

(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  
2025年5月22日(22.05.2025)

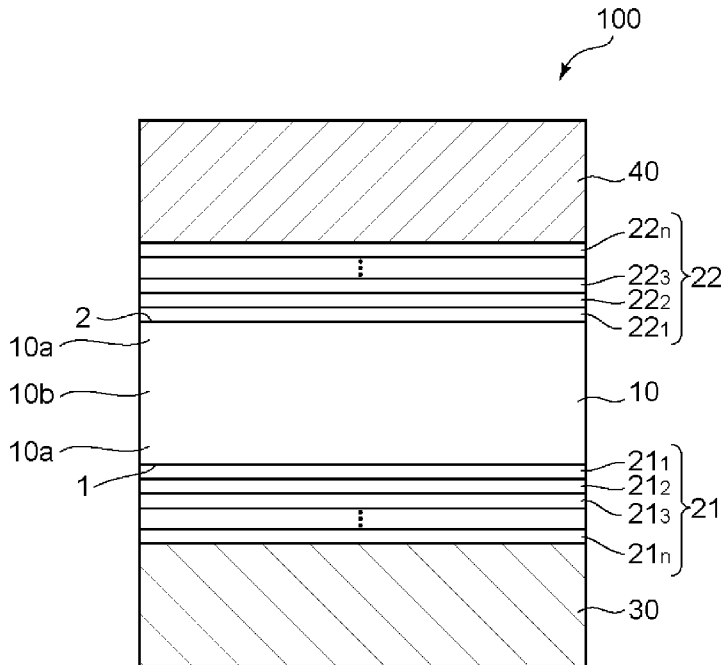


(10) 国際公開番号  
**WO 2025/105353 A1**

- (51) 国際特許分類:  
G02B 5/20 (2006.01) G02B 5/28 (2006.01)  
B23K 20/00 (2006.01) H01S 3/05 (2006.01)  
G02B 1/115 (2015.01) H01S 5/183 (2006.01)  
G02B 5/22 (2006.01) H01S 5/0239 (2021.01)  
G02B 5/26 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/040058
- (22) 国際出願日: 2024年11月12日(12.11.2024)
- (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 2023-193965 2023年11月14日(14.11.2023) JP  
特願 2024-101481 2024年6月24日(24.06.2024) JP
- (71) 出願人: 日本碍子株式会社(NGK INSULATORS, LTD.) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 (JP).
- (72) 発明者: 近藤 順悟(KONDO Jungo); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内 (JP). 谷 健太郎(TANI Kentaro); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内 (JP). 江尻 哲也(EJIRI Tetsuya); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内 (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人 粉井特許事務所(MOMII & ASSOCIATES); 〒5300004 大阪府大阪市北区堂島浜1丁目4番4号 アクア堂島東館7階 (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,

(54) Title: COMPOSITE SUBSTRATE AND METHOD FOR PRODUCING COMPOSITE SUBSTRATE

(54) 発明の名称: 複合基板および複合基板の製造方法



(57) Abstract: Provided is a composite substrate excellent in reflection characteristics of a wavelength conversion layer interface. A composite substrate according to an embodiment of the present invention includes: a wavelength conversion layer that converts incident light into light having a different wavelength; and a multilayer film that is disposed adjacent to the wavelength conversion layer. The multilayer film is a laminate having a plurality of refractive index layers. The thickness-direction central section of one of the refractive index layers included in the multilayer film has formed therein an amorphous region in which inert gas atoms are present.



WO 2025/105353 A1

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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 : 波長変換層界面の反射特性に優れた複合基板を提供する。本発明の実施形態による複合基板は、入射した光を波長が異なる光に変換する波長変換層と、前記波長変換層に隣接して配置される多層膜と、を有し、前記多層膜は複数の屈折率層の積層体であり、前記多層膜に含まれる一つの屈折率層は、厚み方向中央部に不活性ガス原子が存在するアモルファス領域が形成されている。

## 明 細 書

発明の名称：複合基板および複合基板の製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、複合基板および複合基板の製造方法に関する。

### 背景技術

[0002] 短パルス光を出力し得る固体レーザは、広く利用されている。より短いパルス幅で非常に高い光出力を持つレーザは、センシング、精密加工、医療などの様々な分野で応用が期待されている。このようなレーザとして、例えば、特許文献1に開示されるように、半導体レーザと、波長変換層として機能し得る固体レーザ利得媒質層と、可飽和吸収体とを組み合わせたレーザ構成が提案されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第2020/166420号

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 上記レーザ構成においては、波長変換層界面における光の反射特性が、レーザの性能に大きく影響し得る。

[0005] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであり、その主たる目的は、波長変換層界面の反射特性に優れた複合基板を提供することにある。

#### 課題を解決するための手段

[0006] 1. 本発明の実施形態による複合基板は、入射した光を波長が異なる光に変換する波長変換層と、前記波長変換層に隣接して配置される多層膜と、を有し、前記多層膜は複数の屈折率層の積層体であり、前記多層膜に含まれる一つの屈折率層は、厚み方向中央部に不活性ガス原子が存在するアモルファス領域が形成されている。

2. 上記1に記載の複合基板において、上記領域における不活性ガス原子

の存在量は0.5原子%以上10原子%以下であってもよい。

3. 上記1または2に記載の複合基板において、上記波長変換層は、ドーピングされたイットリウムアルミニウムガーネット結晶、ドーピングされたイットリウムバナデート結晶およびドーピングされたイットリウムリチウムフルオライド結晶から選択されてもよい。

4. 上記1から3のいずれかに記載の複合基板において、上記不活性ガス原子が存在するアモルファス領域が形成された屈折率層は、タンタル、チタン、アルミニウム、イットリウム、ジルコニウム、ハフニウム、ランタン、セリウム、タングステン、亜鉛、ニオブおよびマグネシウムから選択される少なくとも1つを含む酸化物を含んでいてもよい。

5. 上記1から4のいずれかに記載の複合基板において、上記多層膜に含まれる隣接する二つの層の屈折率は異なってもよい。

6. 上記1から5のいずれかに記載の複合基板において、上記多層膜に含まれる上記複数の屈折率層の屈折率はそれぞれ1.3~2.4であり、上記多層膜は屈折率が2.1以上の屈折率層を一層以上含んでいてもよい。

7. 上記1から6のいずれかに記載の複合基板の上記多層膜において、屈折率の最も高い屈折率層の屈折率と屈折率の最も低い屈折率層の屈折率との差は0.5以上であってもよい。

8. 上記1から7のいずれかに記載の複合基板において、上記多層膜に含まれる層のそれぞれの厚みは、50nm以上300nm以下であってもよい。

9. 上記1から8のいずれかに記載の複合基板は、上記波長変換層と、上記多層膜と、面発光レーザ基板と、をこの順に有していてもよい。

10. 上記1から9のいずれかに記載の複合基板は、上記波長変換層と、上記多層膜と、可飽和吸収層と、をこの順に有していてもよい。

11. 本発明の別の実施形態による複合基板は、面発光レーザ基板と、入射した光を波長が異なる光に変換する波長変換層と、可飽和吸収層と、をこの順に有し、前記面発光レーザ基板と前記波長変換層の間と、前記可飽和吸

収層と前記波長変換層の間との少なくとも一方に、前記波長変換層に隣接して配置される多層膜と、を有し、前記多層膜は複数の屈折率層の積層体であり、前記多層膜に含まれる一つの屈折率層は、厚み方向中央部に不活性ガス原子が存在するアモルファス領域が形成されている。

12. 本発明の実施形態によるレーザ構造体は、上記1から11のいずれかに記載の複合基板を含む。

[0007] 13. 本発明の実施形態による複合基板の製造方法は、上記1から8のいずれかに記載の複合基板の製造方法であって、前記複数の屈折率層の積層体を構成する第1の部分を準備すること、前記波長変換層に、前記複数の屈折率層の積層体を構成する第2の部分を積層すること、前記第1の部分の表面および前記第2の部分の表面それぞれに活性化処理を施すこと、および、前記活性化処理後に、前記第1の部分と前記第2の部分とを接合すること、を含み、前記第1の部分の最表層を構成する材料と前記第2の部分の最表層を構成する材料とは、実質的に同じである。

14. 上記13に記載の複合基板の製造方法において、上記第1の部分の表面および上記第2の部分の表面それぞれの活性化処理の時間は10秒～30秒であってもよい。

## 発明の効果

[0008] 本発明の実施形態によれば、波長変換層界面の反射特性に優れた複合基板を提供することができる。

## 図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の1つの実施形態に係る複合基板の概略の構成を示す模式的な断面図である。

[図2]第1の屈折率層の部分拡大断面図である。

[図3A]1つの実施形態に係る複合基板の製造工程例を示す図である。

[図3B]図3Aに続く図である。

[図3C]図3Bに続く図である。

[図3D]図3Cに続く図である。

[図4]実施例1の多層膜の反射特性のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図5]比較例1の多層膜の反射特性のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図6]実施例2の多層膜の反射特性のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図7]実施例3の多層膜の反射特性のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図8]実施例4の多層膜の反射特性のシミュレーション結果を示すグラフである。

### 発明を実施するための形態

[0010] 以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明するが、本発明はこれらの実施形態には限定されない。図面は説明をより明確にするため、実施の形態に比べ、各部の幅、厚み、形状等について模式的に表される場合があるが、あくまで一例であって、本発明の解釈を限定するものではない。また、図面については、同一または同等の要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略することがある。

[0011] [複合基板]

図1は、本発明の1つの実施形態に係る複合基板の概略の構成を示す模式的な断面図である。なお、図を見やすくするため、図1において一部の部材のハッチングは省略している。

[0012] 複合基板100は、互いに対向する第一主面1および第二主面2を有し、入射した光を波長の異なる光に変換する波長変換層10と、波長変換層10の第一主面1に隣接して配置される第1の多層膜21と、波長変換層10の第二主面2に隣接して配置される第2の多層膜22と、波長変換層10の第1の多層膜21側に配置される基板30と、波長変換層10の第2の多層膜22側に配置される機能層40と、を有している。

[0013] 複合基板100は、例えば、レーザ素子に適用され得る。基板30は、例

例えば、面発光レーザ（例えば、垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL）、垂直外部共振器型垂直面発光レーザ（VECSEL））を構成する基板である。例えば、波長変換層10は、その第一主面1側から入射したレーザ光の第1の波長を、第2の波長に変換し得る。図示しないが、基板30には、共振器構造部が設けられ得る。

