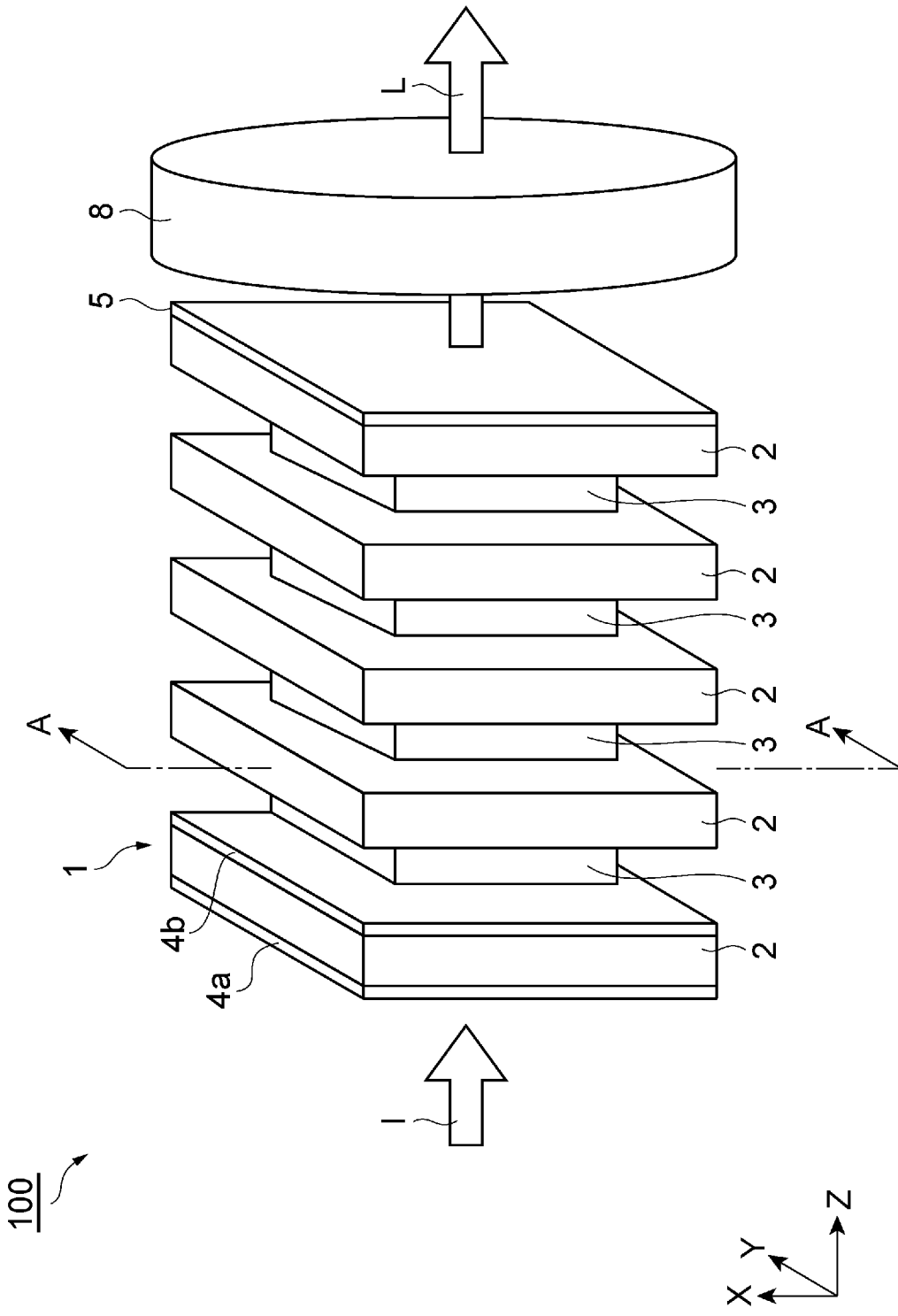
前記光学コーティング層に接する前記第1素子部又は前記第2素子部の結晶化層において、10nm領域で前記第1素子部又は前記第2素子部を構成する元素が連続的に前記光学コーティング層を構成する元素に交換している、光学素子。

[請求項12]

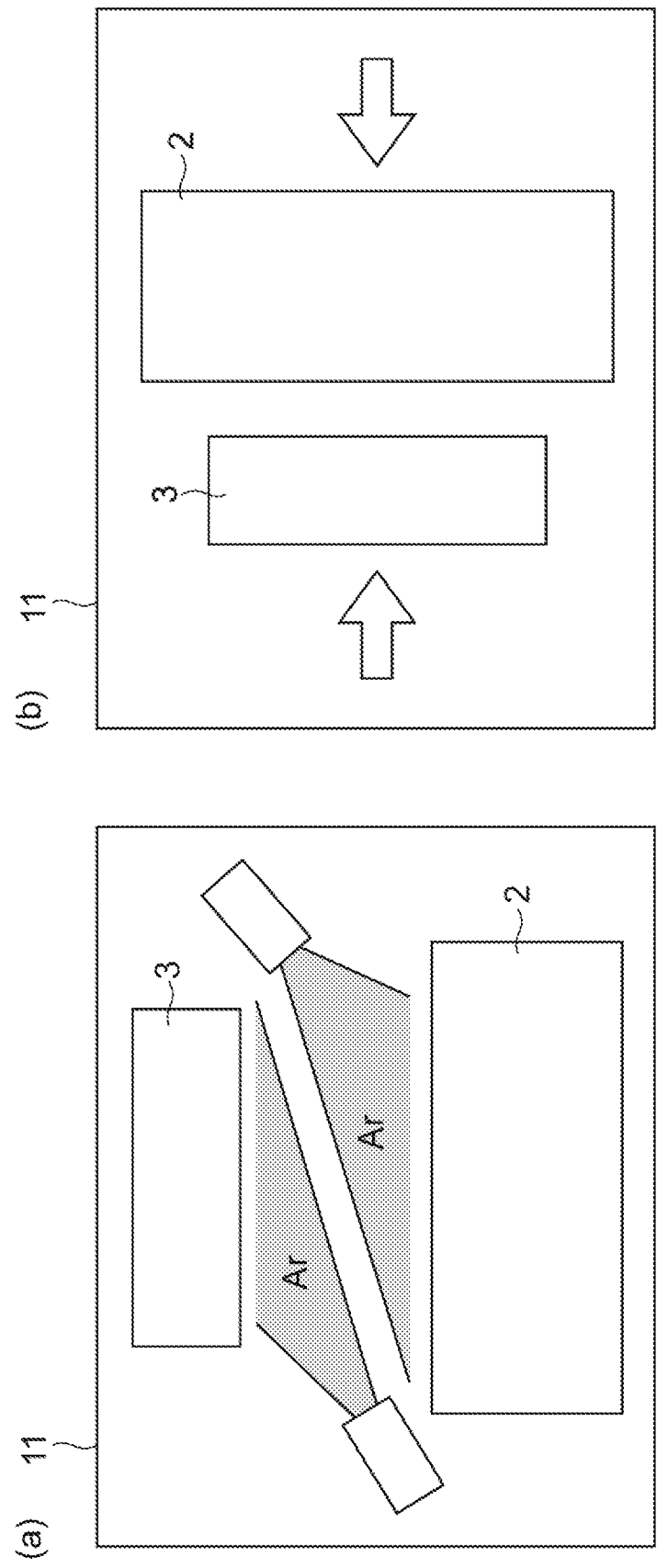
前記第1素子部及び前記第2素子部の少なくとも一方は、その接合側部分に光学コーティング層を有し、

前記結晶化層は、Ar、Ne、Xe、He、Fe、Ni及びCrの少なくとも何れかを含む、請求項9に記載の光学素子。

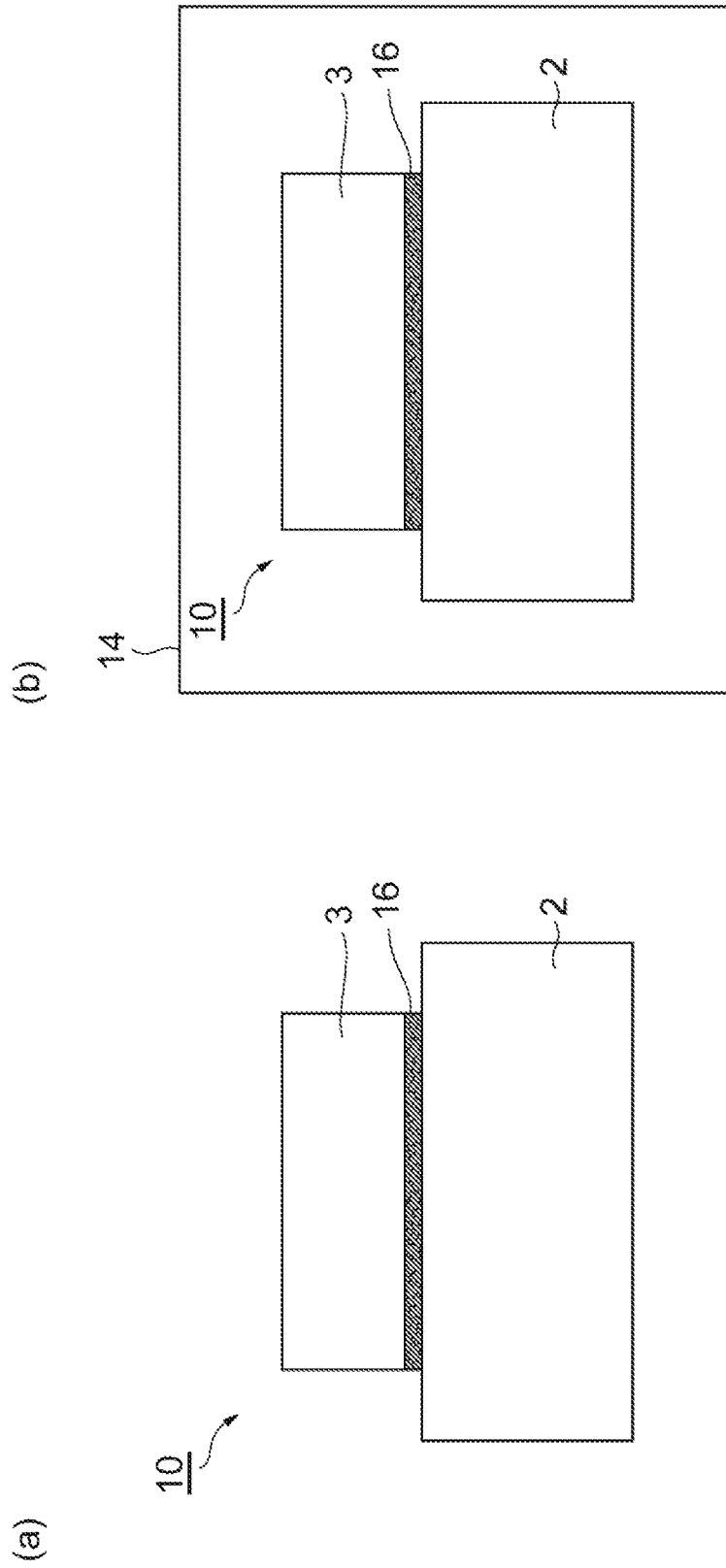
[図1]



