

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7238506号
(P7238506)

(45)発行日 令和5年3月14日(2023.3.14)

(24)登録日 令和5年3月6日(2023.3.6)

(51)国際特許分類		F I	
G 0 3 B	21/14 (2006.01)	G 0 3 B	21/14 A
G 0 3 B	21/00 (2006.01)	G 0 3 B	21/00 D
G 0 2 B	5/20 (2006.01)	G 0 2 B	5/20
G 0 2 B	1/11 (2015.01)	G 0 2 B	1/11
F 2 1 V	9/32 (2018.01)	F 2 1 V	9/32
請求項の数 8 (全30頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2019-50086(P2019-50086)	(73)特許権者	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(22)出願日	平成31年3月18日(2019.3.18)	(74)代理人	110000637 弁理士法人樹之下知的財産事務所
(65)公開番号	特開2020-154030(P2020-154030 A)	(72)発明者	橋爪 俊明 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイ コーエプソン株式会社内
(43)公開日	令和2年9月24日(2020.9.24)	審査官	小野 博之
審査請求日	令和4年3月16日(2022.3.16)		
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 波長変換素子、光源装置及びプロジェクター

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の蛍光体粒子と、前記複数の蛍光体粒子のうち1つの蛍光体粒子と他の1つの蛍光体粒子とを結合するバインダーと、を有する蛍光体層と、
前記蛍光体層に対する励起光の入射側に設けられる反射防止層と、
前記蛍光体層が設けられる基板と、を備え、
前記バインダーは、ガラスを含有し、
前記バインダーは、前記1つの蛍光体粒子の表面の一部と前記他の1つの蛍光体粒子の表面の一部とを結合し、
前記蛍光体粒子に対する前記バインダーの結合部の面積は、前記バインダーが結合する前記蛍光体粒子の表面積の10%以下の値であることを特徴とする波長変換素子。

10

【請求項2】

複数の蛍光体粒子と、バインダーと、前記複数の蛍光体粒子のそれぞれの表面に設けられる反射防止層と、を有する蛍光体層と、
前記蛍光体層が設けられる基板と、を備え、
前記バインダーは、ガラスを含有し、
前記バインダーは、前記複数の蛍光体粒子のうち1つの蛍光体粒子の表面に設けられた前記反射防止層の一部と、他の1つの蛍光体粒子の表面に設けられた前記反射防止層の一部と、を結合し、
前記蛍光体粒子に対する前記バインダーの結合部の面積は、前記バインダーが結合する

20

前記蛍光体粒子の表面積の10%以下の値であることを特徴とする波長変換素子。

【請求項3】

複数の蛍光体粒子と、バインダーと、前記複数の蛍光体粒子の表面に設けられる反射防止層と、を有する蛍光体層と、

前記蛍光体層が設けられる基板と、を備え、

前記バインダーは、ガラスを含有し、

前記バインダーは、前記複数の蛍光体粒子のうち1つの蛍光体粒子の表面の一部と、他の1つの蛍光体粒子の表面に設けられた前記反射防止層と、を結合することを特徴とする波長変換素子。

【請求項4】

複数の蛍光体粒子と、バインダーと、前記複数の蛍光体粒子の表面に設けられる反射防止層と、を有する蛍光体層と、

前記蛍光体層が設けられる基板と、を備え、

前記バインダーは、ガラスを含有し、

前記バインダーは、前記複数の蛍光体粒子のうち1つの蛍光体粒子の表面の一部と、他の1つの蛍光体粒子の表面の一部と、を結合し、

前記蛍光体粒子に対する前記バインダーの結合部の面積は、前記バインダーが結合する前記蛍光体粒子の表面積の10%以下の値であることを特徴とする波長変換素子。

【請求項5】

請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の波長変換素子において、

前記1つの蛍光体粒子及び前記他の1つの蛍光体粒子は、前記バインダーの内部に空隙が設けられるように前記バインダーにより結合されていない部分をそれぞれ有することを特徴とする波長変換素子。

【請求項6】

請求項1から請求項5のいずれか一項に記載の波長変換素子において、

前記蛍光体粒子の体積の合計と前記バインダーの体積の合計とを合計した体積に対する前記バインダーの体積の割合は、0vol%より大きく、10vol%以下であることを特徴とする波長変換素子。

【請求項7】

請求項1から請求項6のいずれか一項に記載の波長変換素子と、

前記波長変換素子に励起光を出射する光源と、を備えることを特徴とする光源装置。

【請求項8】

請求項7に記載の光源装置と、

前記光源装置から出射された光を画像情報に応じて変調する光変調装置と、

前記光変調装置によって変調された光を投射する投射光学装置と、を備えることを特徴とするプロジェクター。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長変換素子、光源装置及びプロジェクターに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、入射される励起光によって励起され、励起光の波長より長い波長を有する蛍光を出射する波長変換素子が知られている。このような波長変換素子として、基材と、基材の表面に形成された反射層と、反射層上に形成された蛍光体層と、を備えた発光素子が知られている（例えば、特許文献1参照）。