[0014] 面発光レーザを構成する基板としては、例えば、ガリウム砒素基板、インジウムリン基板、窒化ガリウム基板が用いられる。面発光レーザを構成する基板の厚みは、例えば100 $\mu$ m~1000 $\mu$ mである。

[0015] 波長変換層10は、入射した光を波長が異なる光に変換し得る任意の適切な波長変換材料で構成される。波長変換層100を構成する材料としては、代表的には、ドーパされたイットリウムアルミニウムガーネット（以下、YAGと称する）結晶が用いられる。ドーパされたYAG結晶の具体例としては、Yb<sup>3+</sup>がドーパされたYAG結晶（Yb:YAG）、Nd<sup>3+</sup>がドーパされたYAG結晶（Nd:YAG）が挙げられる。波長変換層10を構成する他の材料としては、例えば、ドーパされたイットリウムバナデート（以下、YVO<sub>4</sub>と称する）結晶、ドーパされたイットリウムリチウムフルオライド（以下、YLFと称する）結晶が用いられる。ドーパされたYVO<sub>4</sub>結晶の具体例としては、Yb<sup>3+</sup>がドーパされたYVO<sub>4</sub>結晶（Yb:YVO<sub>4</sub>）、Nd<sup>3+</sup>がドーパされたYVO<sub>4</sub>結晶（Nd:YVO<sub>4</sub>）が挙げられる。ドーパされたYLF結晶の具体例としては、Yb<sup>3+</sup>がドーパされたYLF結晶（Yb:YLF）、Nd<sup>3+</sup>がドーパされたYVO<sub>4</sub>結晶（Nd:YLF）が挙げられる。その他にも、波長変換層10を構成する他の材料としては、例えば、Nd:glass、Yb:FAP、Yb:SFAP、Yb:glass、Yb:KYW、Yb:BCBF、Yb:YCOB、Yb:GdCOB、Yb:YABが挙げられる。中でも、波長変換層10を構成する他の材料として、ドーパされたYAG結晶、ドーパされたYVO<sub>4</sub>結晶、ドーパされたYLF結晶が好ましく用いられる。なお、これらは、例えば、隣接する層に対し同等の密着性を示し得る。波長変換層10の厚みは、例えば10 $\mu$ m~600 $\mu$ mであ

る。

[0016] 第1の多層膜21は、複数の屈折率層の積層体である。図示例では、第1の多層膜21は、波長変換層10側から、第1の屈折率層21<sub>1</sub>、第2の屈折率層21<sub>2</sub>、第3の屈折率層21<sub>3</sub>、・・・、および第nの屈折率層21<sub>n</sub>のn層を含んでいる。具体的には、最も波長変換層10側に位置する屈折率層が第1の屈折率層21<sub>1</sub>であり、最も基板30側に位置する屈折率層が第nの屈折率層21<sub>n</sub>である。nは、例えば10～50であり、好ましくは15～40である。第1の多層膜21に含まれる層のそれぞれの厚みは、例えば50nm以上300nm以下である。

[0017] 第1の多層膜21は、屈折率の異なる複数の屈折率層を含み、相対的に屈折率が高い高屈折率層と、相対的に屈折率が低い低屈折率層とを含んでいる。例えば、第1の多層膜21に含まれる隣接する二つの層の屈折率は異なり、一方が高屈折率層で他方が低屈折率層である。また例えば、第1の多層膜21の少なくとも一部は、高屈折率層と低屈折率層とが交互に積層されて構成され得る。具体例として、第2の屈折率層21<sub>2</sub>の屈折率は、第1の屈折率層21<sub>1</sub>の屈折率および第3の屈折率層21<sub>3</sub>の屈折率よりも、小さくてもよいし、大きくてもよい。この場合、第1の屈折率層21<sub>1</sub>の屈折率と第3の屈折率層21<sub>3</sub>の屈折率とは、実質的に同じであってもよいし、異なってもよい。

[0018] 第1の多層膜21は、基板30側から出射された第1の波長の光を透過させ得るように構成される。具体的には、第1の多層膜21は、第1の波長の光に対して透過層または反射防止層として機能し得るように構成される。そして、第1の多層膜21は、例えば、光利用効率を向上させる観点から、波長変換層10から基板30側への第2の波長の光の放出を抑制し得るように構成される。具体的には、第1の多層膜21は、第2の波長の光に対し反射層として機能し得るように構成される。このような第1の多層膜21の機能は、例えば、第1の多層膜21を構成する屈折率層の数（上記n）、各屈折率層の厚みおよび各層屈折率の屈折率を調整することにより実現され得る。

- [0019] 第一主面 1（基板 30）側から入射したレーザ光は、第二主面 2 側から出射され得る。例えば、波長変換層 10 で変換された第 2 の波長の光は、機能層 40 を透過して放出され得る。機能層 40 は、例えば、可飽和吸収層として機能し得る。この場合、機能層（可飽和吸収層）40 は、代表的には、 $\text{Cr}^{4+}$  がドーピングされた YAG 結晶（ $\text{Cr}:\text{YAG}$ ）、 $\text{V}^{3+}$  がドーピングされた YAG 結晶（ $\text{V}:\text{YAG}$ ）等の材料で構成され得る。機能層（可飽和吸収層）40 の厚みは、例えば  $10\ \mu\text{m}\sim 600\ \mu\text{m}$  である。
- [0020] 第 2 の多層膜 22 は、複数の屈折率層の積層体である。図示例では、第 2 の多層膜 22 は、波長変換層 10 側から、第 1 の屈折率層  $22_1$ 、第 2 の屈折率層  $22_2$ 、第 3 の屈折率層  $22_3$ 、 $\dots$ 、および第  $n$  の屈折率層  $22_n$  の  $n$  層を含んでいる。具体的には、最も波長変換層 10 側に位置する層が第 1 の屈折率層  $22_1$  であり、最も機能層 40 側に位置する層が第  $n$  の屈折率層  $22_n$  である。 $n$  は、例えば  $10\sim 50$  であり、好ましくは  $15\sim 40$  である。第 2 の多層膜 22 に含まれる屈折率層のそれぞれの厚みは、例えば  $50\ \text{nm}$  以上  $300\ \text{nm}$  以下である。
- [0021] 第 2 の多層膜 22 は、屈折率の異なる複数の屈折率層を含み、相対的に屈折率が高い高屈折率層と、相対的に屈折率が低い低屈折率層とを含んでいる。例えば、第 2 の多層膜 22 に含まれる隣接する二つの層の屈折率は異なり、一方が高屈折率層で他方が低屈折率層である。また例えば、第 2 の多層膜 22 の少なくとも一部は、高屈折率層と低屈折率層とが交互に積層されて構成され得る。具体例として、第 2 の層  $22_2$  の屈折率は、第 1 の屈折率層  $22_1$  の屈折率および第 3 の屈折率層  $22_3$  の屈折率よりも、小さくてもよいし、大きくてもよい。この場合、第 1 の屈折率層  $22_1$  の屈折率と第 3 の屈折率層  $22_3$  の屈折率とは、実質的に同じであってもよいし、異なってもよい。
- [0022] 第 2 の多層膜 22 は、波長変換層 10 から出射された第 2 の波長の光を透過させ得るように構成される。具体的には、第 2 の多層膜 22 は、第 2 の波長の光に対して透過層または反射防止層として機能し得るように構成される。そして、第 2 の多層膜 22 は、例えば、光利用効率を向上させる観点から

、波長変換層10から機能層40側への第1の波長の光の放出を抑制し得るように構成される。具体的には、第2の多層膜22は、第1の波長の光に対し反射層として機能し得るように構成される。このような第2の多層膜22の機能は、例えば、第2の多層膜22を構成する屈折率層の数（上記n）、各屈折率層の厚みおよび各屈折率層の屈折率を調整することにより実現され得る。

[0023] 上述のとおり、第1の多層膜21および第2の多層膜22のそれぞれ（以下、単に、多層膜と称する場合がある）は、複数の屈折率層の積層体であり、屈折率が異なる高屈折率層と低屈折率層とを含むことができる。多層膜に含まれる各屈折率層の屈折率（多層膜に含まれる各屈折率層を構成する材料の屈折率）は、例えば1.3～2.4であり、好ましくは1.4～2.4であり、より好ましくは1.45～2.35である。なお、屈折率は、分光エリプソメーターや分光光度計により測定される値であり得る。高屈折率層の屈折率は、低屈折率層の屈折率よりも相対的に高い。具体的には、高屈折率層を構成する材料の屈折率は、低屈折率層を構成する材料の屈折率よりも高い。低屈折率層の屈折率は、例えば1.3～1.8である。高屈折率層の屈折率は、例えば1.55～2.4である。

[0024] 多層膜に含まれ得る複数の低屈折率層は、それぞれが同一の構成（例えば、材料、厚み）であってもよく、互いが異なる構成であってもよい。同様に、多層膜に含まれ得る複数の高屈折率層は、それぞれが同一の構成（例えば、材料、厚み）であってもよく、互いが異なる構成であってもよい。

[0025] 多層膜は、屈折率が2.1以上の屈折率層を一層以上含むことが好ましい。このような屈折率層を含むことにより、所望の透過特性（反射特性）を良好に達成することができる。多層膜において、屈折率の最も高い屈折率層の屈折率と屈折率の最も低い屈折率層の屈折率との差は0.5以上であることが好ましく、より好ましくは0.6以上であり、さらに好ましくは0.7以上である。このような差を満足する観点から、多層膜は、屈折率が1.5以下の屈折率層を一層以上含むことが好ましい。