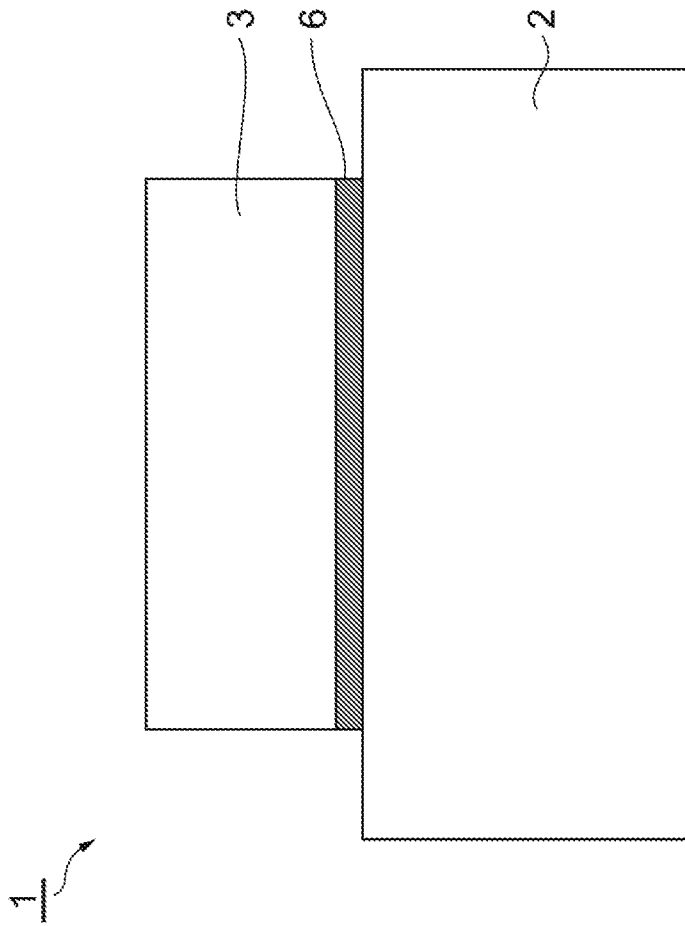
[図2]



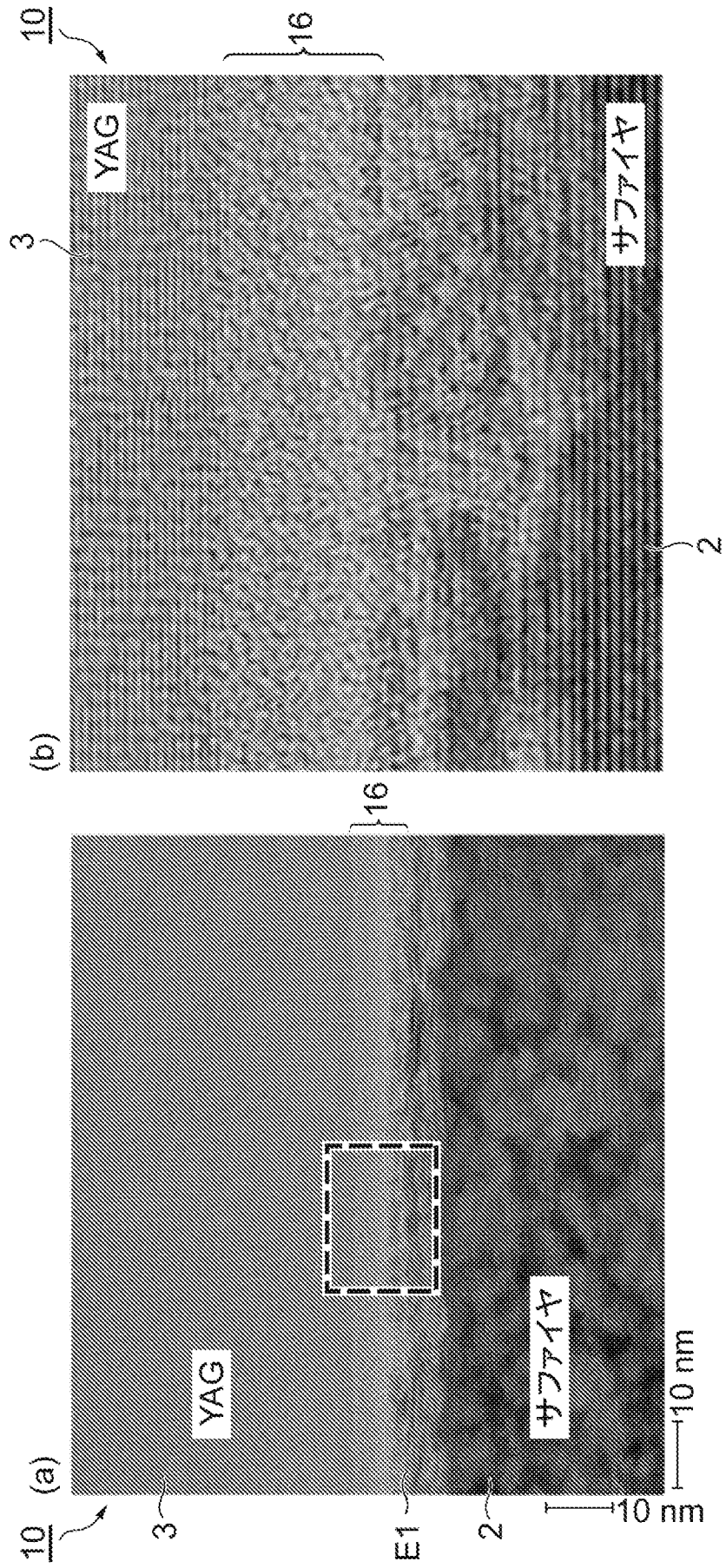
[図3]



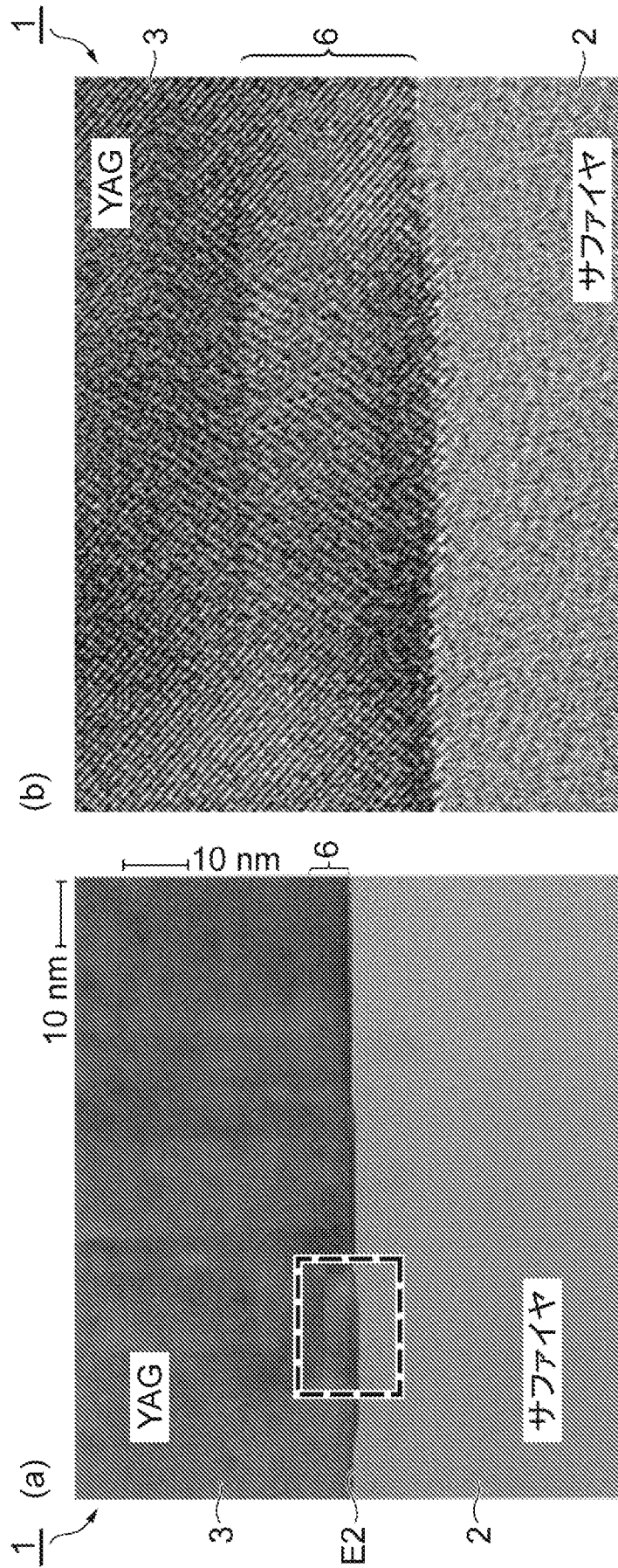
[図4]