【0003】

特許文献1に記載の発光素子では、蛍光体層は、複数の蛍光体粒子と、複数の蛍光体粒子を結合させるバインダーと、を有する。

バインダーは、例えば水ガラス等の無機材料の架橋体を含むものである。バインダーは

10

20

30

40

50

、互いに隣り合う一の蛍光体粒子と他の一の蛍光体粒子とを結合するとともに、蛍光体粒子と反射層の表面とを結合する。蛍光体粒子は、外部から照射される励起光を吸収して蛍光を発する粒子状の蛍光体である。蛍光体粒子には、例えば Y A G 系材料の蛍光物質が含まれている。そして、特許文献 1 では、上記発光素子を有する光源装置が、プロジェクターに適用された例が示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開 2015-197474 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1 に記載の蛍光体層では、複数の蛍光体粒子は、バインダー内に封入されている。換言すると、バインダーは、蛍光体粒子の表面全体を覆うように、蛍光体粒子の周囲に存在する。このため、蛍光体粒子から出射された蛍光は、バインダー内に入射され、バインダー内を伝播して、蛍光体層から出射される。蛍光体層から出射された蛍光は、光源装置から出射され、光学系を構成する反射型液晶パネルに入射される。

しかしながら、蛍光体層においてバインダー内を蛍光が伝播すると、蛍光体層の表面における蛍光の出射領域は、励起光の入射領域より大きくなる。そして、蛍光の出射領域が大きいと、光学系において液晶パネルに対する蛍光の入射効率が低下するおそれがある。すなわち、蛍光体粒子の表面全体がバインダーによって覆われていると、蛍光体層から蛍光が入射される光学系での蛍光の利用効率が低下するおそれがある。

【0006】

一方、波長変換素子においては、蛍光体層に照射された励起光のうち、一部の励起光が蛍光体粒子にて蛍光に変換されずに戻ってしまう後方散乱（バックスキッタ）と呼ばれる現象が生じる。このような励起光の光量が多くなると、励起光の波長変換効率が低下するという問題がある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の第 1 態様に係る波長変換素子は、複数の蛍光体粒子と、前記複数の蛍光体粒子のうち互いに隣り合う一方の蛍光体粒子と他方の蛍光体粒子とを結合するバインダーとを有する蛍光体層と、前記蛍光体層に対する励起光の入射側に設けられる反射防止層と、前記蛍光体層が設けられる基板と、を備え、前記バインダーは、ガラスを含有し、前記バインダーは、前記一方の蛍光体粒子の表面の一部と前記他方の蛍光体粒子の表面の一部とを結合することを特徴とする。

【0008】

本発明の第 2 態様に係る波長変換素子は、複数の蛍光体粒子と、前記複数の蛍光体粒子のうち互いに隣り合う一方の蛍光体粒子と他方の蛍光体粒子とを結合するバインダーと、前記複数の蛍光体粒子の表面に設けられる反射防止層と、を有する蛍光体層と、前記蛍光体層が設けられる基板と、を備え、前記バインダーは、ガラスを含有し、前記バインダーは、前記一方の蛍光体粒子の表面の一部と前記他方の蛍光体粒子の表面の一部との間、前記一方の蛍光体粒子の表面に設けられた前記反射防止層と前記他方の蛍光体粒子の表面に設けられた前記反射防止層との間、及び、前記一方の蛍光体粒子の表面の一部と前記他方の蛍光体粒子の表面に設けられた前記反射防止層との間、の少なくともいずれかを結合することを特徴とする。

【0009】

上記第 1 及び第 2 態様では、前記蛍光体粒子の体積の合計と前記バインダーの体積の合計とを合計した体積に対する前記バインダーの体積の割合は、0 vol % より大きく、10 vol % 以下であることが好ましい。

【0010】

10

20

30

40

50

本発明の第３態様に係る光源装置は、上記波長変換素子と、前記波長変換素子に励起光を出射する光源と、を備えることを特徴とする。

【００１１】

本発明の第４態様に係るプロジェクターは、上記光源装置と、前記光源装置から出射された光を画像情報に応じて変調する光変調装置と、前記光変調装置によって変調された光を投射する投射光学装置と、を備えることを特徴とする。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】第１実施形態におけるプロジェクターの構成を示す模式図。