- [0026] 多層膜に含まれる各屈折率層を構成する材料としては、代表的には、誘電体材料が用いられる。多層膜に含まれる各屈折率層を構成する材料の具体例としては、酸化ケイ素、酸化タンタル、酸化チタン、酸化アルミニウム、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化ハフニウム、酸化ランタン、酸化セリウム、酸化タングステン、酸化亜鉛、酸化ニオブおよび酸化マグネシウムが挙げられる。これらは、単独で用いてもよく、二種以上を組み合わせ（例えば、複合酸化物として）用いてもよい。具体的には、屈折率層は、ケイ素、タンタル、チタン、アルミニウム、イットリウム、ジルコニウム、ハフニウム、ランタン、セリウム、タングステン、亜鉛、ニオブおよびマグネシウムから選択される少なくとも1つを含む酸化物で構成されてもよい。
- [0027] 多層膜に含まれる各屈折率層は、任意の適切な方法により成膜され得る。多層膜に含まれる各屈折率層は、例えば、スパッタリング、イオンビームアシスト蒸着（IAD）等の物理蒸着、化学蒸着、原子層堆積（ALD）法により成膜され得る。
- [0028] 多層膜に含まれる一つの屈折率層（例えば、第1の屈折率層）には、不活性ガス原子が存在している。不活性ガス原子としては、代表的には、アルゴン、キセノンが挙げられる。例えば、多層膜に含まれる一つの屈折率層（例えば、第1の屈折率層）には、不活性ガス原子が存在するアモルファス領域が形成されている。図2は、第1の屈折率層の部分拡大断面図である。第1の屈折率層 $21_1$ の厚み方向中央部 $21a$ は、不活性ガス原子が存在するアモルファス領域が形成され得る。不活性ガス原子が存在するアモルファス領域は、第1の屈折率層 $21_1$ の全面に亘って形成され得る。例えば、第1の屈折率層 $21_1$ は、厚み方向中央部 $21a$ に、不活性ガス原子が存在するアモルファス層が形成され得る。不活性ガス原子が存在する領域（層）における不活性ガス原子の存在量は、例えば0.5原子%以上10原子%以下であり、好ましくは0.7原子%以上5原子%以下である。不活性ガス原子が存在する領域（層）の厚みは、例えば0.5nm以上であり、1nm以上であってもよい。一方、不活性ガス原子が存在する領域（層）の厚みは、例えば100

nm以下であり、好ましくは50nm以下である。第1の屈折率層21<sub>1</sub>の厚み方向端部21bに含まれる元素は、不活性ガス原子が存在するアモルファス領域（層）が形成される厚み方向中央部21aにも含まれ得る。

[0029] 多層膜に含まれる他の層（例えば、第1の屈折率層以外の層）には、実質的に不活性ガス原子が存在していないことが好ましい。多層膜に含まれる他の層における不活性ガス原子の存在量は、例えば0.5原子%未満であり、0.4原子%以下であってもよい。なお、図2に示す例では、便宜上、第1の屈折率層を例に不活性ガス原子の存在状態について説明したが、多層膜に含まれる他の層に選択的に不活性ガス原子が存在していてもよい。

[0030] 波長変換層10には、実質的に不活性ガス原子が存在していないことが好ましい。波長変換層10における不活性ガス原子の存在量は、例えば0.5原子%未満であり、0.4原子%以下であってもよい。

[0031] 上記不活性ガス原子の存在量は、例えば、エネルギー分散型X線分光法（EDX）による組成分析により求めることができる。

[0032] 上記不活性ガス原子が存在する屈折率層を構成する材料の具体例としては、酸化タンタル、酸化チタン、酸化アルミニウム、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化ハフニウム、酸化ランタン、酸化セリウム、酸化タングステン、酸化亜鉛、酸化ニオブおよび酸化マグネシウムが挙げられる。これらは、単独で用いてもよく、二種以上を組み合わせ（例えば、複合酸化物として）用いてもよい。具体的には、上記不活性ガス原子が存在する屈折率層は、タンタル、チタン、アルミニウム、イットリウム、ジルコニウム、ハフニウム、ランタン、セリウム、タングステン、亜鉛、ニオブおよびマグネシウムから選択される少なくとも1つを含む酸化物で構成されてもよい。このような構成によれば、密着性（例えば、接合界面における密着性）に優れ得る。これらの中でも、タンタルおよびチタンの少なくとも1つを含む酸化物で構成されることにより、より優れた密着性を達成し得る。

[0033] 複合基板100は、機能層40および第2の多層膜22が省略されていてもよいし、または、基板30および第1の多層膜21が省略されていてもよ

い。また、図示しないが、複合基板100は、任意の層をさらに有していてもよい。このような層の種類・機能、数、組み合わせ、配置等は、目的に応じて適切に設定され得る。例えば、複合基板100は、機能層40上に別の機能層（例えば、光スキャナー層）が設けられていてもよい。

[0034] 複合基板100は、任意の適切な形状で製造され得る。1つの実施形態においては、いわゆる、ウエハーの形態で製造され得る。複合基板100のサイズは、目的に応じて適切に設定され得る。例えば、ウエハーの直径は、50mm～150mmである。また例えば、ウエハーの直径は、3インチ～6インチである。

[0035] [製造方法]

上記複合基板は、例えば、複数の屈折率層の積層体を構成する第1の部分と第2の部分とを準備し、波長変換層に複数の屈折率層の積層体を構成する第2の部分と第1の部分とを接合することにより得ることができる。

[0036] 図3A～図3Dは、1つの実施形態に係る複合基板の製造工程例を示す図である。図3Aは、基板30に、第1の多層膜21を構成し得る第2の屈折率層 $21_2$ から第 $n$ の屈折率層 $21_n$ の $n$ 層を第 $n$ の屈折率層 $21_n$ から順に成膜し、基板30に $n-1$ 層の積層構造20を形成した状態を示している。

[0037] 次に、図3Bに示すように、積層構造20の表面に、第1の屈折率層 $21_1$ を構成する材料で構成された第1の最表層51を形成し、積層構造20と第1の最表層51を含む第1の部分61を形成する。そして、別途用意した波長変換層（波長変換材料基板）10に、第1の屈折率層 $21_1$ を構成する材料で構成された第2の最表層52（第2の部分62）を形成する。

[0038] 第1の最表層51を構成する材料と第2の最表層52を構成する材料とは、実質的に同じである。1つの実施形態においては、同じターゲットを用い、同じ条件にてスパッタリングすることにより、第1の最表層51および第2の最表層52を成膜する。第1の最表層51を構成する材料および第2の最表層52を構成する材料は、タンタル、チタン、アルミニウム、イットリウムおよびランタンから選択される少なくとも1つを含む酸化物を含むこと

が好ましい。このような材料を用いることにより、後述の接合を良好に行い得る。

[0039] 次に、第1の部分61と第2の部分62とを直接接合する。直接接合に際し、第1の部分61および第2の部分62とは、それぞれ、任意の適切な活性化処理により活性化されていることが好ましい。

[0040] 上記活性化処理は、代表的には、中性化ビームを照射することにより行う。好ましくは、特開2014-086400号公報に記載の装置のような装置を使用して中性化ビームを発生させ、このビームを照射することにより活性化処理を行う。具体的には、ビーム源として、サドルフィールド型の高速原子ビーム（FAB）源を使用し、チャンバーにアルゴン、キセノン等の不活性ガスを導入し、直流電源から電極へ高電圧を印加する。これにより、電極（正極）と筐体（負極）との間に生じるサドルフィールド型の電界により、電子が運動して、不活性ガスによる原子とイオンのビームが生成される。グリッドに達したビームのうち、イオンビームはグリッドで中和されるので、中性原子のビームが高速原子ビーム源から出射される。ビーム照射による活性化処理時の電圧は0.5kV~2.0kVとすることが好ましく、ビーム照射による活性化処理時の電流は50mA~200mAとすることが好ましい。

[0041] 図3Cは、第1の部分61の表面61aおよび第2の部分62の表面62aに、それぞれ、活性化処理を施している状態を示している。代表的には、第1の部分61の表面61aの活性化と第2の部分62の表面62aの活性化とは、同時に行われ得る。それぞれの表面の活性化処理の時間（例えば、上記ビームの照射時間）は、好ましくは10秒~30秒である。

[0042] 活性化処理後、第1の部分61と第2の部分62とを接触させ、加圧することで直接接合する。こうして、図3Dに示す接合体（複合基板）102を得る。接触および加圧は、真空雰囲気で行うことが好ましい。このときの温度は、代表的には、常温である。具体的には、20℃以上40℃以下が好ましく、より好ましくは25℃以上30℃以下である。加える圧力は、好まし

くは100N~20000Nである。

[0043] 第1の最表層51と第2の最表層52とが接合され、第1の屈折率層21<sub>1</sub>が形成される。得られる第1の屈折率層21<sub>1</sub>の厚み方向中央部には、接合界面が存在し得る。第1の最表層51および第2の最表層52の厚みは、所望の第1の屈折率層21<sub>1</sub>の厚みに応じて、適宜、設定され得る。第1の最表層51および第2の最表層52の厚みは、それぞれ、好ましくは20nm以上200nm以下であり、より好ましくは30nm以上175nm以下である。第1の最表層51の厚みに対する第2の最表層52の厚みの比は、例えば0.3~2.4である。接合界面付近には、活性化処理に用いられる不活性ガス原子が存在し得る。また、接合界面付近には、活性化処理によるアモルファス構造（例えば、不活性ガス原子含有アモルファス領域）が生成し得る。

[0044] 接合界面を多層膜に含まれる一つの屈折率層の内部に位置させることにより、屈折率の高精度の制御が要求され得る多層膜への活性化処理による影響を極めて低くすることができる。例えば、波長変換層には、活性化処理に用いられる不活性ガス原子は実質的に存在せず、多層膜への活性化処理による波長変換材料、基板および／または機能層の構成材料等の混入が抑制され得る。その結果、多層膜に含まれる屈折率層は、所望の屈折率を有し得、例えば、多層膜全体として所望の反射特性を良好に満足し得る。なお、活性化処理によるアモルファス構造の生成によっても屈折率は変化し得るが、活性化処理による波長変換材料の混入による影響の方が大きいと考えられる。

[0045] 直接接合後、接合体102はアニール処理に供されてもよい。具体的には、接合体102は、加熱され得る。アニール処理によれば、不活性ガス原子、不純物（例えば、活性化処理装置の治具や台座部分に由来する不純物）を拡散して揮発させ得る。また、アニール処理によるアモルファス状態の結晶化が期待でき、例えば、反射特性のさらなる向上が期待され得る。アニール処理の温度（加熱温度）は、例えば300℃~450℃である。

[0046] 接合に際し、第1の部分61および第2の部分62の表面は、平坦面とさ

れていることが好ましい。具体的には、第1の部分61および第2の部分62の表面の算術平均粗さRaは、好ましくは5nm以下であり、より好ましくは2nm以下であり、さらに好ましくは1nm以下であり、特に好ましくは0.3nm以下である。表面を平坦化する方法としては、例えば、化学機械研磨加工(CMP)、ラップ(Lap)研磨等による鏡面研磨が挙げられる。