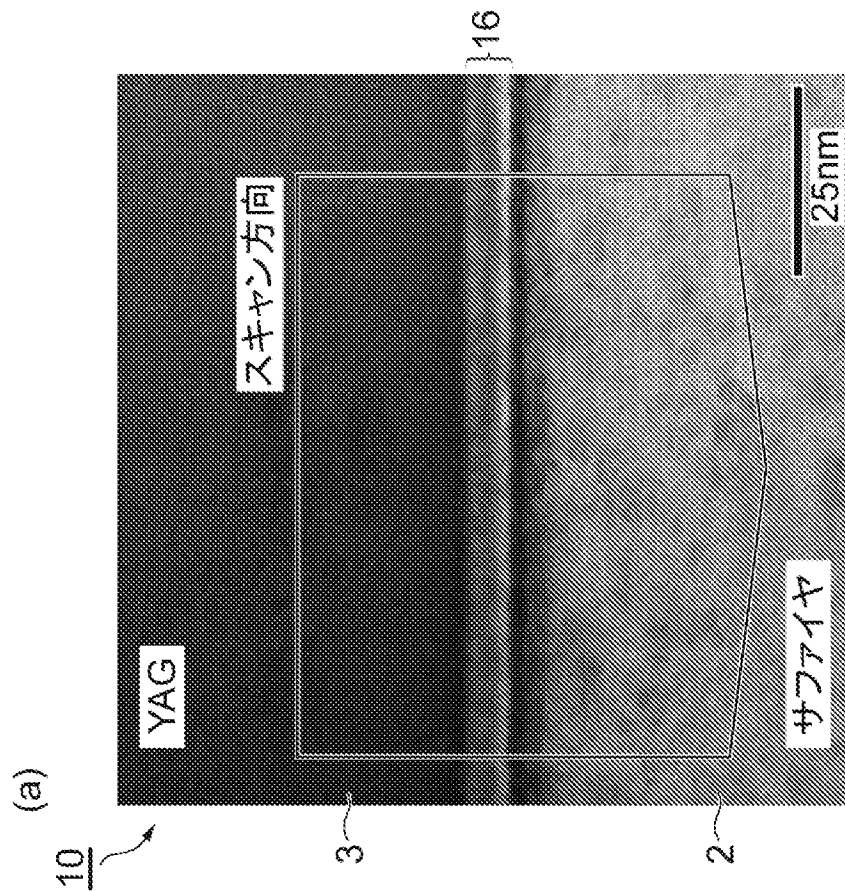
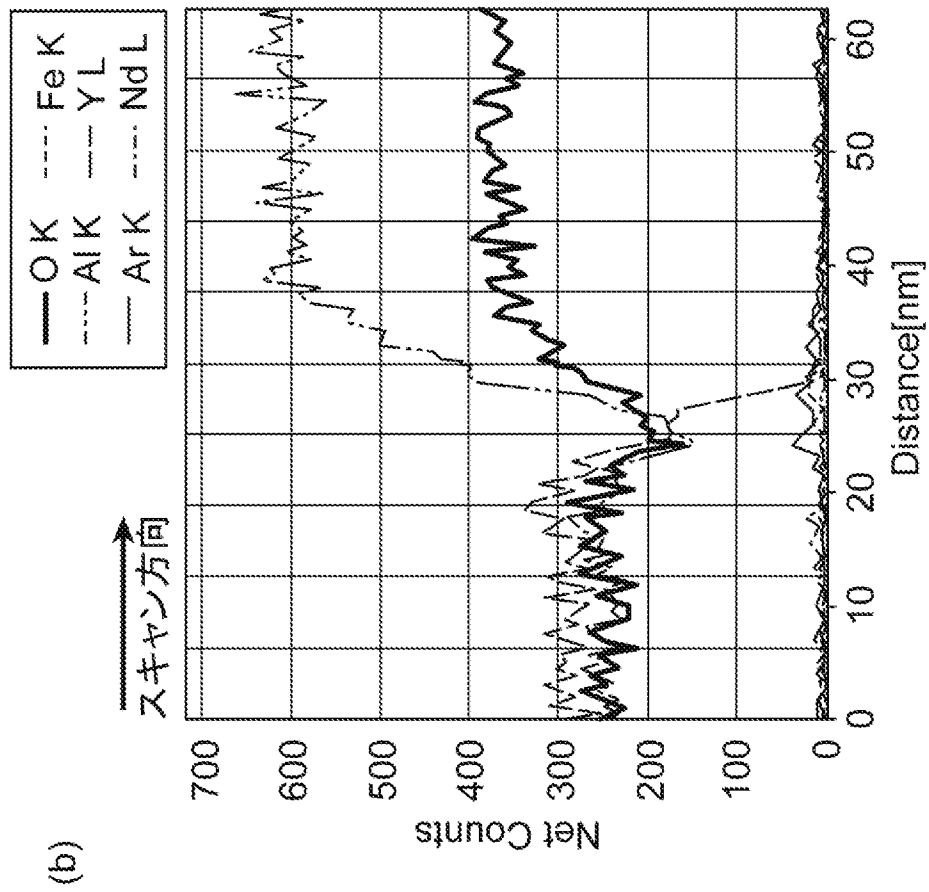
[図5]



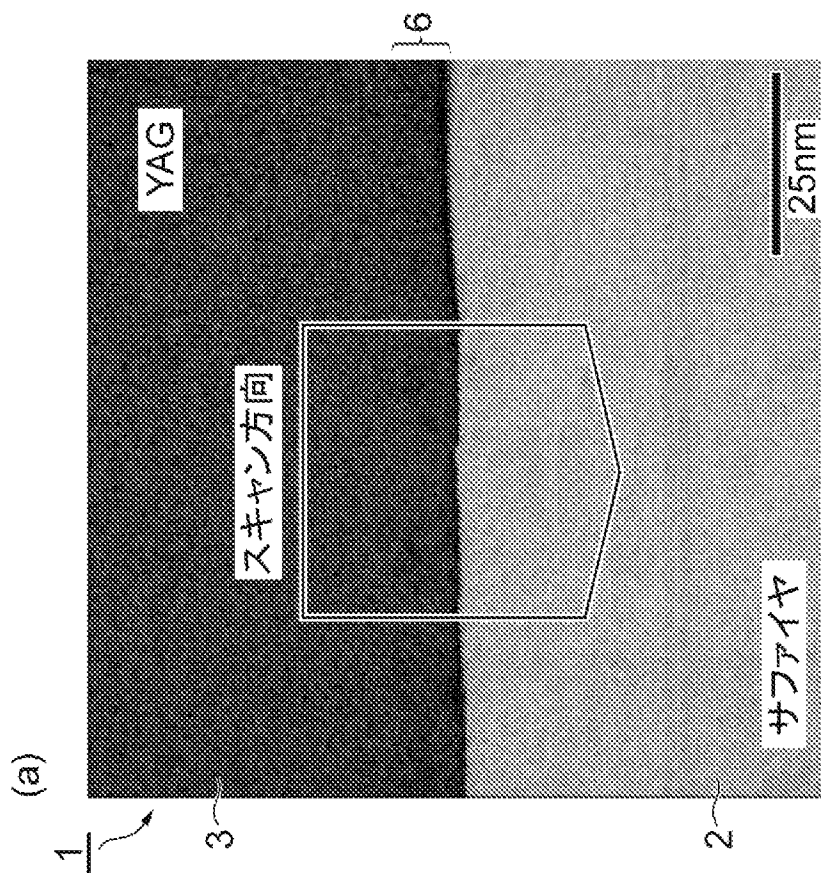
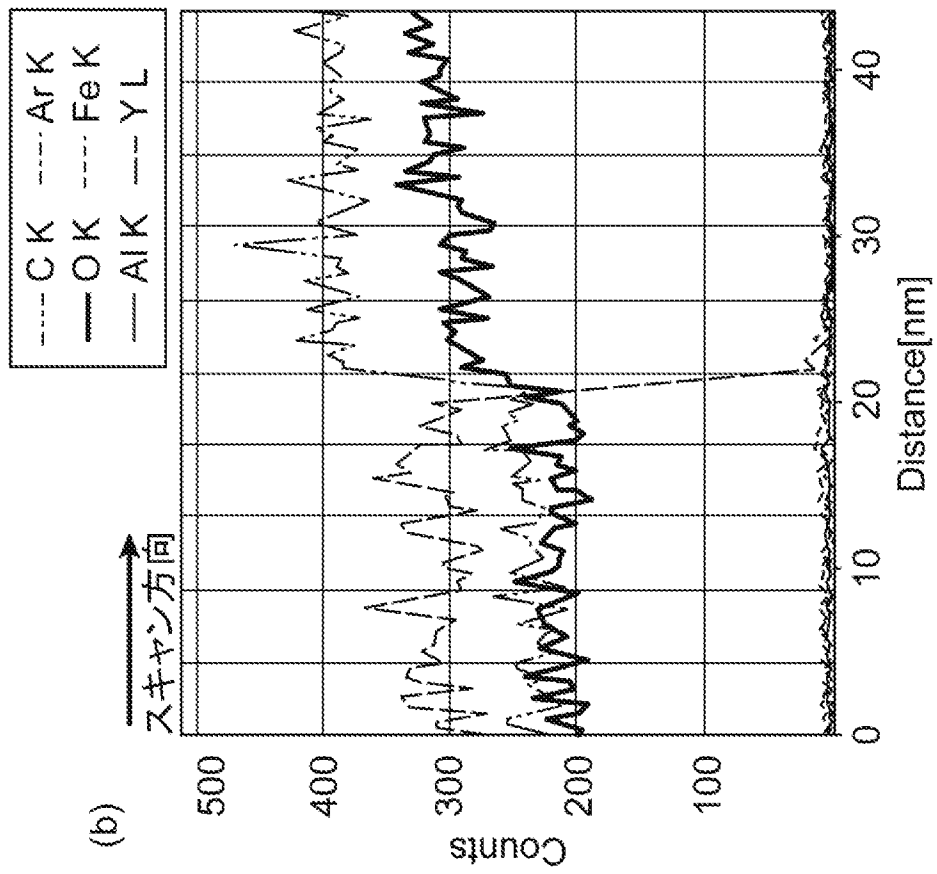
[図6]