【図２】第１実施形態における光源装置の構成を示す模式図。

10

【図３】第１実施形態における波長変換素子を励起光の入射側から見た平面図。

【図４】第１実施形態における波長変換素子の断面を示す模式図。

【図５】第１実施形態における蛍光体層及び反射防止層の一部を拡大して示す模式図。

【図６】第１実施形態におけるバインダーによる蛍光体粒子の結合状態を示す模式図。

【図７】第１実施形態における結合部の面積に対する光学系での明るさ及び光の広がりを示すグラフ。

【図８】第１実施形態におけるガラス含有率と光学系効率との関係を示すグラフ。

【図９】第１実施形態におけるガラス含有率が３０ｖｏｌ％であり、焼成温度が１０００℃である蛍光体層を示す画像。

【図１０】第１実施形態におけるガラス含有率が２０ｖｏｌ％であり、焼成温度が１０００℃である蛍光体層を示す画像。

20

【図１１】第１実施形態におけるガラス含有率が１０ｖｏｌ％であり、焼成温度が１０００℃である蛍光体層を示す画像。

【図１２】第１実施形態におけるガラス含有率が５ｖｏｌ％であり、焼成温度が１０００℃である蛍光体層を示す画像。

【図１３】第１実施形態におけるガラス含有率が３ｖｏｌ％であり、焼成温度が１０００℃である蛍光体層を示す画像。

【図１４】第１実施形態における波長変換素子の製造方法を示すフローチャート。

【図１５】第１実施形態における焼成温度とガラスの粘度との関係を示すグラフ。

【図１６】第１実施形態におけるガラス含有率が５ｖｏｌ％であり、焼成温度が７５０℃である蛍光体層を示す画像。

30

【図１７】第１実施形態におけるガラス含有率が５ｖｏｌ％であり、焼成温度が８００℃である蛍光体層を示す画像。

【図１８】第１実施形態におけるガラス含有率が５ｖｏｌ％であり、焼成温度が８５０℃である蛍光体層を示す画像。

【図１９】第１実施形態におけるガラス含有率が５ｖｏｌ％であり、焼成温度が９００℃である蛍光体層を示す画像。

【図２０】第１実施形態におけるガラス含有率が５ｖｏｌ％であり、焼成温度が９５０℃である蛍光体層を示す画像。

【図２１】第２実施形態におけるプロジェクターが備える波長変換素子の断面を示す模式図。

40

【図２２】第２実施形態における複数の蛍光体粒子及びバインダーの結合状態を示す模式図。

【図２３】第２実施形態におけるバインダーによる蛍光体粒子の結合状態を示す模式図。

【図２４】第２実施形態における波長変換素子の製造方法を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【００１３】

〔第１実施形態〕

以下、本発明の第１実施形態について、図面に基づいて説明する。

〔プロジェクターの概略構成〕

50

図 1 は、本実施形態に係るプロジェクター 1 の構成を示す模式図である。

本実施形態に係るプロジェクター 1 は、後述する光源装置 4 から出射された光を変調して画像情報に応じた画像を形成する画像光を、スクリーン等の被投射面上に拡大投射する。プロジェクター 1 は、図 1 に示すように、外装を構成する外装筐体 2 と、外装筐体 2 内に配置される光源装置 4 及び光学装置 3 0 と、を備える。なお、光源装置 4 及び光学装置 3 0 の構成については、後に詳述する。この他、図示を省略するが、プロジェクター 1 は、プロジェクター 1 の動作を制御する制御装置、電子部品に電力を供給する電源装置、及び、冷却対象を冷却する冷却装置を備える。

【0014】

〔外装筐体の構成〕

外装筐体 2 は、それぞれ図示しない天面部及び底面部と、正面部 2 1、背面部 2 2、左側面部 2 3 及び右側面部 2 4 とを有し、略直方体形状に形成されている。

正面部 2 1 は、後述する投射光学装置 3 6 の一部を露出させる開口部 2 1 1 を有しており、投射光学装置 3 6 によって投射される画像光は、開口部 2 1 1 を通過する。また、正面部 2 1 は、プロジェクター 1 内の冷却対象を冷却した冷却気体が外装筐体 2 の外部に排出される排気口 2 1 2 を有する。更に、右側面部 2 4 は、外装筐体 2 外の気体を冷却気体として内部に導入する導入口 2 4 1 を有する。

【0015】

〔光学装置の構成〕

光学装置 3 0 は、均一化装置 3 1、色分離装置 3 2、リレー装置 3 3、画像形成装置 3 4、光学部品用筐体 3 5 及び投射光学装置 3 6 を備える。

均一化装置 3 1 は、光源装置 4 から出射された光を均一化する。均一化装置 3 1 によって均一化された光は、色分離装置 3 2 及びリレー装置 3 3 を経て、画像形成装置 3 4 の後述する光変調装置 3 4 3 の変調領域を照明する。均一化装置 3 1 は、2つのレンズアレイ 3 1 1、3 1 2、偏光変換素子 3 1 3 及び重畳レンズ 3 1 4 を備える。