[0047] 上記成膜、接合に際し、例えば、研磨剤の残渣の除去のため、各層の表面を洗浄することが好ましい。洗浄方法としては、例えば、ウエット洗浄、ドライ洗浄、スクラブ洗浄が挙げられる。これらの中でも、簡便かつ効率的に洗浄し得ることから、スクラブ洗浄が好ましい。スクラブ洗浄の具体例としては、洗浄剤(例えば、ライオン社製、サンウォッシュシリーズ)を用いた後に、溶剤(例えば、アセトンとイソプロピルアルコール(IPA)との混合溶液)を用いてスクラブ洗浄機にて洗浄する方法が挙げられる。

[0048] 図3では、第1の部分61を基板30に形成し、波長変換層10と第1の多層膜21との接合体の製造を示している。図3に示す例と同様に、第1の部分61を機能層40に形成し、これを波長変換層10と接合することにより、波長変換層10と第2の多層膜22との接合体を得ることができる。図1に示す複合基板を得る場合、波長変換層10に対する基板30と機能層40との積層順序は、特に限定されない。具体的には、波長変換層10に対し、基板30を接合した後に機能層40を接合してもよいし、機能層40を接合した後に基板30を接合してもよい。

## 実施例

[0049] 以下、実施例によって本発明を具体的に説明するが、本発明はこれら実施例によって限定されるものではない。

[0050] [実施例1]

基板(GaAs基板)に、酸化タンタル( $Ta_2O_5$ )層、酸化ケイ素( $SiO_2$ )層および酸化アルミニウム( $Al_2O_3$ )層を表1に示す順序および厚みで成膜し、第29の屈折率層から第2の屈折率層の28層と厚み100nm

mの酸化タンタル層を含む積層部を形成し、Yb:YAG基板に厚み100nmの酸化タンタル層を形成し、両基板を、図3に示す方法により接合して得られる複合基板の各層の屈折率を表1にまとめる。

[0051] 表1に示すように、第1の屈折率層（厚み200nmの酸化タンタル層）において、活性化処理（ビーム照射）による影響（アモルファス構造の生成）は極めて低く、所望の屈折率が得られる。

[0052] [比較例1]

基板（GaAs基板）に、実施例1と同様に、酸化タンタル（ $Ta_2O_5$ ）層、酸化ケイ素（ $SiO_2$ ）層および酸化アルミニウム（ $Al_2O_3$ ）層を成膜して第29の屈折率層から第2の屈折率層の計28層を形成し、さらに、厚み200nmの酸化タンタル層を形成する。そして、GaAs基板の厚み200nmの酸化タンタル層表面と、別途用意したYb:YAG基板の表面に、活性化処理を施し、両基板を接合して得られる複合基板の各層の屈折率を表1にまとめる。

[0053] 表1に示すように、活性化処理（ビーム照射）により、第1の屈折率層（酸化タンタル層）において、Yb:YAG層側に酸化タンタルの屈折率（2.23）よりも屈折率の低い層（厚み50nm）が形成される。この層（領域）には、YAGの構成成分が確認され得る。

[0054]

[表1]

複合基板		実施例 1		比較例 1		
		屈折率	厚み(nm)	屈折率	厚み(nm)	
波長変換層	Yb:YAG	1.83	—	1.83	—	
屈折率層	1	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	200	2.00	50
					2.23	150
	2	SiO <sub>2</sub>	1.46	290	1.46	290
	3	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	240	2.23	240
	4	SiO <sub>2</sub>	1.46	175	1.46	175
	5	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	110	2.23	110
	6	SiO <sub>2</sub>	1.46	260	1.46	260
	7	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	125	2.23	125
	8	SiO <sub>2</sub>	1.46	194	1.46	194
	9	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	114	2.23	114
	10	SiO <sub>2</sub>	1.46	211	1.46	211
	11	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	96	2.23	96
	12	SiO <sub>2</sub>	1.46	201	1.46	201
	13	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	125	2.23	125
	14	SiO <sub>2</sub>	1.46	179	1.46	179
	15	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	125	2.23	125
	16	SiO <sub>2</sub>	1.46	196	1.46	196
	17	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	125	2.23	125
	18	SiO <sub>2</sub>	1.46	206	1.46	206
	19	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	106	2.23	106
	20	SiO <sub>2</sub>	1.46	210	1.46	210
	21	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	124	2.23	124
	22	SiO <sub>2</sub>	1.46	208	1.46	208
	23	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	95	2.23	95
	24	SiO <sub>2</sub>	1.46	216	1.46	216
	25	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63	105	1.63	105
	26	SiO <sub>2</sub>	1.46	216	1.46	216
	27	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63	237	1.63	237
	28	SiO <sub>2</sub>	1.46	90	1.46	90
29	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	62	2.23	62	
基板	GaAs	3.40	4842	3.4	4842	

[0055] 実施例 1 の多層膜の反射特性のシミュレーション結果を図 4 に示し、比較例 1 の多層膜の反射特性のシミュレーション結果を図 5 に示す。

[0056] Yb : YAGは、有効励起波長が935 nm~945 nmで、波長1030 nmの光に変換し得る。実施例1および比較例1の多層膜は、波長変換層（Yb : YAG層）の有効励起波長の光を透過させ、波長変換層（Yb : YAG層）から発射される波長1030 nmの光の放出を抑制し得る。

実施例1の多層膜は、波長940 nmにおける反射率が0.1%であるのに対し、比較例1の多層膜は、波長940 nmにおける反射率が1.5%であった。このことから、実施例1の多層膜の方が、波長変換層（Yb : YAG層）の有効励起波長の光をより効果的に入射させ得る、と言える。

[0057] （実施例1の組成分析）

GaAs基板に、表1に示す第29の屈折率層から第2の屈折率層を表1に示す材料および厚みで順次成膜した後、最後に、厚み100 nmの酸化タンタル層を成膜し積層構造を形成した。また、Yb : YAG基板（YAG結晶）に、厚み100 nmの酸化タンタル層を成膜した。

次に、酸化タンタル層が成膜されたYb : YAG基板の表面（酸化タンタル層側）および積層構造が形成されたGaAs基板の表面（酸化タンタル層側）を洗浄した後、両基板を真空チャンバーに投入して $10^{-6}$  Pa台まで真空引きし、両基板の表面にArガスを用いたFAB（加速電圧1 kV、Ar流量27 sccm）を、同時に20秒間それぞれ照射した。

次いで、GaAs基板とYb : YAG基板とを直接接合した。具体的には、両基板のFAB照射面を重ね合わせ、常温において10000 Nで2分間加圧して両基板を接合し、図2および図3Dに示すような接合体を得た。

その後、得られた接合体をアニール処理に供した。具体的には、得られた接合体を高温炉内に置き、この状態で、高温炉内の温度を室温から100°Cより高い温度まで昇温して一定時間保持した後、室温に戻すことにより、アニールを行った。

[0058] 接合体を構成する各層のArの含有量（存在量）を測定するために、接合体をFIB（集束イオンビーム）法により薄片化しながら各層の表面を露出させ、エネルギー分散型X線分析（EDX）を行った。具体的には、原子分

解能分析電子顕微鏡（J E O L 製、J E M - A R M 2 0 0 F D u a l - X）およびエネルギー分散型X線分析装置（J E O L 製、J E D - 2 3 0 0）を用い、加速電圧200kV、beam spot size約0.2nm $\phi$ として、STEM-EDX観察にて分析を行った。

測定結果を以下に示す。なお、Arの含有量は、測定箇所が存在する全ての原子に対するAr原子の割合を示す。

- ・測定箇所1（波長変換層10に対応するYAG結晶）：0原子%
- ・測定箇所2（第1の屈折率層21<sub>1</sub>、第1の最表層51側）：0.7原子%
- ・測定箇所3（第1の屈折率層21<sub>1</sub>、第2の最表層52側）：0.7原子%
- ・測定箇所4：（第2の屈折率層21<sub>2</sub>に対応する酸化ケイ素層）：0原子%

[0059] [実施例2]

C r : Y A G 基板に、酸化タンタル（T a <sub>2</sub> O <sub>5</sub>）層、酸化ケイ素（S i O <sub>2</sub>）層および酸化アルミニウム（A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub>）層を表2に示す順序および厚みで成膜し、第33の屈折率層から第2の屈折率層の32層と厚み80nmの酸化タンタル層を含む積層部を形成し、Y b : Y A G 基板に厚み80nmの酸化タンタル層を形成し、両基板を、図3に示す方法により接合して得られる複合基板の各層の屈折率を表2にまとめる。

[0060]

[表2]

複合基板		実施例2		
		屈折率	厚み(nm)	
波長変換層	Yb:YAG	1.83	-	
屈折率層	1	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	160
	2	SiO <sub>2</sub>	1.46	279
	3	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.63	257
	4	SiO <sub>2</sub>	1.46	238
	5	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	259
	6	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	7	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	8	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	9	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	10	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	11	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	12	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	13	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	14	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	15	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	16	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	17	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	18	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	19	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	20	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	21	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	22	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	23	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	24	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	25	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	26	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	27	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	260
	28	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	29	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.63	260
	30	SiO <sub>2</sub>	1.46	260
	31	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.23	190
32	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63	260	
33	SiO <sub>2</sub>	1.46	75	
機能層	Cr:YAG	1.82	8216	

[0061] 表2に示すように、第1の屈折率層（酸化タンタル層）において、活性化

処理（ビーム照射）による影響は極めて低く、所望の屈折率が得られる。

[0062] 実施例2の多層膜の反射特性のシミュレーション結果を図6に示す。

[0063] 実施例2の多層膜は、波長変換層（Yb：YAG層）から発射される波長1030nmの光を透過させ、波長変換層（Yb：YAG層）の有効励起波長の光の放出を抑制し得る。

[0064] [実施例3]

基板（GaAs基板）に、酸化チタン（TiO<sub>2</sub>）層、酸化ケイ素（SiO<sub>2</sub>）層および酸化アルミニウム（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）層を表3に示す順序および厚みで成膜し、第29の屈折率層から第2の屈折率層の28層と厚み91nmの酸化チタン層を含む積層部を形成し、Yb：YAG基板に厚み91nmの酸化チタン層を形成し、両基板を、図3に示す方法により接合して得られる複合基板の各層の屈折率を表3にまとめる。