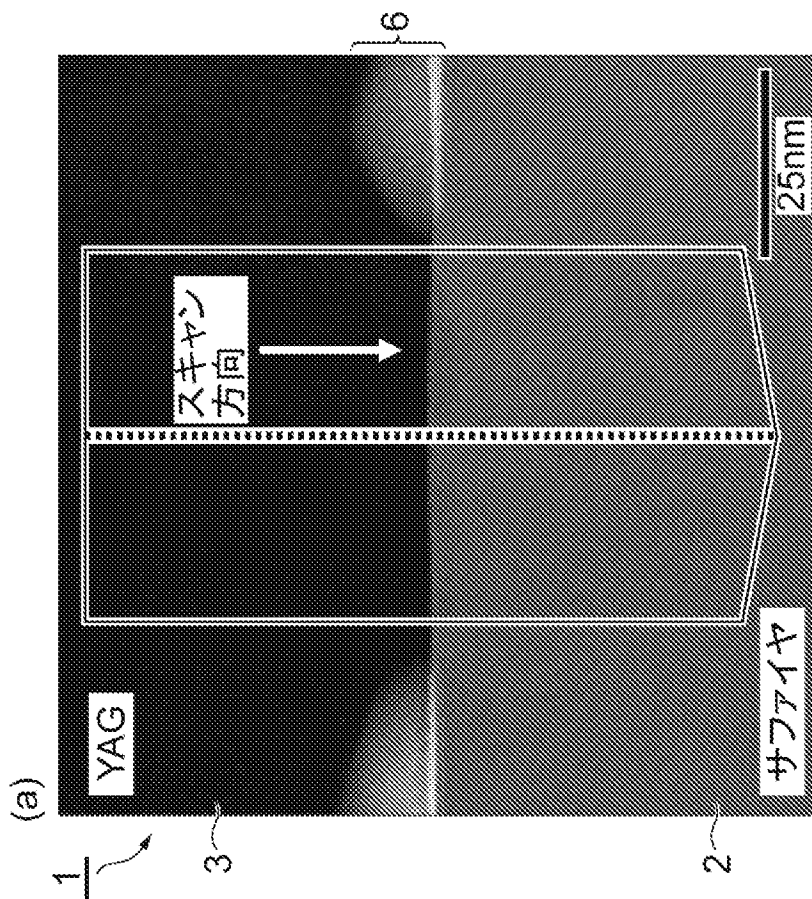
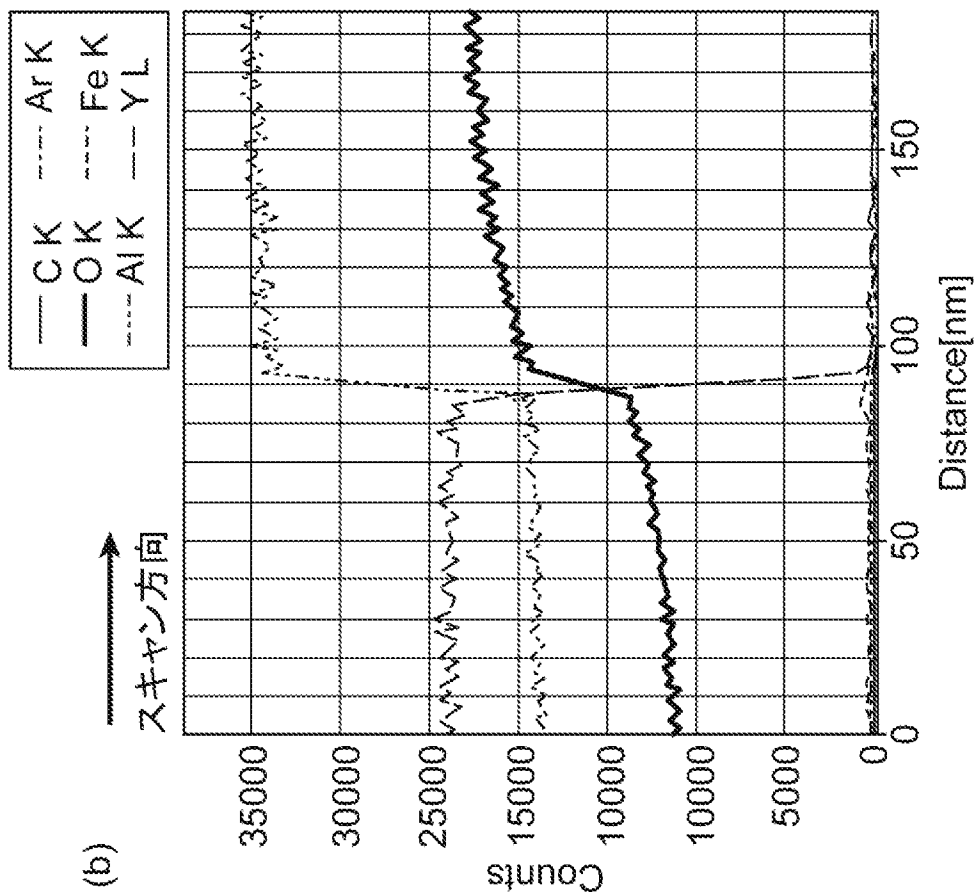
[図7]



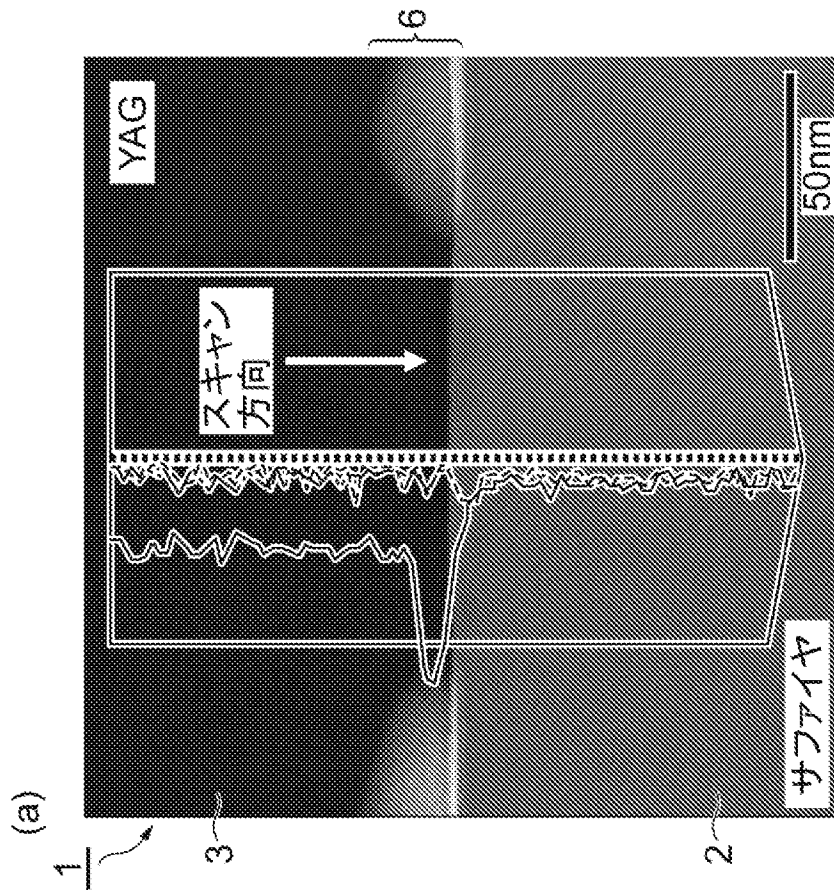
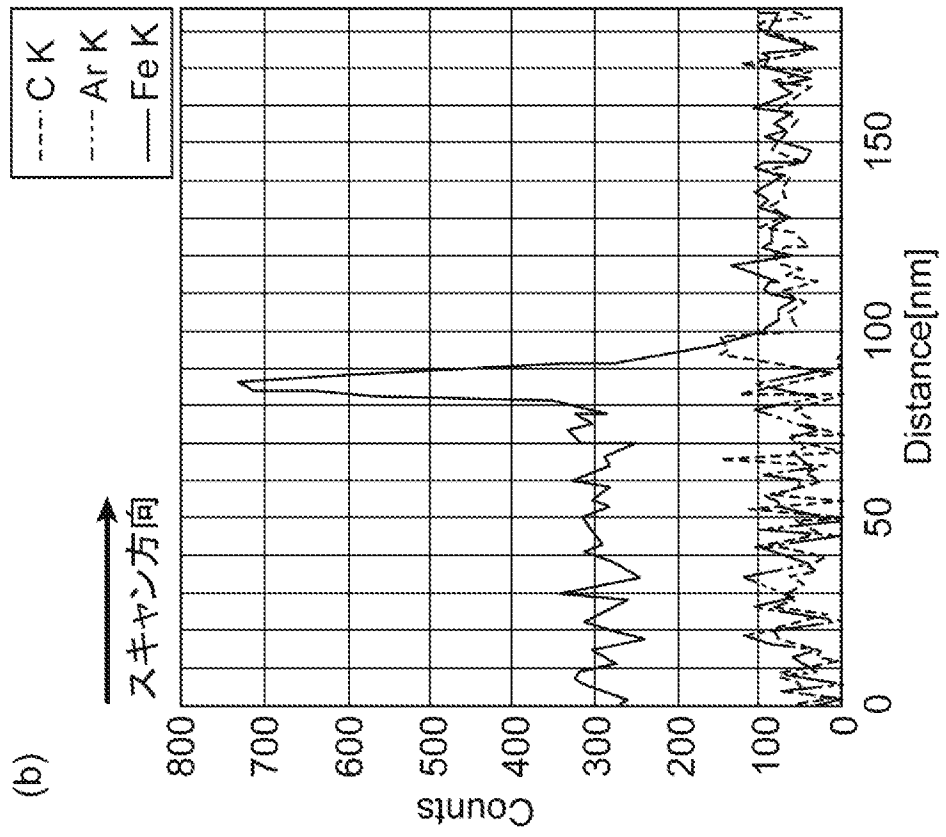
[図8]



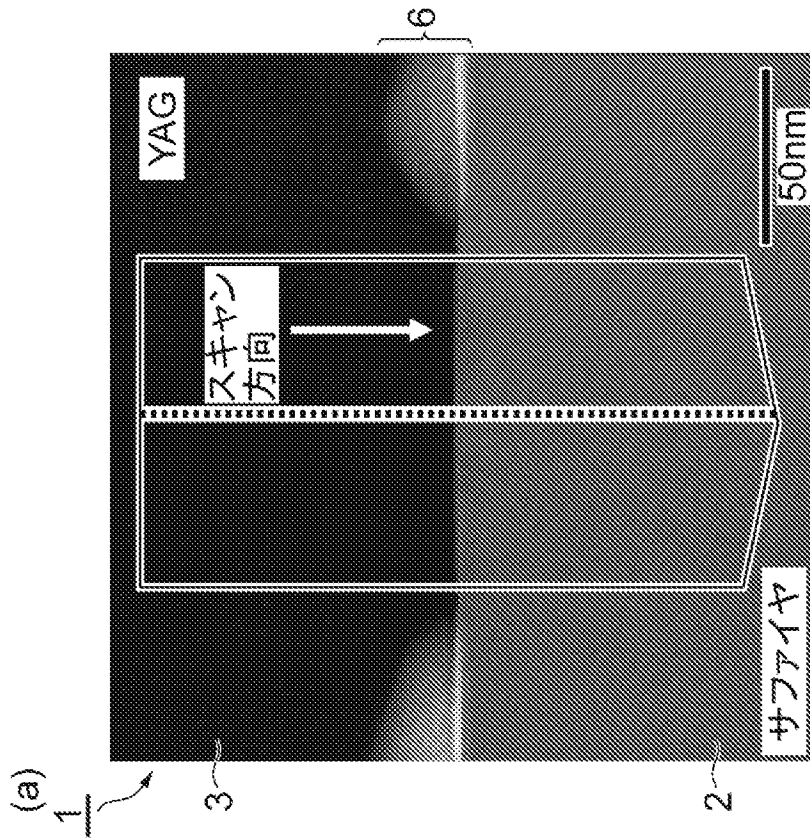
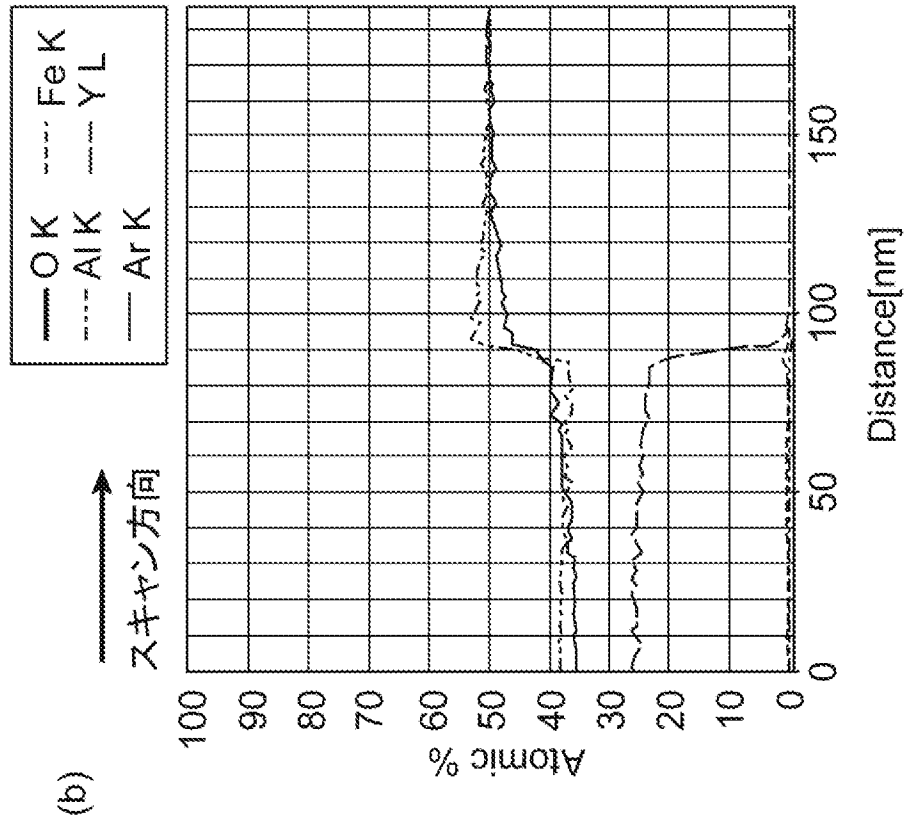
[図9]