色分離装置 3 2 は、均一化装置 3 1 から入射される光を赤、緑及び青の各色光に分離する。色分離装置 3 2 は、2つのダイクロイックミラー 3 2 1、3 2 2 と、ダイクロイックミラー 3 2 1 によって分離された青色光を反射させる反射ミラー 3 2 3 と、を備える。

【0016】

リレー装置 3 3 は、青色光の光路及び緑色光の光路より長い赤色光の光路に設けられ、赤色光の損失を抑制する。リレー装置 3 3 は、入射側レンズ 3 3 1、リレーレンズ 3 3 3、反射ミラー 3 3 2、3 3 4 を備える。

なお、本実施形態では、赤色光の光路にリレー装置 3 3 を設けているが、これに限らず、例えば他の色光より光路が長い色光を青色光とし、青色光の光路上にリレー装置 3 3 を設ける構成としてもよい。

【0017】

画像形成装置 3 4 は、入射される赤、緑及び青の各色光を変調し、変調された各色光を合成して、投射光学装置 3 6 によって投射される画像光を形成する。画像形成装置 3 4 は、入射される各色光に応じて設けられる3つのフィールドレンズ 3 4 1、3つの入射側偏光板 3 4 2、3つの光変調装置 3 4 3 及び3つの出射側偏光板 3 4 4 と、1つの色合成装置 3 4 5 と、を備える。

光変調装置 3 4 3 は、光源装置 4 から出射された光を画像情報に応じて変調する。光変調装置 3 4 3 は、赤色光を変調する光変調装置 3 4 3 R、緑色光を変調する光変調装置 3 4 3 G、及び、青色光を変調する光変調装置 3 4 3 B を含む。本実施形態では、光変調装置 3 4 3 は、透過型の液晶パネルによって構成されており、入射側偏光板 3 4 2、光変調装置 3 4 3 及び出射側偏光板 3 4 4 によって液晶ライトバルブが構成される。

色合成装置 3 4 5 は、光変調装置 3 4 3 B、3 4 3 G、3 4 3 R によって変調された各色光を合成して上記画像光を形成する。本実施形態では、色合成装置 3 4 5 は、クロスダイクロイックプリズムによって構成されているが、これに限らず、例えば複数のダイクロイックミラーによって構成することも可能である。

10

20

30

40

50

【0018】

光学部品用筐体35は、それぞれ上記した均一化装置31、色分離装置32、リレー装置33及び画像形成装置34を内部に收容する。なお、光学装置30には、設計上の光軸である照明光軸Axが設定されており、光学部品用筐体35は、照明光軸Axにおける所定位置に均一化装置31、色分離装置32、リレー装置33及び画像形成装置34を保持する。光源装置4及び投射光学装置36は、照明光軸Axにおける所定位置に配置される。

【0019】

投射光学装置36は、画像形成装置34から入射される画像光を被投射面上に拡大投射する。すなわち、投射光学装置36は、光変調装置343B、343G、343Rによって変調された光を投射する。投射光学装置36は、例えば筒状の鏡筒内に複数のレンズが収納された組レンズとして構成される。

10

【0020】

[光源装置の構成]

図2は、光源装置4の構成を示す模式図である。

光源装置4は、光変調装置343を照明する照明光LTを均一化装置31に出射する。光源装置4は、図2に示すように、光源用筐体CAと、光源用筐体CA内にそれぞれ收容される光源部41、アフォーカル光学素子42、第1位相差素子43、ホモジナイザー光学素子44、偏光分離素子45、第1集光素子46、第2位相差素子47、第2集光素子48、拡散反射装置49及び波長変換装置5と、を備える。

光源用筐体CAは、塵埃等が内部に侵入しづらい密閉筐体である。

20

【0021】

光源部41、アフォーカル光学素子42、第1位相差素子43、ホモジナイザー光学素子44、偏光分離素子45、第2位相差素子47、第2集光素子48及び拡散反射装置49は、光源装置4に設定された照明光軸Ax1上に配置されている。

波長変換装置5、第1集光素子46及び偏光分離素子45は、光源装置4に設定され、かつ、照明光軸Ax1に直交する照明光軸Ax2上に配置されている。照明光軸Ax2は、レンズアレイ311の位置にて、照明光軸Axと一致する。換言すると、照明光軸Ax2は、照明光軸Axの延長線上に設定されている。

【0022】

[光源部の構成]