[0065] 表3に示すように、第1の屈折率層（厚み182nmの酸化チタン層）において、活性化処理（ビーム照射）による影響（アモルファス構造の生成）は極めて低く、所望の屈折率が得られる。

[0066]

[表3]

複合基板		実施例 3		
		屈折率	厚み(nm)	
波長変換層	Yb:YAG	1.83	—	
	1	TiO <sub>2</sub>	2.35	182
	2	SiO <sub>2</sub>	1.46	285
	3	TiO <sub>2</sub>	2.35	236
	4	SiO <sub>2</sub>	1.46	172
	5	TiO <sub>2</sub>	2.35	113
	6	SiO <sub>2</sub>	1.46	251
	7	TiO <sub>2</sub>	2.35	123
	8	SiO <sub>2</sub>	1.46	191
	9	TiO <sub>2</sub>	2.35	112
	10	SiO <sub>2</sub>	1.46	207
	11	TiO <sub>2</sub>	2.35	95
	12	SiO <sub>2</sub>	1.46	198
	13	TiO <sub>2</sub>	2.35	123
	14	SiO <sub>2</sub>	1.46	176
	15	TiO <sub>2</sub>	2.35	123
	16	SiO <sub>2</sub>	1.46	193
	17	TiO <sub>2</sub>	2.35	123
	18	SiO <sub>2</sub>	1.46	202
	19	TiO <sub>2</sub>	2.35	105
	20	SiO <sub>2</sub>	1.46	206
	21	TiO <sub>2</sub>	2.35	122
	22	SiO <sub>2</sub>	1.46	206
	23	TiO <sub>2</sub>	2.35	98
	24	SiO <sub>2</sub>	1.46	211
	25	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63	103
	26	SiO <sub>2</sub>	1.46	212
	27	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63	233
	28	SiO <sub>2</sub>	1.46	108
	29	TiO <sub>2</sub>	2.35	61
基板	GaAs	3.40	4842	

[0067] 実施例 3 の多層膜の反射特性のシミュレーション結果を図 7 に示す。

[0068] Yb : YAG は、有効励起波長が 935 nm ~ 945 nm で、波長 1030 nm の光に変換し得る。実施例 3 の多層膜は、波長変換層 (Yb : YAG 層) の有効励起波長の光を透過させ、波長変換層 (Yb : YAG 層) から発

射される波長1030nmの光の放出を抑制し得る。

実施例3の多層膜は、波長940nmにおける反射率が0.1%であった。

[0069] (実施例3の組成分析)

実施例1と同様に、STEM-EDX観察にて、下記の部位における組成分析を行った。

- ・測定箇所2 (第1の屈折率層21<sub>1</sub>、第1の最表層51側)
- ・測定箇所3 (第1の屈折率層21<sub>1</sub>、第2の最表層52側)

その結果、測定箇所2および測定箇所3では、Yb:YAGの構成元素 (Y、Al、Yb) および第2の屈折率層の構成元素 (Si) は確認されなかった。

[0070] [実施例4]

基板 (GaAs基板) に、酸化ジルコニウム (ZrO<sub>2</sub>) 層、酸化ケイ素 (SiO<sub>2</sub>) 層および酸化アルミニウム (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 層を表4に示す順序および厚みで成膜し、第29の屈折率層から第2の屈折率層の28層と厚み100nmの酸化ジルコニウム層を含む積層部を形成し、Yb:YAG基板に厚み100nmの酸化ジルコニウム層を形成し、両基板を、図3に示す方法により接合して得られる複合基板の各層の屈折率を表4にまとめる。

[0071] 表4に示すように、第1の屈折率層 (厚み200nmの酸化ジルコニウム層) において、活性化処理 (ビーム照射) による影響 (アモルファス構造の生成) は極めて低く、所望の屈折率が得られる。

[0072]

[表4]

複合基板		実施例 4		
		屈折率	厚み(nm)	
波長変換層	Yb:YAG	1.83	—	
	1	ZrO <sub>2</sub>	2.07	200
	2	SiO <sub>2</sub>	1.46	280
	3	ZrO <sub>2</sub>	2.07	240
	4	SiO <sub>2</sub>	1.46	179
	5	ZrO <sub>2</sub>	2.07	110
	6	SiO <sub>2</sub>	1.46	266
	7	ZrO <sub>2</sub>	2.07	128
	8	SiO <sub>2</sub>	1.46	198
	9	ZrO <sub>2</sub>	2.07	116
	10	SiO <sub>2</sub>	1.46	215
	11	ZrO <sub>2</sub>	2.07	98
	12	SiO <sub>2</sub>	1.46	205
	13	ZrO <sub>2</sub>	2.07	128
	14	SiO <sub>2</sub>	1.46	187
	15	ZrO <sub>2</sub>	2.07	128
	16	SiO <sub>2</sub>	1.46	200
	17	ZrO <sub>2</sub>	2.07	128
	18	SiO <sub>2</sub>	1.46	210
	19	ZrO <sub>2</sub>	2.07	109
	20	SiO <sub>2</sub>	1.46	215
	21	ZrO <sub>2</sub>	2.07	126
	22	SiO <sub>2</sub>	1.46	212
	23	ZrO <sub>2</sub>	2.07	97
	24	SiO <sub>2</sub>	1.46	221
	25	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63	107
	26	SiO <sub>2</sub>	1.46	221
	27	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63	235
	28	SiO <sub>2</sub>	1.46	71
	29	ZrO <sub>2</sub>	2.07	75
基板	GaAs	3.40	4842	

[0073] 実施例4の多層膜の反射特性のシミュレーション結果を図8に示す。

[0074] Yb:YAGは、有効励起波長が935nm~945nmで、波長1030nmの光に変換し得る。実施例4の多層膜は、波長変換層(Yb:YAG層)の有効励起波長の光を透過させ、波長変換層(Yb:YAG層)から発

射される波長1030nmの光の放出を抑制し得る。

実施例4の多層膜は、波長940nmにおける反射率が0.1%であった。

[0075] (実施例4の組成分析)

実施例1と同様に、STEM-EDX観察にて、下記の部位における組成分析を行った。

- ・測定箇所2 (第1の屈折率層21<sub>1</sub>、第1の最表層51側)
- ・測定箇所3 (第1の屈折率層21<sub>1</sub>、第2の最表層52側)

その結果、測定箇所2および測定箇所3では、Yb:YAGの構成元素 (Y、Al、Yb) および第2の屈折率層の構成元素 (Si) は確認されなかった。

### 産業上の利用可能性

[0076] 本発明の実施形態による複合基板は、センシング用、精密加工用、医療用などのレーザ素子に好適に用いられ得る。

### 符号の説明

[0077]	10	波長変換層
	21	第1の多層膜
	22	第2の多層膜
	30	基板
	40	機能層
	51	第1の最表層
	52	第2の最表層
	61	第1の部分
	62	第2の部分
	100	複合基板
	102	接合体 (複合基板)

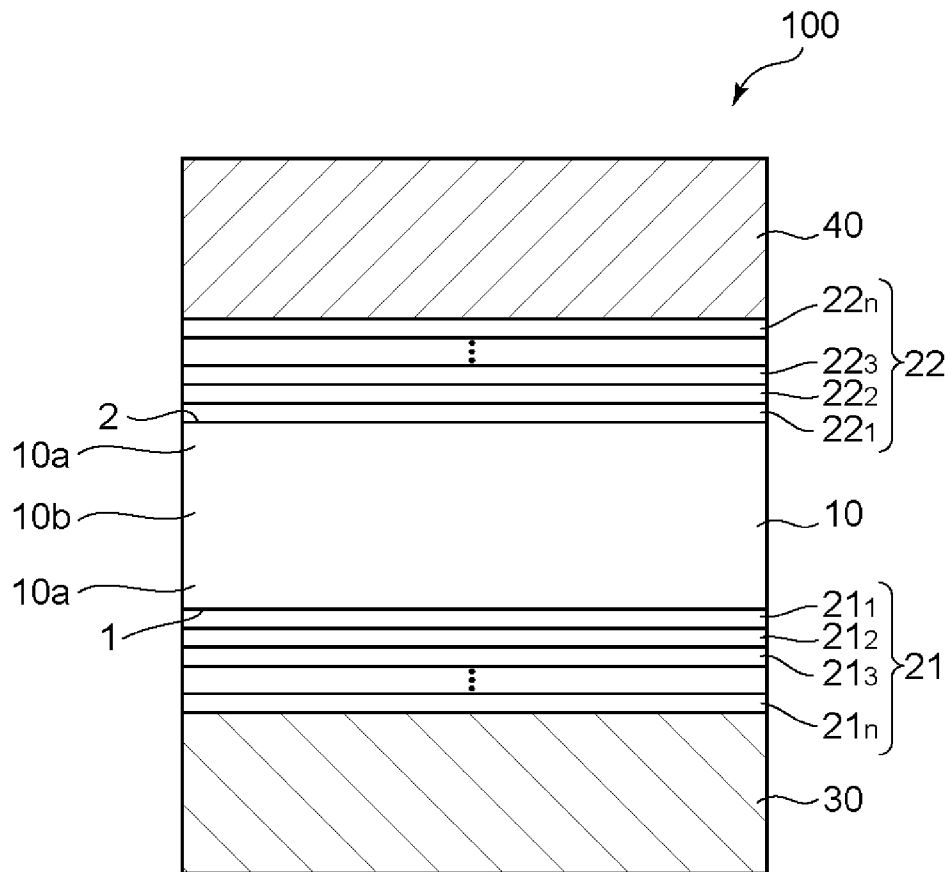
## 請求の範囲

- [請求項1] 入射した光を波長が異なる光に変換する波長変換層と、前記波長変換層に隣接して配置される多層膜と、を有し、前記多層膜は複数の屈折率層の積層体であり、前記多層膜に含まれる一つの屈折率層は、厚み方向中央部に不活性ガス原子が存在するアモルファス領域が形成されている、複合基板。
- [請求項2] 前記領域における不活性ガス原子の存在量は0.5原子%以上10原子%以下である、請求項1に記載の複合基板。
- [請求項3] 前記波長変換層は、ドーパされたイットリウムアルミニウムガーネット結晶、ドーパされたイットリウムバナデート結晶およびドーパされたイットリウムリチウムフルオライド結晶から選択される、請求項1に記載の複合基板。
- [請求項4] 前記不活性ガス原子が存在するアモルファス領域が形成された屈折率層は、タンタル、チタン、アルミニウム、イットリウム、ジルコニウム、ハフニウム、ランタン、セリウム、タングステン、亜鉛、ニオブおよびマグネシウムから選択される少なくとも1つを含む酸化物を含む、請求項1に記載の複合基板。
- [請求項5] 前記多層膜に含まれる隣接する二つの層の屈折率は異なる、請求項1に記載の複合基板。
- [請求項6] 前記多層膜に含まれる前記複数の屈折率層の屈折率はそれぞれ1.3～2.4であり、前記多層膜は屈折率が2.1以上の屈折率層を一層以上含む、請求項1に記載の複合基板。
- [請求項7] 前記多層膜において、屈折率の最も高い屈折率層の屈折率と屈折率の最も低い屈折率層の屈折率との差は0.5以上である、請求項1に記載の複合基板。
- [請求項8] 前記多層膜に含まれる層のそれぞれの厚みは、50nm以上300nm以下である、請求項1に記載の複合基板。