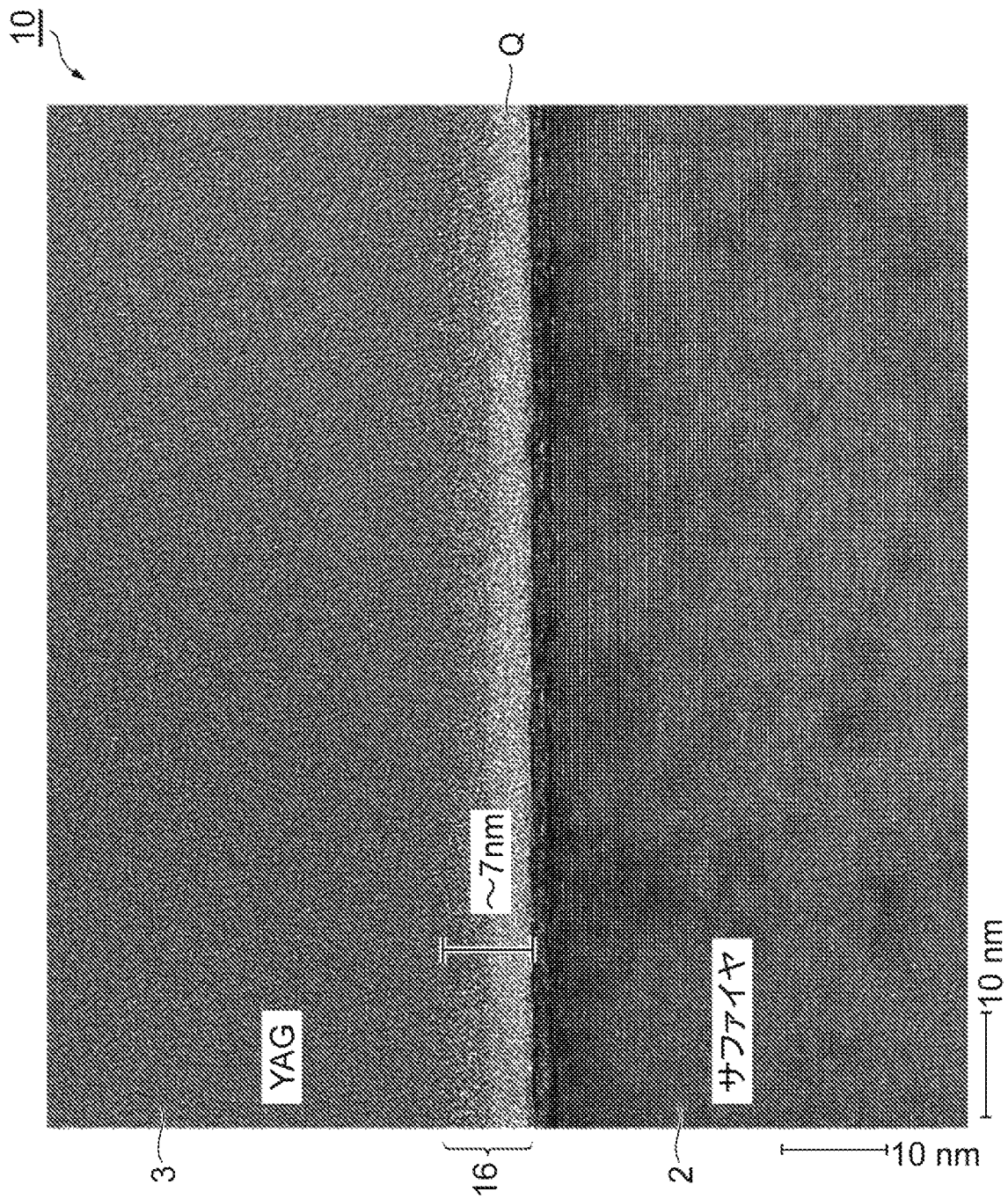
[図10]



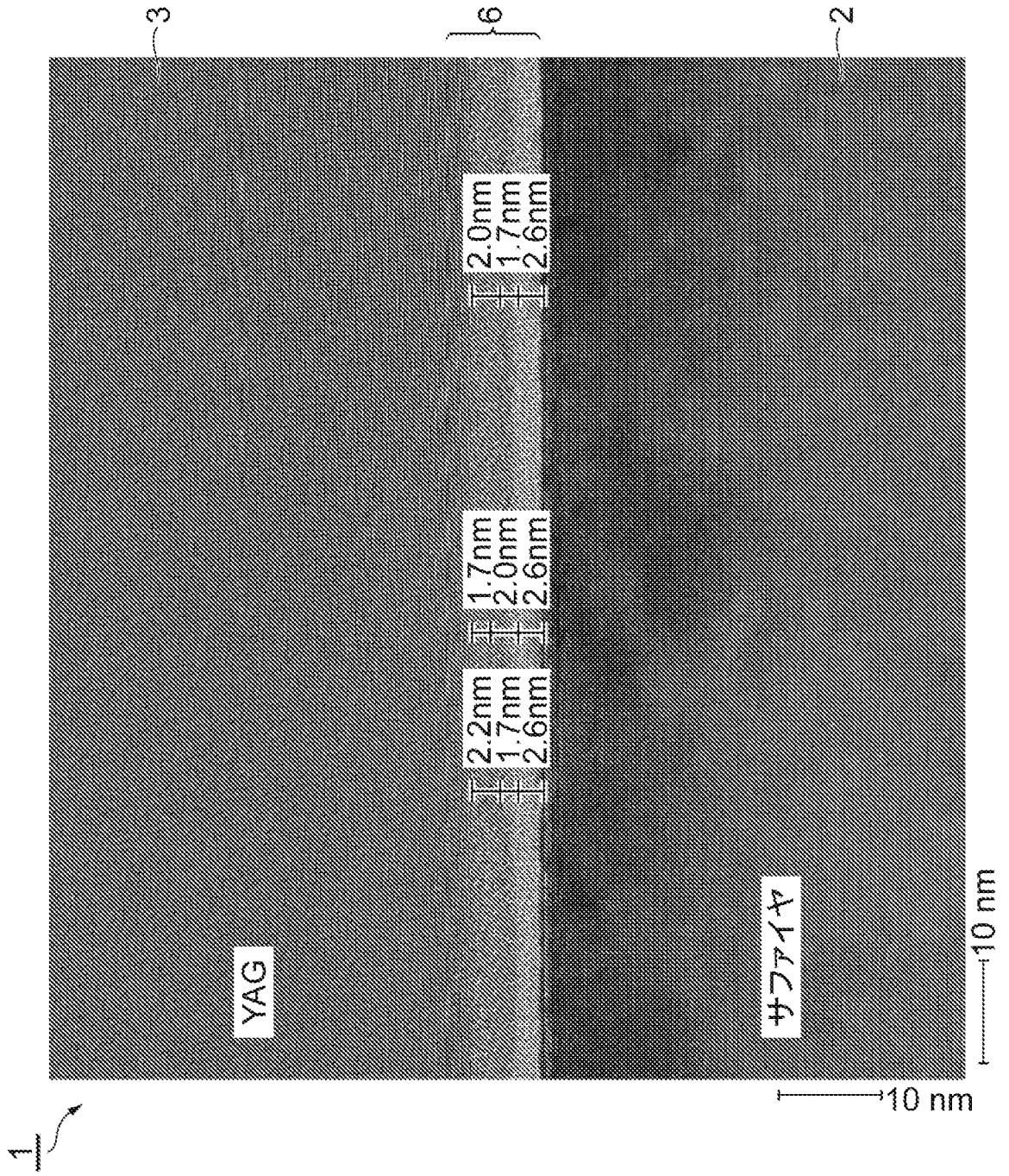
[図11]