光源部41は、光を出射する光源411及びコリメーターレンズ414を備える。

光源411は、それぞれ発光素子としての複数の固体光源412と、支持部材413と、を備える。

固体光源412は、励起光であるs偏光の青色光L1sを出射する半導体レーザーである。青色光L1sは、例えば、ピーク波長が440nmのレーザー光である。

支持部材413は、照明光軸Ax1に直交する平面にそれぞれアレイ状に配置された複数の固体光源412を支持する。支持部材413は、熱伝導性を有する金属製部材である。

【0023】

固体光源412から出射された青色光L1sは、コリメーターレンズ414によって平行光束に変換され、アフォーカル光学素子42に入射される。

40

なお、本実施形態では、光源411は、偏光方向が同じ直線偏光光であるs偏光の青色光L1sを出射する構成である。しかしながら、これに限らず、光源411は、偏光方向が異なる直線偏光光である青色光を出射する構成としてもよい。この場合、第1位相差素子43を省略できる。

【0024】

[アフォーカル光学素子の構成]

アフォーカル光学素子42は、光源部41から入射される青色光L1sの光束径を調整して、第1位相差素子43に入射させる。アフォーカル光学素子42は、入射される光を集光するレンズ421と、レンズ421によって集光された光束を平行化するレンズ422とにより構成されている。

50

【0025】

〔第1位相差素子の構成〕

第1位相差素子43は、アフォーカル光学素子42とホモジナイザー光学素子44との間、より具体的には、レンズ422と、ホモジナイザー光学素子44を構成するマルチレンズアレイ441との間の光路上に設けられている。第1位相差素子43は、青色光L1sが入射する面内、すなわち照明光軸Ax1に直交する平面に沿って回転可能に設けられている。第1位相差素子43は、青色光L1sの波長446nmに対する1/2波長板で構成されている。第1位相差素子43の光学軸は、第1位相差素子43に入射する青色光L1sの偏光軸と交差する。なお、第1位相差素子43の光学軸は、第1位相差素子43の進相軸及び遅相軸のうちのいずれであってもよい。

10

【0026】

青色光L1sは、コヒーレントなs偏光である。青色光L1sは、もともとs偏光であるが、青色光L1sの偏光軸が第1位相差素子43の光学軸と交差しているため、青色光L1sが第1位相差素子43を透過することによって、s偏光の一部がp偏光に変換される。このため、第1位相差素子43を透過した青色光は、もともとのs偏光である青色光L1sと、p偏光である青色光L2pとが所定の割合で混在した光となる。

なお、光源装置4は、第1位相差素子43を回転させるモーターを備えていてもよい。

【0027】

〔ホモジナイザー光学素子の構成〕

ホモジナイザー光学素子44は、青色光L1s、L2pの照度分布を均一化する。ホモジナイザー光学素子44は、一対のマルチレンズアレイ441、442により構成されている。

20

【0028】

〔偏光分離素子の構成〕

ホモジナイザー光学素子44を通過した青色光L1s、L2pは、偏光分離素子45に入射する。

偏光分離素子45は、プリズム型の偏光ビームスプリッターであり、入射される光に含まれるs偏光成分とp偏光成分とを分離する。具体的に、偏光分離素子45は、s偏光成分を反射させ、p偏光成分を透過させる。また、偏光分離素子45は、s偏光成分及びp偏光成分のいずれの偏光成分であっても、所定波長以上の光を透過させる色分離特性を有する。従って、s偏光の青色光L1sは、偏光分離素子45にて反射され、第1集光素子46に入射する。一方、p偏光の青色光L2pは、偏光分離素子45を透過して、第2位相差素子47に入射する。

30

【0029】

〔第1集光素子の構成〕

第1集光素子46は、偏光分離素子45にて反射された青色光L1sを波長変換装置5に集光する。また、第1集光素子46は、波長変換装置5から入射される蛍光YLを平行化する。図2の例では、第1集光素子46は、2つのレンズ461、462によって構成されているが、第1集光素子46を構成するレンズの数は問わない。

【0030】

〔波長変換装置の構成〕

波長変換装置5は、光が入射されることによって励起され、入射された光の波長とは異なる波長を有する光を第1集光素子46に出射する。換言すると、波長変換装置5は、入射された光の波長を変換する。

本実施形態では、波長変換装置5は、励起光である青色光L1sの入射に応じて、青色光L1sの波長より長い波長を有する蛍光YLを出射する波長変換素子51と、所定の回転軸である照明光軸Ax2と平行な回転軸Rxを中心として波長変換素子51を回転させる回転部RTとを備える。なお、波長変換素子51の回転軸Rxは、励起光である青色光L1sの入射方向に沿う回転軸である。

これらのうち、波長変換素子51は、青色光L1sの入射側に蛍光YLを出射する反射

40

50

型の波長変換素子である。なお、蛍光 Y L は、例えばピーク波長が 500 ~ 700 nm の光である。すなわち、蛍光 Y L は、緑色光成分及び赤色光成分を含む。