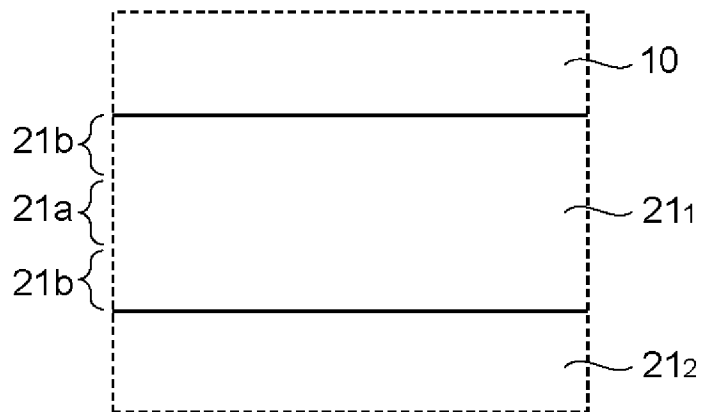
- [請求項9] 前記波長変換層と、前記多層膜と、面発光レーザ基板と、をこの順に有する、請求項1に記載の複合基板。
- [請求項10] 前記波長変換層と、前記多層膜と、可飽和吸収層と、をこの順に有する、請求項1に記載の複合基板。
- [請求項11] 面発光レーザ基板と、入射した光を波長が異なる光に変換する波長変換層と、可飽和吸収層と、をこの順に有し、  
前記面発光レーザ基板と前記波長変換層の間と、前記可飽和吸収層と前記波長変換層の間との少なくとも一方に、前記波長変換層に隣接して配置される多層膜と、を有し、  
前記多層膜は複数の屈折率層の積層体であり、  
前記多層膜に含まれる一つの屈折率層は、厚み方向中央部に不活性ガス原子が存在するアモルファス領域が形成されている、  
複合基板。
- [請求項12] 請求項1に記載の複合基板を含む、レーザ構造体。
- [請求項13] 請求項1に記載の複合基板の製造方法であって、  
前記複数の屈折率層の積層体を構成する第1の部分を準備すること、  
前記波長変換層に、前記複数の屈折率層の積層体を構成する第2の部分を積層すること、  
前記第1の部分の表面および前記第2の部分の表面それぞれに活性化処理を施すこと、および、  
前記活性化処理後に、前記第1の部分と前記第2の部分とを接合すること、を含み、  
前記第1の部分の最表層を構成する材料と前記第2の部分の最表層を構成する材料とは、実質的に同じである、  
複合基板の製造方法。
- [請求項14] 前記第1の部分の表面および前記第2の部分の表面それぞれの活性化処理の時間は10秒～30秒である、請求項13に記載の複合基板

の製造方法。

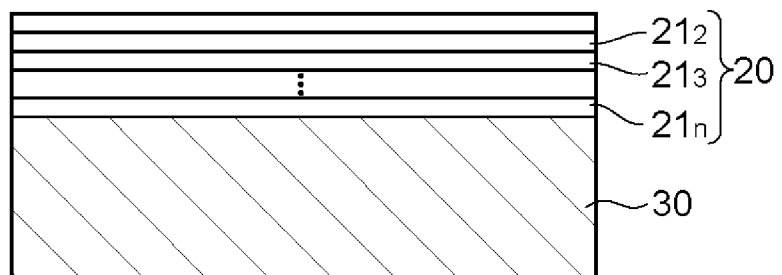
[図1]



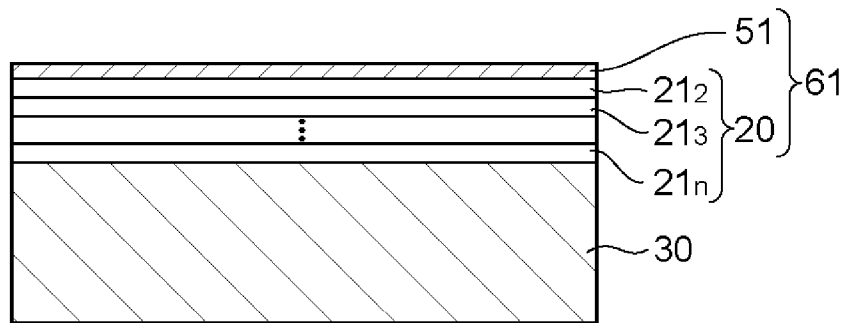
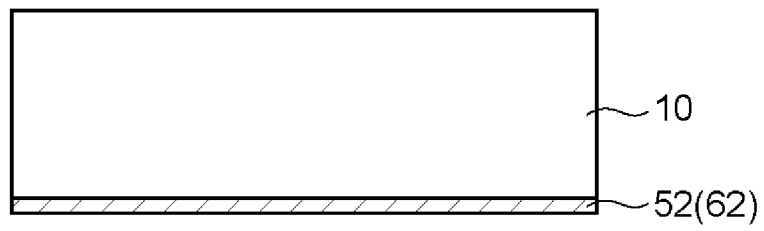
[図2]



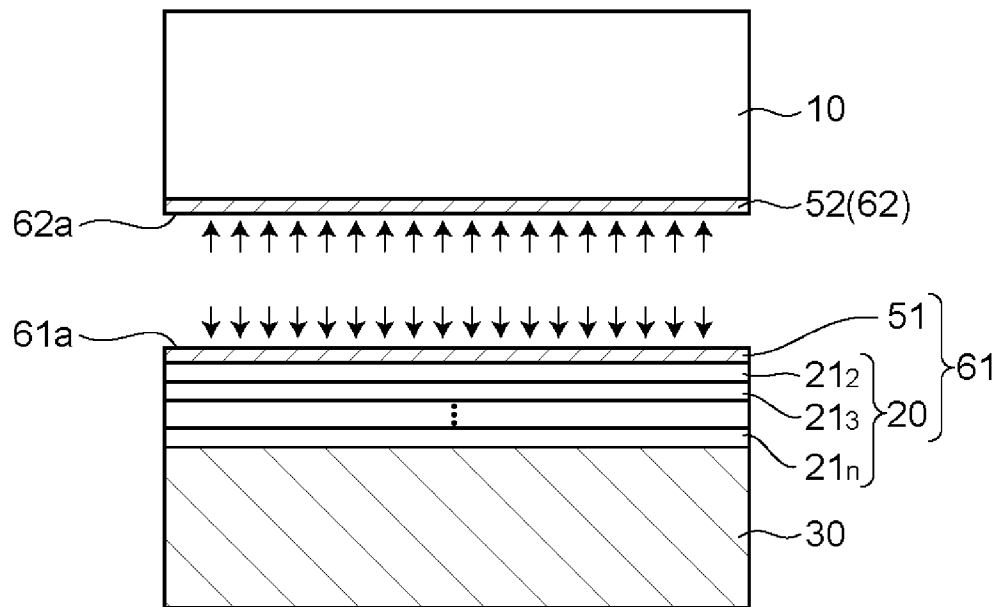
[図3A]



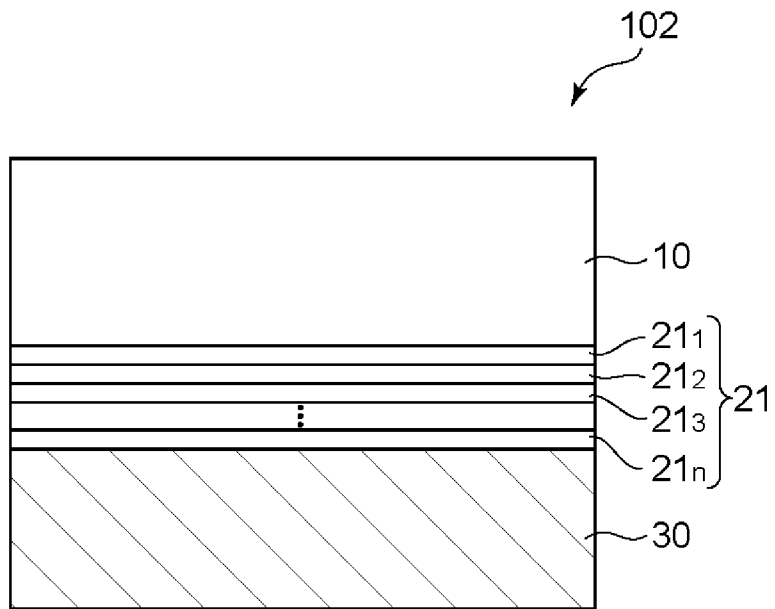
[図3B]