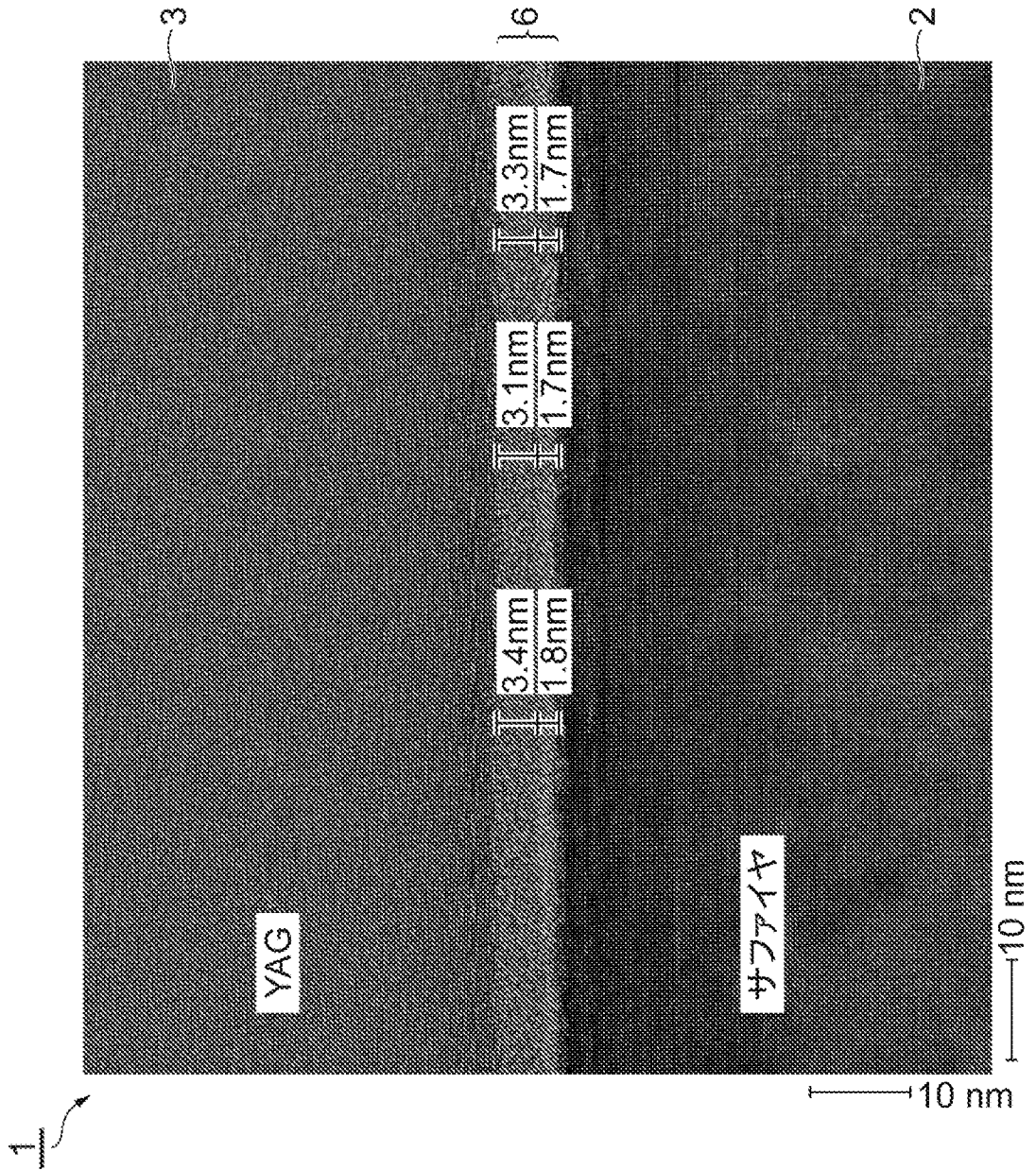
[図12]



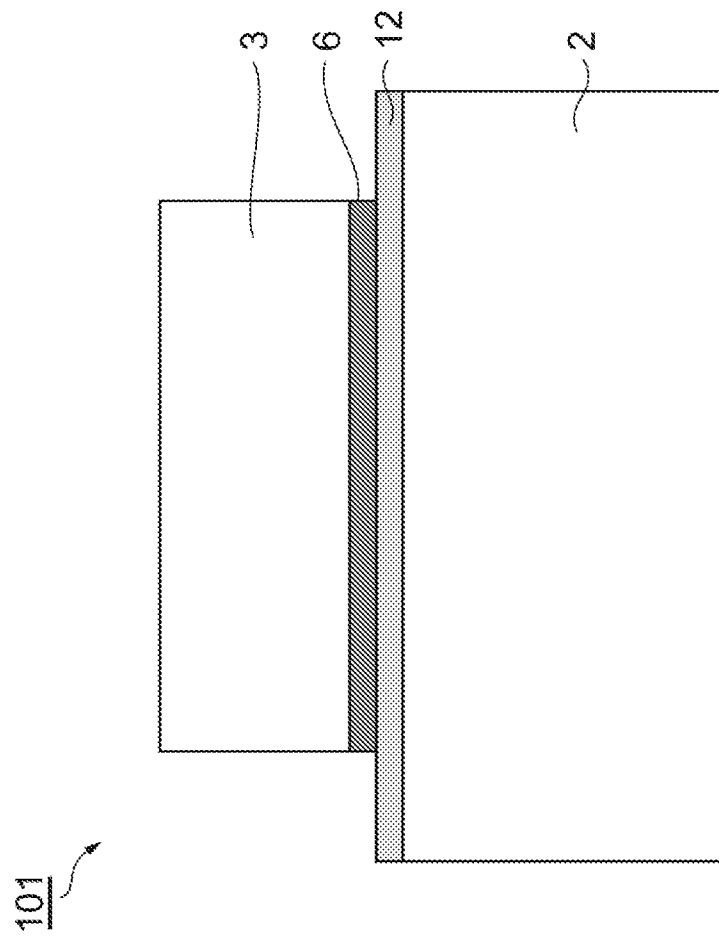
[図13]



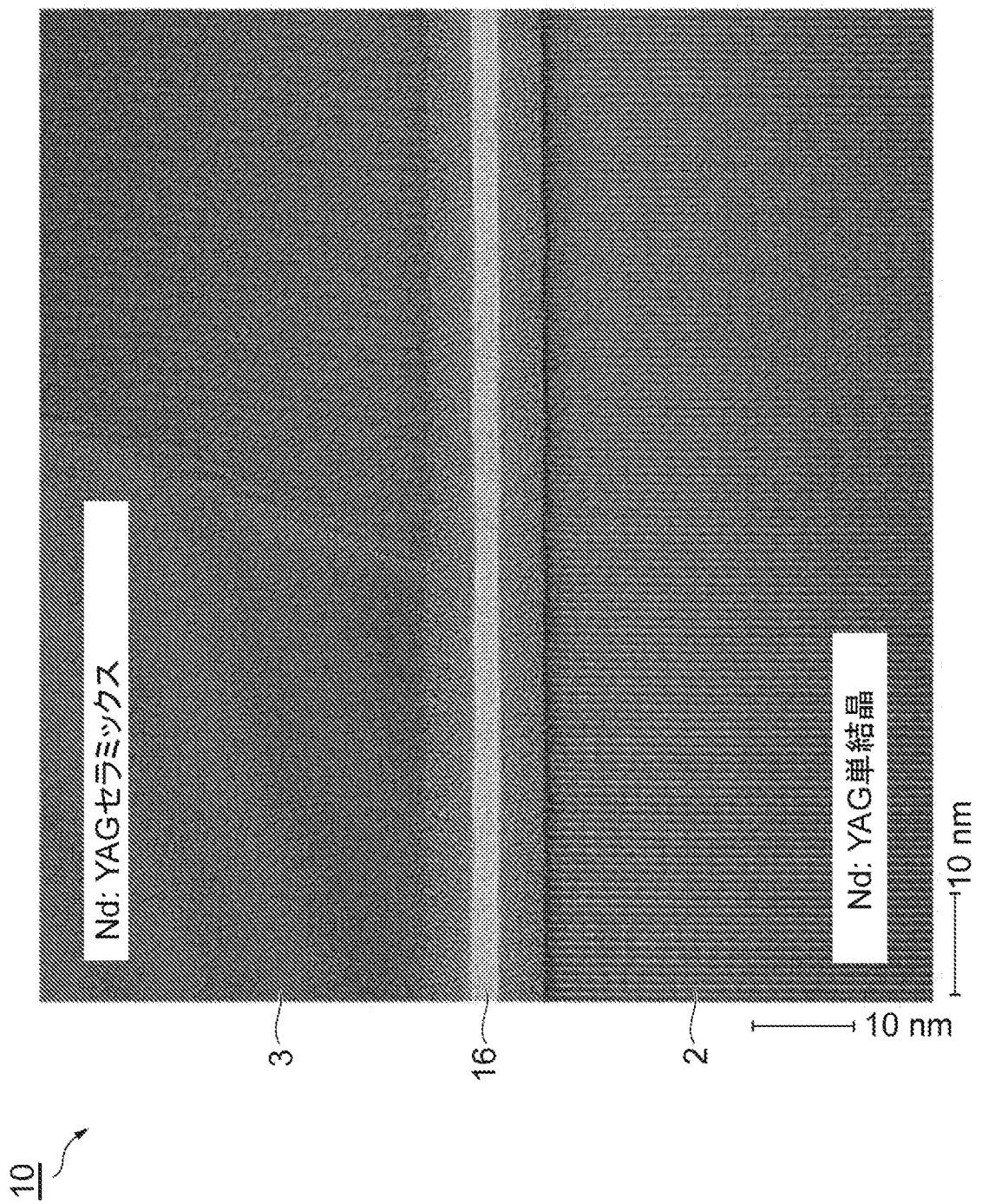
[図14]



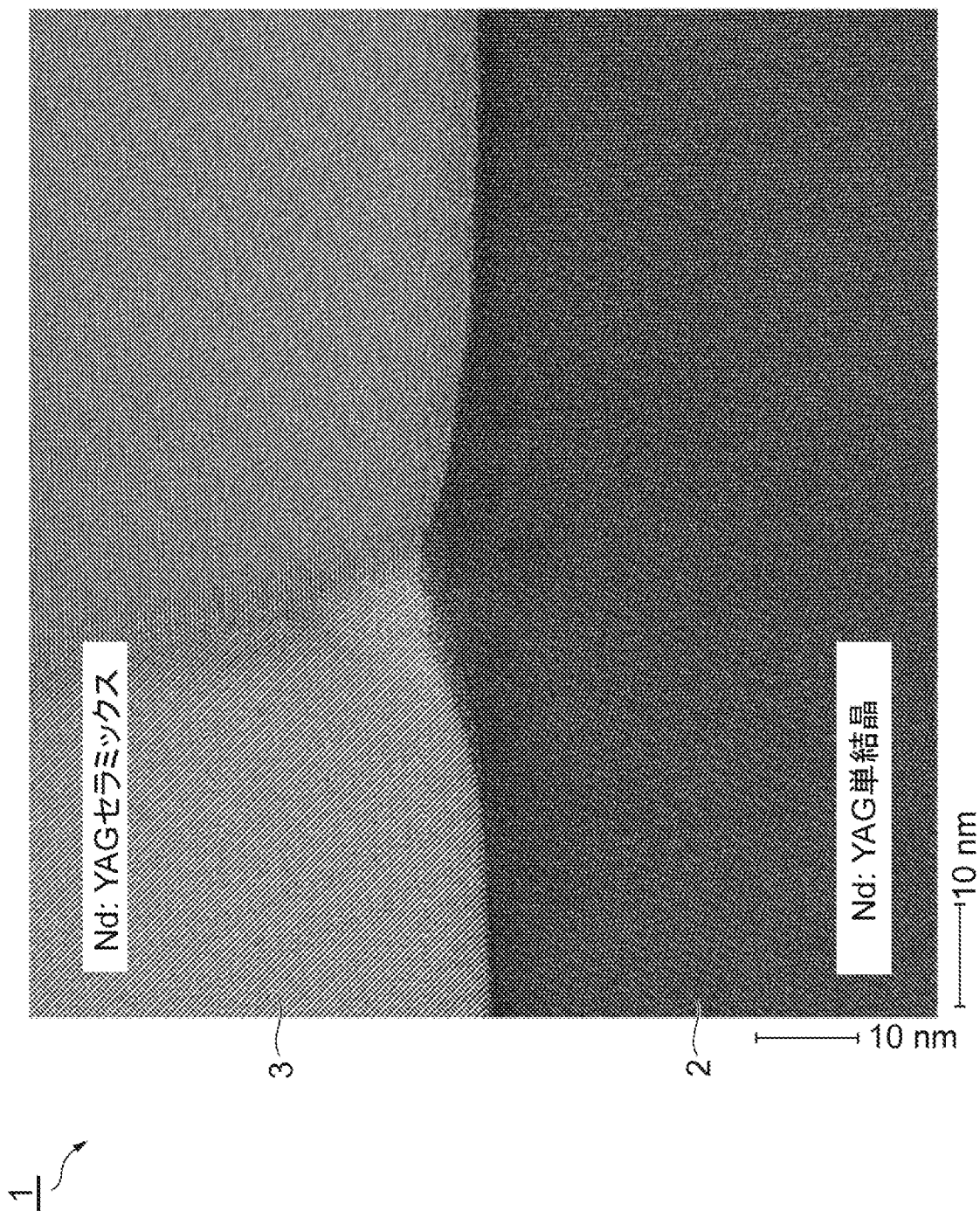
[図15]