このような波長変換素子 51 の構成については、後に詳述する。

【0031】

波長変換装置 5 から出射された蛍光 Y L は、照明光軸 A x 2 に沿って第 1 集光素子 46 を通過した後、偏光分離素子 45 に入射される。そして、蛍光 Y L は、偏光分離素子 45 を照明光軸 A x 2 に沿って通過する。

【0032】

〔第 2 位相差素子の構成〕

第 2 位相差素子 47 は、偏光分離素子 45 と第 2 集光素子 48 との間に配置されている。第 2 位相差素子 47 は、 $1/4$ 波長板であり、偏光分離素子 45 を通過した p 偏光の青色光 L 2 p は、第 2 位相差素子 47 によって円偏光の青色光 L 2 c に変換された後、第 2 集光素子 48 に入射される。

【0033】

〔第 2 集光素子の構成〕

第 2 集光素子 48 は、第 2 位相差素子 47 から入射される青色光 L 2 c を拡散反射装置 49 に集光する。また、第 2 集光素子 48 は、拡散反射装置 49 から入射される青色光 L 2 c を平行化する。なお、第 2 集光素子 48 を構成するレンズの数は、適宜変更可能である。

【0034】

〔拡散反射装置の構成〕

拡散反射装置 49 は、波長変換装置 5 から出射される蛍光 Y L と同様の拡散角で、第 2 集光素子 48 から入射された青色光 L 2 c を、偏光分離素子 45 に向けて拡散反射させる。拡散反射装置 49 の構成として、入射された青色光 L 2 c をランバート反射させる反射板と、反射板を照明光軸 A x 1 と平行な回転軸を中心として回転させる回転装置とを備える構成を例示できる。光源装置 4 において、この種の拡散反射装置 49 を用いて青色光 L 2 c を拡散反射させることによって、均一な照度分布を有する青色光を得られる。

【0035】

図 2 に示すように、拡散反射装置 49 にて拡散反射された青色光 L 2 c は、第 2 集光素子 48 を通過した後、再び第 2 位相差素子 47 に入射される。青色光 L 2 c は、拡散反射装置 49 にて反射される際に、回転方向が反対方向の円偏光に変換される。このため、第 2 集光素子 48 から第 2 位相差素子 47 に入射される青色光 L 2 c は、第 2 位相差素子 47 によって、偏光分離素子 45 から第 2 位相差素子 47 に入射される p 偏光の青色光 L 2 c ではなく、s 偏光の青色光 L 2 s に変換される。そして、s 偏光の青色光 L 2 s は、偏光分離素子 45 にて反射されて、蛍光 Y L とともに照明光軸 A x 2 に沿って、上記した均一化装置 31 に入射される。

【0036】

〔波長変換素子の構成〕

図 3 は、波長変換素子 51 を励起光の入射側から見た平面図である。図 4 は、波長変換素子 51 の断面を模式的に示す図である。

波長変換素子 51 は、励起光の波長とは異なる波長を有する光である蛍光を、励起光の入射側に出射する反射型の波長変換素子である。波長変換素子 51 は、図 3 及び図 4 に示すように、基板 52、放熱シート 53、蛍光体層 54 及び反射防止層 55 を有する。なお、波長変換素子 51 は、後述する製造方法によって製造される。

なお、以降の説明及び図においては、波長変換素子 51 に入射される青色光 L 1 s を、波長変換素子 51 に含まれる蛍光体粒子を励起させる励起光と記載する。また、波長変換素子 51 に対する励起光の入射方向を + Z 方向とし、+ Z 方向とは反対方向を - Z 方向とする。

【0037】

〔基板の構成〕

基板 5 2 は、放熱シート 5 3、蛍光体層 5 4 及び反射防止層 5 5 を保持する保持部材である他、蛍光体層 5 4 から伝達される熱を放熱する放熱部材でもある。基板 5 2 は、図 3 に示すように、例えばアルミナや酸化亜鉛の少なくともいずれかを含む金属材料によって、 $-Z$ 方向から見て円板状に形成されている。基板 5 2 は、回転部 RT によって回転軸 Rx を中心として、放熱シート 5 3、蛍光体層 5 4 及び反射防止層 5 5 とともに回転される。

基板 5 2 は、図 4 に示すように、 $-Z$ 方向の面である第 1 面 5 2 1 と、 $+Z$ 方向の面である第 2 面 5 2 2 と、を有する。

第 1 面 5 2 1 は、蛍光体層 5 4 と対向する対向面である。

第 2 面 5 2 2 は、第 1 面 5 2 1 とは反対側の面である。第 2 面 5 2 2 には、放熱シート 5 3 が接着されており、蛍光体層 5 4 で発生した熱は基板 5 2 を介して、放熱シート 5 3 に伝えられ、伝えられた熱は放熱シート 5 3 全体に伝えられる。放熱シート 5 3 は、周囲の気体との接触面積を拡大することによって、基板 5 2 に伝達された熱の放熱効率を高めている。放熱シート 5 3 は、例えばアルミニウムやグラファイト等により構成される。