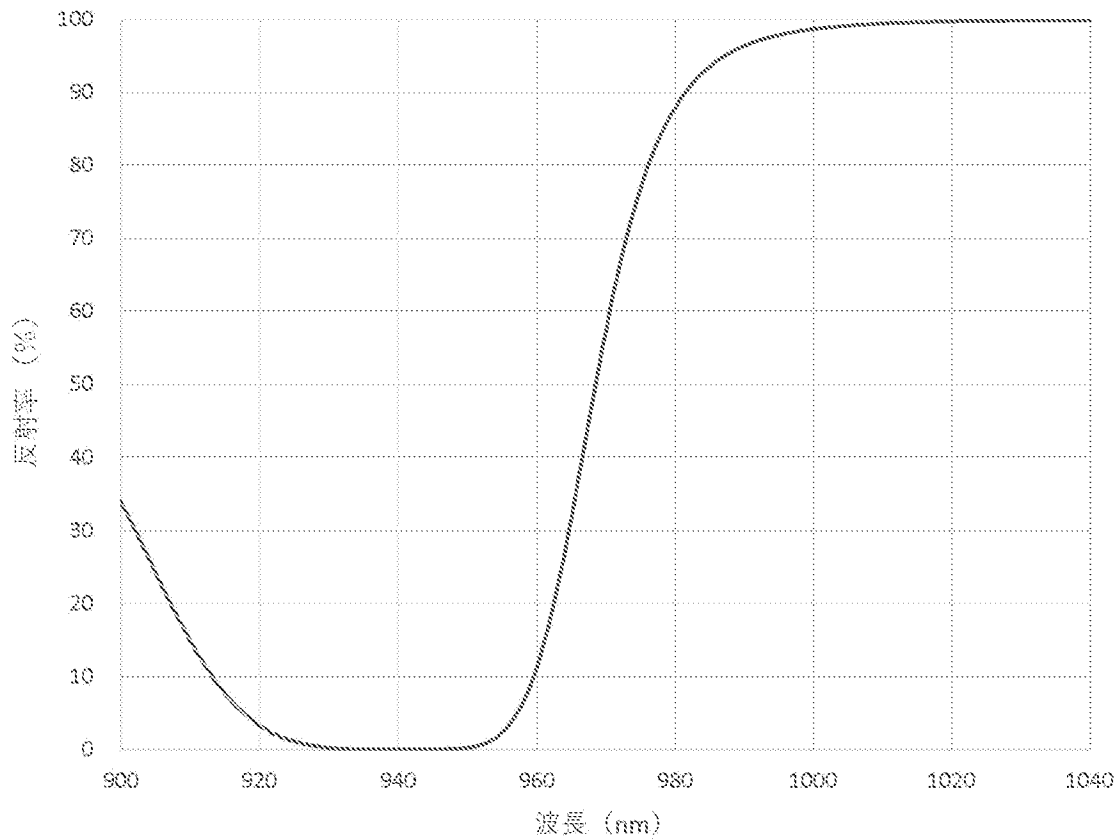
[図3C]



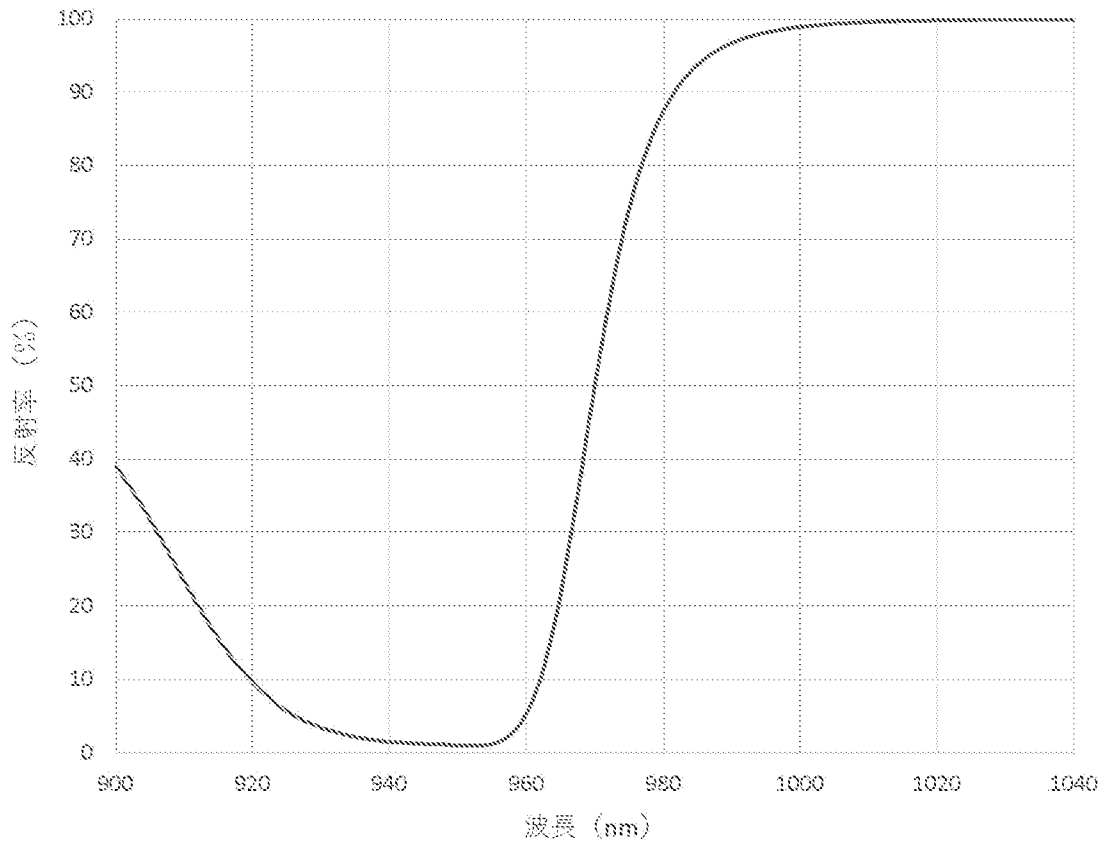
[図3D]



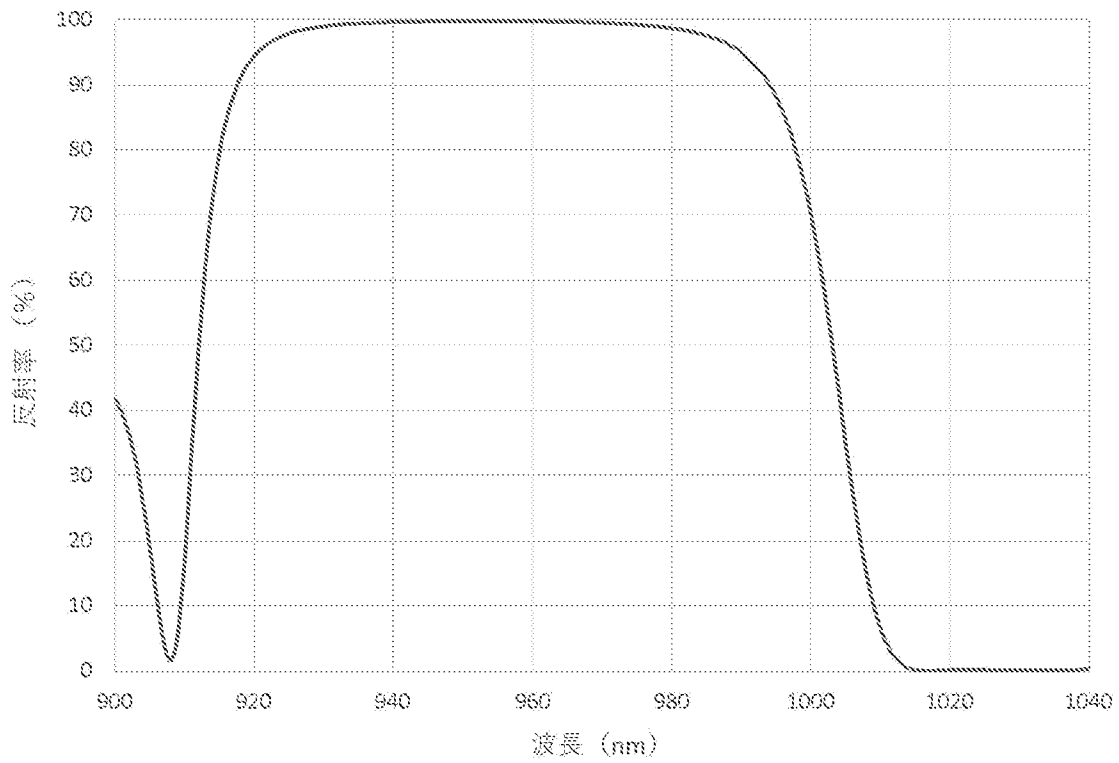
[図4]



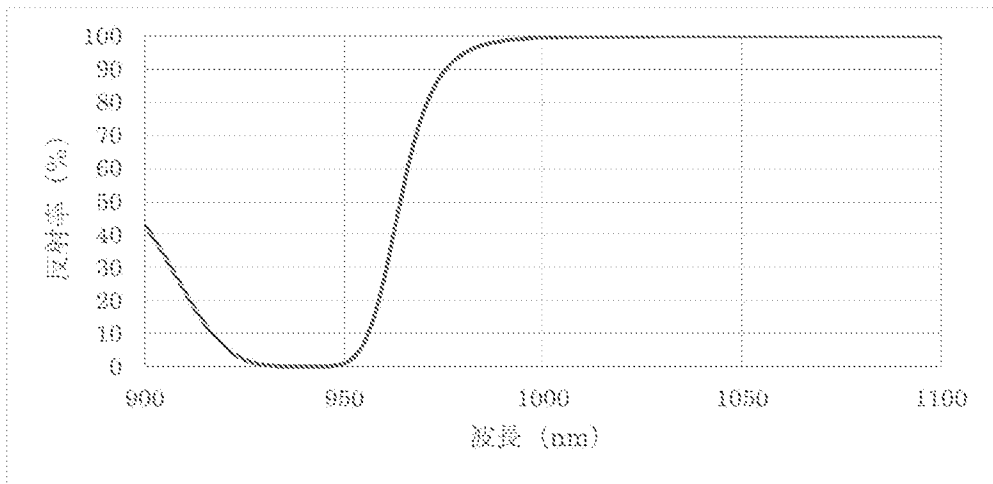
[圖5]