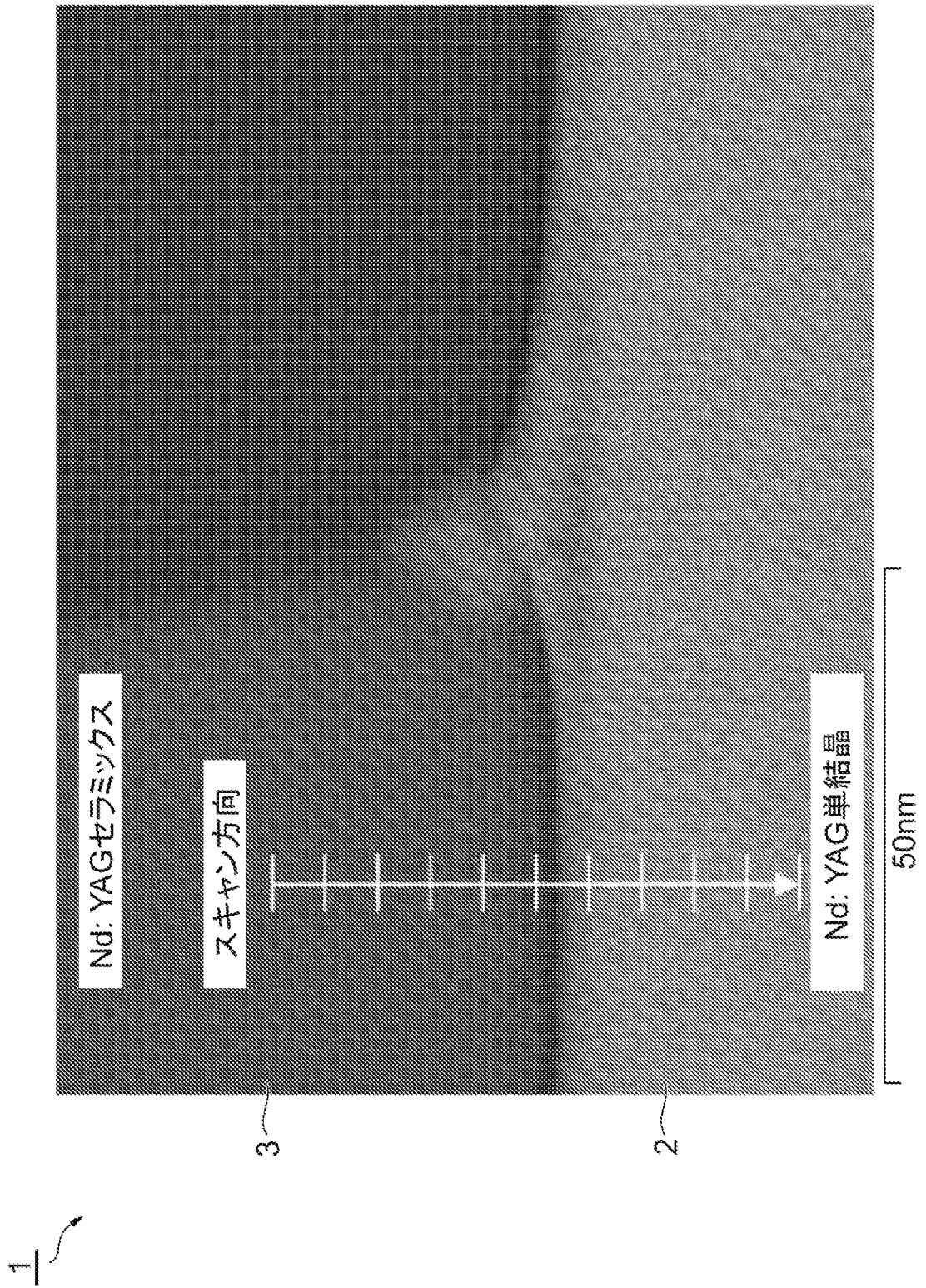
[図16]



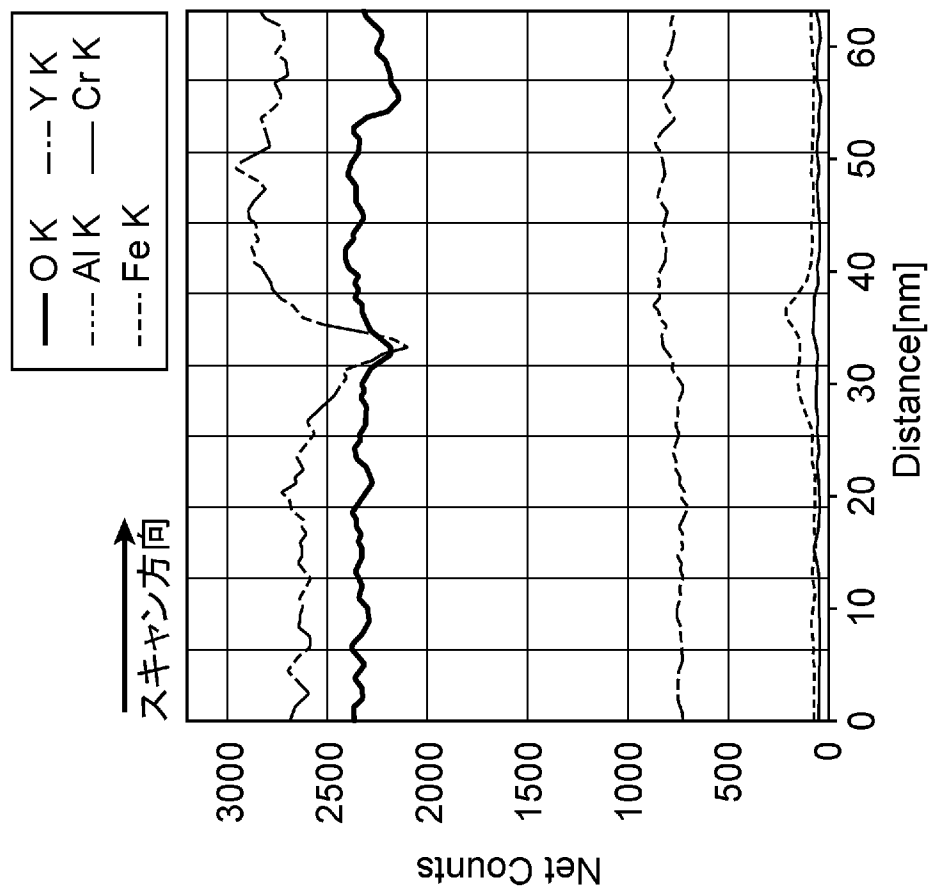
[図17]



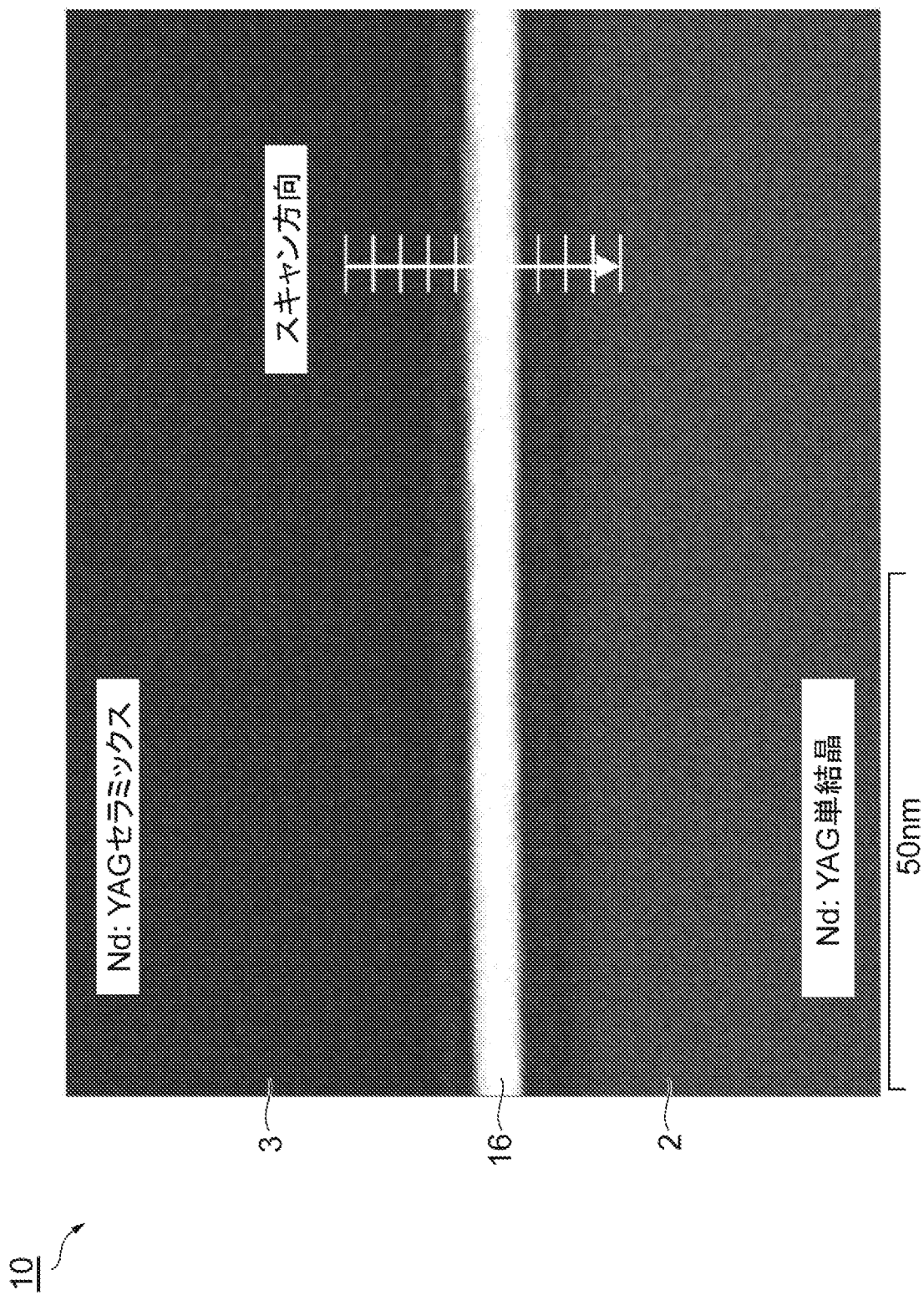
[図18]