基板 5 2 は、サブミクロンオーダーのアルミナ粉末を低温で焼成して内部に微小な気孔を体積比で 20% 程度含んだ焼結体であり、蛍光体層 5 4 から入射される光を、蛍光体層 5 4 側に反射する。

【0038】

〔蛍光体層の構成〕

蛍光体層 5 4 は、基板 5 2 に対して励起光の入射側である $-Z$ 方向に設けられている。蛍光体層 5 4 は、入射される励起光を蛍光に変換して出射する。換言すると、蛍光体層 5 4 は、入射される励起光を波長変換して、励起光の波長より長い波長を有する光である蛍光を生成して出射する。蛍光体層 5 4 は、図 3 に示すように、 $-Z$ 方向から見て、波長変換素子 5 1 の回転軸 Rx を中心とする円環状に形成されている。

【0039】

蛍光体層 5 4 は、図 4 に示すように、 $-Z$ 方向の面である第 1 面 5 4 1 と、 $+Z$ 方向の面であり、第 1 面 5 4 1 とは反対側の面である第 2 面 5 4 2 と、を有する。

第 1 面 5 4 1 は、励起光が入射される入射面であり、蛍光が出射される出射面である。

第 2 面 5 4 2 は、基板 5 2 と対向する対向面である。

【0040】

図 5 は、蛍光体層 5 4 及び反射防止層 5 5 の一部を拡大して示す模式図である。換言すると、図 5 は、蛍光体層 5 4 を構成する複数の蛍光体粒子 $P1$ 及びバインダー BN と、反射防止層 5 5 とを模式的に示す断面図である。

蛍光体層 5 4 は、図 5 に示すように、複数の蛍光体粒子 PR と、ガラスを含有するバインダー BN とを含み、複数の蛍光体粒子 PR がバインダー BN によって互いに結合された構成を有する。具体的に、隣り合う 2 つの蛍光体粒子 PR は、それぞれの表面の一部に接合されるバインダー BN によって互いに結合されている。

【0041】

蛍光体粒子 PR は、蛍光体材料と、発光中心となる賦活剤とを含有する粒子である。賦活剤としては、例えば Ce 、 Eu 、 Pr 、 Cr 、 Gd 及び Ga が挙げられる。蛍光体材料としては、 YAG 蛍光体材料を採用できる。しかしながら、これに限らず、蛍光体材料は、 YAG 蛍光体材料に代えて、 YAG 蛍光体における Y が Lu 、 Gd 又は Ga で置換された蛍光体材料を採用してもよく、 KSF 蛍光体材料、又は、 $SCASN$ 蛍光体材料等を採用してもよい。更に、蛍光体材料は、複数の蛍光体材料の混合物であってもよい。

バインダー BN は、複数の蛍光体粒子 PR のうち、隣り合う蛍光体粒子 PR のそれぞれの表面の一部に接合して、隣り合う蛍光体粒子 PR を結合させる。本実施形態では、バインダー BN として、ホウケイ酸ガラスが用いられているが、リン酸塩系ガラスであってもよい。

なお、蛍光体層 5 4 の内部には、微小な空隙 SP が設けられている。このような空隙 SP が含まれていることによって、蛍光体層 5 4 内部での蛍光の広がりを抑え、蛍光体層 5 4 からの蛍光を小さい範囲で取り出すことによって、光学系の集光効率が高められる。

10

20

30

40

50

反射防止層５５は、図４に示すように、少なくとも蛍光体層５４において励起光が入射される入射面である第１面５４１に設けられており、例えば単層又は多層の誘電体膜によって構成される。すなわち、反射防止層５５は、蛍光体層５４に対する励起光の入射側に設けられている。反射防止層５５は、波長変換素子５１に入射される励起光が第１面５４１にて反射されることを抑制することによって、励起光を蛍光体層５４に入射させやすくする。

10

【 0 0 4 3 】

図6は、バインダーBNによる蛍光体粒子PRの結合状態を示す模式図である。換言すると、図6は、隣り合う蛍光体粒子PR（PR1，PR2）がバインダーBNによって結合された状態を示す模式図である。

20

図 7 は、蛍光体粒子 P R の表面積に占める結合部 B 1 の面積の割合に対する光学装置 3 0 における光学系での明るさ及び光の広がりを示すグラフである。

30

【 0 0 4 5 】

40

すなわち、光学系での明るさは、面積割合が10%以下であるときに0%であるときよりも高くなり、面積割合が3%以上、5%以下の範囲内にあるときに最大となることが分かった。