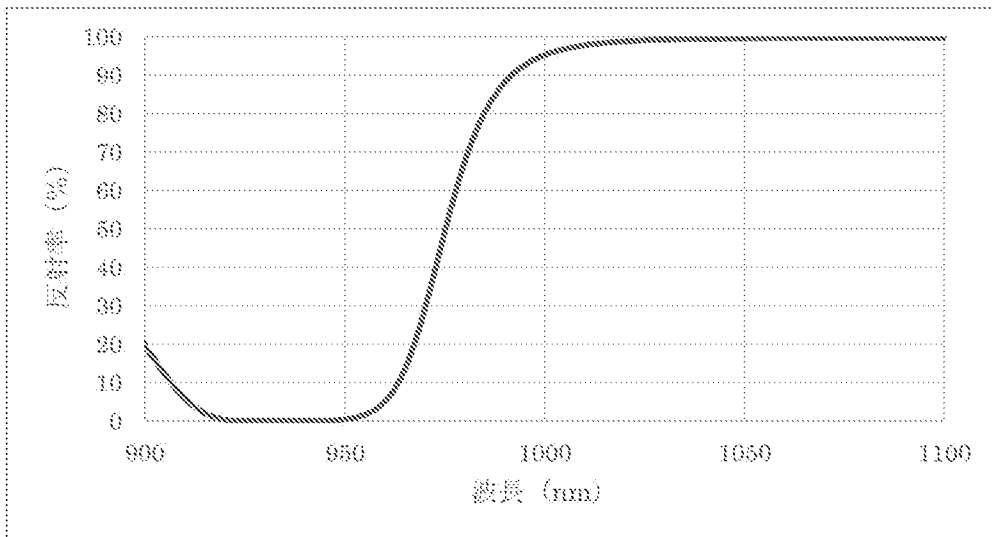
[圖6]



[図7]



[図8]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/040058

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<p><i>G02B 5/20</i>(2006.01)i; <i>B23K 20/00</i>(2006.01)i; <i>G02B 1/115</i>(2015.01)i; <i>G02B 5/22</i>(2006.01)i; <i>G02B 5/26</i>(2006.01)i; <i>G02B 5/28</i>(2006.01)i; <i>H01S 3/05</i>(2006.01)i; <i>H01S 5/183</i>(2006.01)i; <i>H01S 5/0239</i>(2021.01)i  FI: G02B5/20; B23K20/00 310L; G02B1/115; G02B5/22; G02B5/26; G02B5/28; H01S3/05; H01S5/0239; H01S5/183</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B5/20-5/28; B23K20/00; G02B1/115; H01S3/05; H01S5/183; H01S5/022; H01S5/0239; H10H20/851; H10H29/851		
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 1971-2025 Registered utility model specifications of Japan 1996-2025 Published registered utility model applications of Japan 1994-2025		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2019-003090 A (NGK INSULATORS LTD.) 10 January 2019 (2019-01-10) claims, paragraphs [0029]-[0075], fig. 9-10	1-7, 12-14 8 9-11
X Y A	JP 2021-152615 A (STANLEY ELECTRIC CO., LTD.) 30 September 2021 (2021-09-30) claims, paragraphs [0009]-[0010], [0024]-[0052], fig. 1-1 to 7 paragraphs [0007], [0041], fig. 1-2, 7	1-3, 5-8, 12-14 9 4, 10-11
Y	WO 2017/217486 A1 (NGK INSULATORS LTD.) 21 December 2017 (2017-12-21) paragraphs [0030]-[0045], [0060]-[0062], [0066], fig. 1, 7	8
Y	WO 2020/166420 A1 (SONY CORPORATION) 20 August 2020 (2020-08-20) paragraphs [0027]-[0040], [0079]-[0081], [0094]-[0095], [0178]-[0185], fig. 1, 7, 14	9
<input checked="" 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: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “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 <b>21 January 2025</b>		Date of mailing of the international search report <b>04 February 2025</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2024/040058**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-085519 A (CITIZEN HOLDINGS CO., LTD.) 12 May 2014 (2014-05-12) entire text, fig. 1-2	1, 9-12
A	JP 2018-073984 A (NATIONAL INSTITUTE OF NATURAL SCIENCES) 10 May 2018 (2018-05-10) entire text, all drawings	1-14
A	WO 2023/188146 A1 (SONY GROUP CORPORATION) 05 October 2023 (2023-10-05) entire text, all drawings	1, 9-12
A	WO 2023/100959 A1 (DAI NIPPON PRINTING CO., LTD.) 08 June 2023 (2023-06-08) paragraphs [0071]-[0182], fig. 2, 9	1, 9-12

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2024/040058**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2019-003090	A	10 January 2019	(Family: none)	
JP	2021-152615	A	30 September 2021	WO	2021/193773 A1
WO	2017/217486	A1	21 December 2017	US	2019/0120442 A1 paragraphs [0045]-[0065], [0089]-[0091], [0100]-[0101], fig. 1, 7
WO	2020/166420	A1	20 August 2020	US	2022/0006263 A1 paragraphs [0027]-[0040], [0079]-[0081], [0094]-[0095], [0178]-[0185], fig. 1, 7, 14
				CN	113423529 A
JP	2014-085519	A	12 May 2014	(Family: none)	
JP	2018-073984	A	10 May 2018	US	2018/0123309 A1
				GB	2553719 A
				DE	102017125099 A1
				FR	3058584 A
WO	2023/188146	A1	05 October 2023	(Family: none)	
WO	2023/100959	A1	08 June 2023	JP	2023-81194 A
				JP	2023-81197 A
				JP	2023-151301 A
				JP	2023-151472 A
				TW	202338256 A

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>G02B 5/20(2006.01)i; B23K 20/00(2006.01)i; G02B 1/115(2015.01)i; G02B 5/22(2006.01)i;                  G02B 5/26(2006.01)i; G02B 5/28(2006.01)i; H01S 3/05(2006.01)i; H01S 5/183(2006.01)i;                  H01S 5/0239(2021.01)i                  FI: G02B5/20; B23K20/00 310L; G02B1/115; G02B5/22; G02B5/26; G02B5/28; H01S3/05; H01S5/0239;                  H01S5/183</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））</p> <p>G02B5/20-5/28; B23K20/00; G02B1/115; H01S3/05; H01S5/183; H01S5/022; H01S5/0239; H10H20/851;                  H10H29/851</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 - 2025年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2025年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2025年</td> </tr> </table> <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>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2025年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2025年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2025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 - 2025年																									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2025年																									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2025年																									
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>JP 2019-003090 A（日本碍子株式会社）10.01.2019（2019-01-10） [特許請求の範囲],段落[0029]-[0075],図9-10</td> <td>1-7,12-14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>9-11</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>JP 2021-152615 A（スタンレー電気株式会社）30.09.2021（2021-09-30） [特許請求の範囲],段落[0009]-[0010],[0024]-[0052],図1-1 - 7</td> <td>1-3,5-8,12-14</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>段落[0007],[0041],図1-2,図7</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>4,10-11</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>WO 2017/217486 A1（日本碍子株式会社）21.12.2017（2017-12-21） 段落[0030]-[0045],[0060]-[0062],[0066],図1,7</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>			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	JP 2019-003090 A（日本碍子株式会社）10.01.2019（2019-01-10） [特許請求の範囲],段落[0029]-[0075],図9-10	1-7,12-14	Y		8	A		9-11	X	JP 2021-152615 A（スタンレー電気株式会社）30.09.2021（2021-09-30） [特許請求の範囲],段落[0009]-[0010],[0024]-[0052],図1-1 - 7	1-3,5-8,12-14	Y	段落[0007],[0041],図1-2,図7	9	A		4,10-11	Y	WO 2017/217486 A1（日本碍子株式会社）21.12.2017（2017-12-21） 段落[0030]-[0045],[0060]-[0062],[0066],図1,7	8
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	JP 2019-003090 A（日本碍子株式会社）10.01.2019（2019-01-10） [特許請求の範囲],段落[0029]-[0075],図9-10	1-7,12-14																								
Y		8																								
A		9-11																								
X	JP 2021-152615 A（スタンレー電気株式会社）30.09.2021（2021-09-30） [特許請求の範囲],段落[0009]-[0010],[0024]-[0052],図1-1 - 7	1-3,5-8,12-14																								
Y	段落[0007],[0041],図1-2,図7	9																								
A		4,10-11																								
Y	WO 2017/217486 A1（日本碍子株式会社）21.12.2017（2017-12-21） 段落[0030]-[0045],[0060]-[0062],[0066],図1,7	8																								
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。</p> <p><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</p> <p>“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</p> <p>“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” 同一パテントファミリー文献</p>																										
<p>国際調査を完了した日</p> <p>21.01.2025</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>04.02.2025</p>																									
<p>名称及びあて先</p> <p>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</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>横川 美穂 2K 4749</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3255</p>																									

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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	WO 2020/166420 A1 (ソニー株式会社) 20.08.2020 (2020 - 08 - 20) 段落[0027]-[0040], [0079]-[0081], [0094]-[0095], [0178]-[0185], 図1, 7, 14	9
A	JP 2014-085519 A (シチズンホールディングス株式会社) 12.05.2014 (2014 - 05 - 12) 全文, 図1-2	1, 9-12
A	JP 2018-073984 A (大学共同利用機関法人自然科学研究機構) 10.05.2018 (2018 - 05 - 10) 全文, 全図	1-14
A	WO 2023/188146 A1 (ソニーグループ株式会社) 05.10.2023 (2023 - 10 - 05) 全文, 全図	1, 9-12
A	WO 2023/100959 A1 (大日本印刷株式会社) 08.06.2023 (2023 - 06 - 08) 段落[0071]-[0182], 図2, 9	1, 9-12

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/JP2024/040058

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2019-003090 A	10.01.2019	(ファミリーなし)	
JP 2021-152615 A	30.09.2021	WO 2021/193773 A1	
WO 2017/217486 A1	21.12.2017	US 2019/0120442 A1 paras. [0045]-[0065], [0089]-[0091], [0100]- [0101], FIGs. 1, 7	
WO 2020/166420 A1	20.08.2020	US 2022/0006263 A1 段落[0027]-[0040], [0079]- [0081], [0094]-[0095], [0178]-[0185], FIGs. 1, 7, 14 CN 113423529 A	
JP 2014-085519 A	12.05.2014	(ファミリーなし)	
JP 2018-073984 A	10.05.2018	US 2018/0123309 A1 GB 2553719 A DE 102017125099 A1 FR 3058584 A	
WO 2023/188146 A1	05.10.2023	(ファミリーなし)	
WO 2023/100959 A1	08.06.2023	JP 2023-81194 A JP 2023-81197 A JP 2023-151301 A JP 2023-151472 A TW 202338256 A	