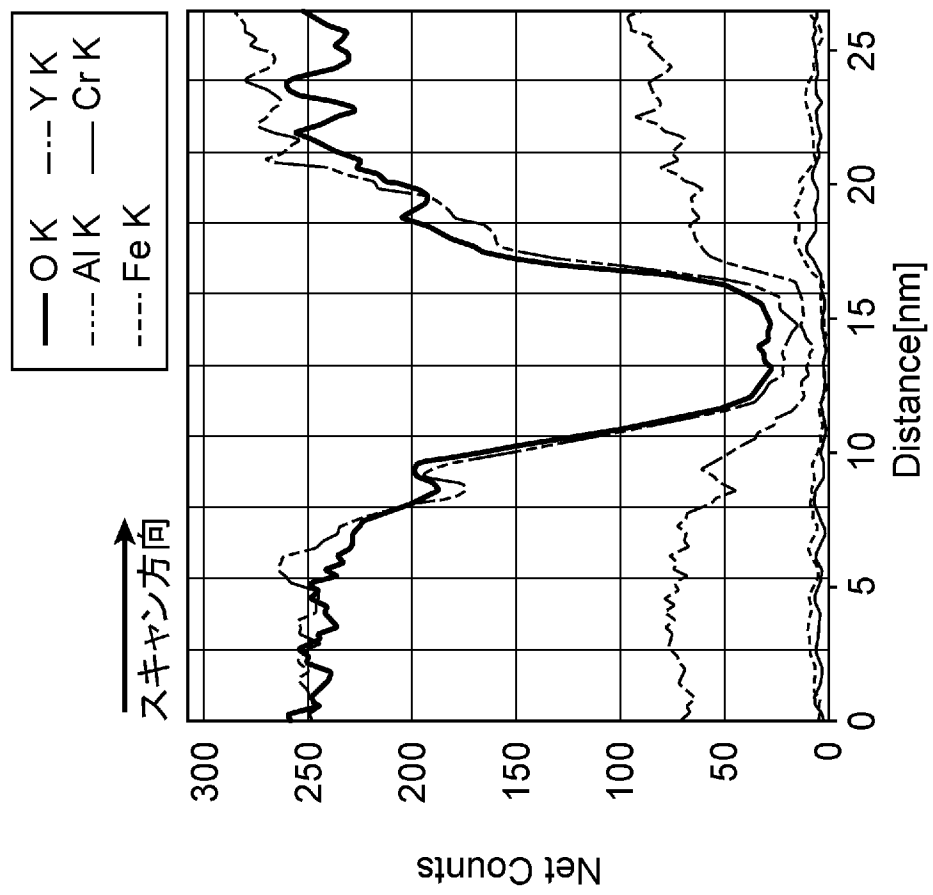
[図19]



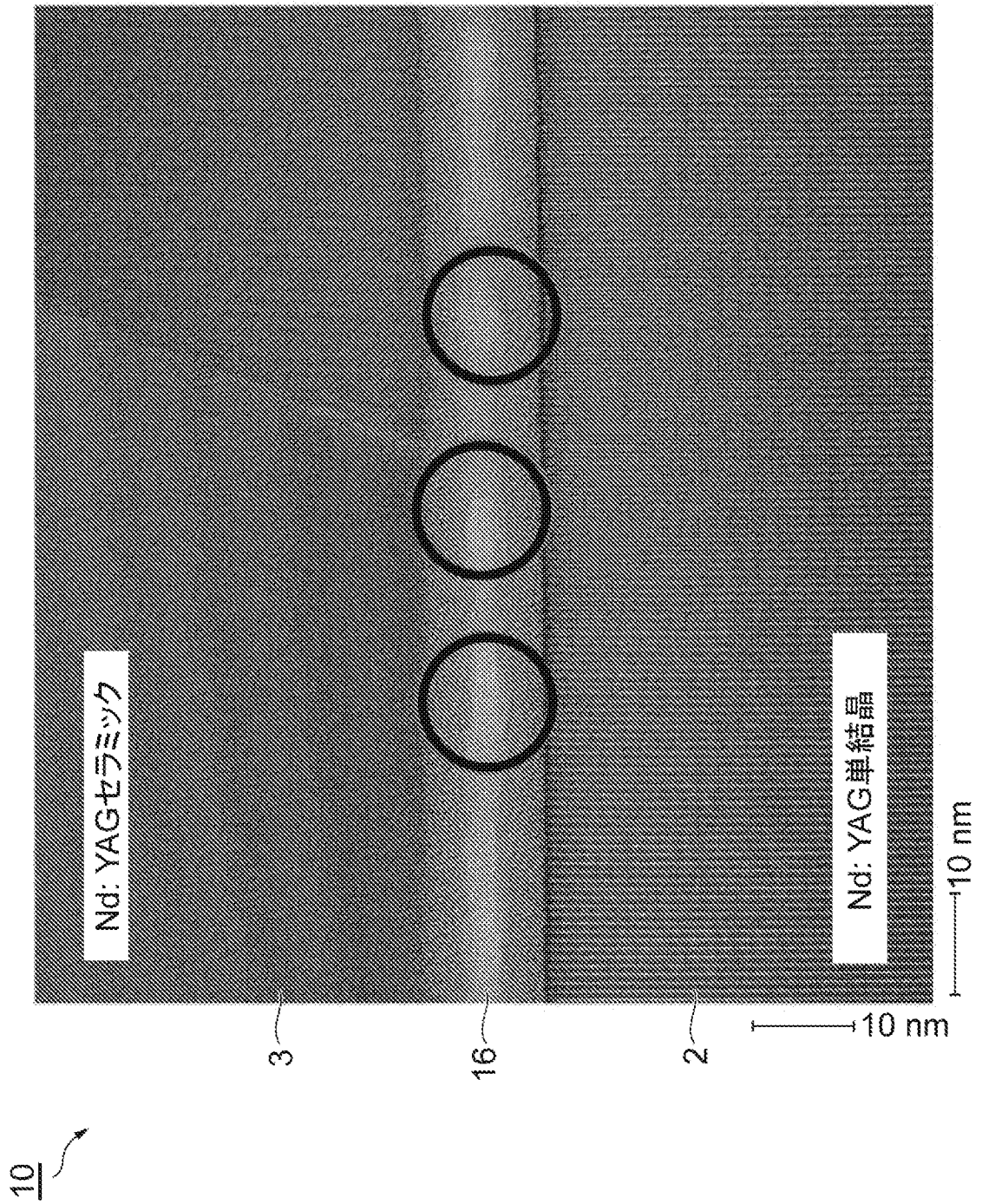
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/023233

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H01S 3/06(2006.01)i; G02B 1/02(2006.01)i; G02F 1/35(2006.01)i; H01S 3/042(2006.01)i; H01S 3/23(2006.01)i FI: H01S3/06; H01S3/042; G02F1/35; G02B1/02; H01S3/23 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) H01S3/06; G02B1/02; G02F1/35; H01S3/042; H01S3/23		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Published examined utility model applications of Japan	1922-1996	
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020	
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020	
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020	
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.
X A	JP 2017-220652 A (NATIONAL INSTITUTES OF NATURAL SCIENCES) 14.12.2017 (2017-12-14) paragraphs [0035], [0038], fig. 4-7	10 1-9, 11-12
A	JP 2019-73402 A (MIE UNIVERSITY) 16.05.2019 (2019-05-16) paragraphs [0049]-[0051], fig. 2-3	1-12
A	JP 2003-270602 A (FUJITSU LTD.) 25.09.2003 (2003-09-25) paragraphs [0022]-[0023], fig. 2	1-12
A	JP 2015-2104g2 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 24.11.2015 (2015-11-24) claim 1, paragraphs [0021]-[0022]	1-12
A	US 7515333 B1 (NANOSY'S, INC.) 07.04.2009 (2009-04-07) column 14, line 65 to column 15, line 1	1-12
<input type="checkbox"/>	Further documents are listed in the continuation of Box C.	<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
* Special categories of cited documents:		"I" 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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date		"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
"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)		"&" document member of the same patent family
"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		
Date of the actual completion of the international search 12 August 2020 (12.08.2020)	Date of mailing of the international search report 25 August 2020 (25.08.2020)	
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/023233

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2017-220652 A	14 Dec. 2017	US 2017/0358898 A1 paragraphs [0068], [0073]-[0079], fig. 4-7 CN 107492779 A KR 10-2017-0140100 A	
JP 2019-73402 A	16 May 2019	(Family: none)	
JP 2003-270602 A	25 Sep. 2003	(Family: none)	
JP 2015-210492 A	24 Nov. 2015	(Family: none)	
US 7515333 B1	07 Apr. 2009	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01S 3/06(2006.01)i; G02B 1/02(2006.01)i; G02F 1/35(2006.01)i; H01S 3/042(2006.01)i; H01S 3/23(2006.01)i FI: H01S3/06; H01S3/042; G02F1/35; G02B1/02; H01S3/23</p>										
<p>B. 調査を行った分野</p>										
<p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01S3/06; G02B1/02; G02F1/35; H01S3/042; H01S3/23</p>										
<p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年									
<p>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）</p>										
<p>C. 関連すると認められる文献</p>										
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								
X A	JP 2017-220652 A（大学共同利用機関法人自然科学研究機構）14.12.2017（2017 - 12 - 14） [0035], [0038], 図4-7	10 1-9, 11-12								
A	JP 2019-73402 A（国立大学法人三重大学）16.05.2019（2019 - 05 - 16） [0049]-[0051], 図2-3	1-12								
A	JP 2003-270602 A（富士通株式会社）25.09.2003（2003 - 09 - 25） [0022]-[0023], 図2	1-12								
A	JP 2015-210492 A（日本電信電話株式会社）24.11.2015（2015 - 11 - 24） 請求項1, [0021]-[0022]	1-12								
A	US 7515333 B1（NANOSY'S, INC.）07.04.2009（2009 - 04 - 07） 14欄65行-15欄1行	1-12								
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>										
<p>* 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抵触するものではなく、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</p>										
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日									
12.08.2020	25.08.2020									
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 右田 昌士 2K 9513 電話番号 03-3581-1101 内線 3255									

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/023233

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2017-220652	A	14.12.2017	US	2017/0358898	A1	
					[0068], [0073]-[0079], 図		
					4-7		
				CN	107492779	A	
				KR	10-2017-0140100	A	
JP	2019-73402	A	16.05.2019	(ファミリーなし)			
JP	2003-270602	A	25.09.2003	(ファミリーなし)			
JP	2015-210492	A	24.11.2015	(ファミリーなし)			
US	7515333	B1	07.04.2009	(ファミリーなし)			