50

下の理由によると考えられる。

蛍光体粒子 P R の屈折率は、約 1.8 である。これに対し、バインダー B N を構成するホウケイ酸ガラスの屈折率は、約 1.5 である。

このことから、蛍光体粒子 P R の内部にて生成されて結合部 B 1 に入射された蛍光は、結合部 B 1 からバインダー B N を伝わって、隣り合う蛍光体粒子 P R 内に進行する。

一方、蛍光体層 5 4 の内部には空隙 S P が設けられていることから、蛍光体粒子 P R の外面において結合部 B 1 以外の領域は、空気と接している。このため、フレネルの式に従い、蛍光体粒子 P R の内部にて生成されて、蛍光体粒子 P R の外面において結合部 B 1 以外の領域に入射された蛍光は、屈折して大部分が蛍光体粒子 P R の外部に出射されて一部が内部に反射するか、或いは、蛍光体粒子 P R 内部に全反射される。

10

【0047】

面積割合が大きい場合、結合部 B 1 に入射される蛍光の光量が多くなる。すなわち、面積割合が大きい場合、結合部 B 1 を介してバインダー B N を伝える蛍光の光量が多くなる。この場合、蛍光体粒子 P R の屈折率とバインダー B N の屈折率との差が小さく、蛍光体粒子 P R とバインダー B N との界面での屈折が小さいため、蛍光が周辺の蛍光体粒子 P R に広がりやすくなる。このため、蛍光体層 5 4 の第 1 面 5 4 1 から外部に、大きな広がり

の光源として蛍光が出ていく。これにより、光学系である光学装置 3 0 の光変調装置 3 4 3 に、蛍光体層 5 4 から出射された蛍光を集光しにくくなる。すなわち、この場合には、光学系での明るさが低くなる。

20

【0048】

面積割合が小さい場合、蛍光体粒子 P R の内部にて生成された蛍光は、蛍光体粒子 P R の外面において結合部 B 1 以外の領域、すなわち、空気との界面に入射されやすくなる。このため、蛍光体粒子 P R と空気との界面にて屈折されて蛍光体粒子 P R から出射される蛍光の光量、及び、全反射される蛍光の光量が多くなることから、周辺の広範囲の蛍光体粒子 P R に蛍光が広がることが抑制され、蛍光体層 5 4 の第 1 面 5 4 1 から外部に、小さな広がり

の光源として蛍光が出ていく。このような蛍光は、光変調装置 3 4 3 に集光しやすい。すなわち、この場合には、光学系での明るさが高くなる。

30

【0049】

一方、面積割合が、例えば 1 % 以下の値のような非常に小さい値である場合、蛍光が蛍光体粒子 P R の内部に閉じ込められやすくなる。この場合には、空隙 S P との界面での蛍光の反射が繰り返されやすくなって、蛍光の光路長が大きくなる。このように、蛍光体粒子 P R 内を蛍光が何度も通ることで、自己吸収が生じやすくなる。自己吸収とは、蛍光体の発光波長が蛍光体の吸収波長と部分的に重なっているために、蛍光体が蛍光を吸収して発熱する現象である。このような自己吸収が生じると、蛍光体層 5 4 から出射される蛍光の光量が減少し、ひいては、光学系での明るさが低くなる。

【0050】

他方、蛍光体粒子 P R における空気との界面での反射及び屈折の頻度が高くなると、蛍光体層 5 4 の外部から照射される励起光が、蛍光体粒子 P R の表面、或いは、蛍光体粒子 P R の内部にて反射されやすくなる。蛍光に変換されることなく、蛍光体層 5 4 の外部に放射される励起光の光量が大きくなる。すなわち、励起光の後方散乱（バックスキッタ）が生じやすくなる。この場合には、蛍光に変換される励起光の光量が減少することによって、蛍光体層 5 4 から出射される蛍光の光量が減少し、ひいては、光学系での明るさが低くなり得る。

40

【0051】

このような考察から、光学系での明るさを高くするためには、面積割合は、10 % 以下の値であることが好ましく、3 % 以上、5 % 以下の値であることがより好ましいことが分かった。

【0052】

[蛍光体粒子におけるバインダーとの結合部の大きさ]

本実施形態では、蛍光体粒子 P R の表面積に対する結合部 B 1 の面積の割合を 10 % 以

50

下にするために、結合部 B 1 の大きさが以下の大きさになるように、蛍光体層 5 4 を作製している。なお、以下の説明では、図 6 に示すように、複数の蛍光体粒子 P R のうち、バインダー B N によって結合され、かつ、互いに隣り合う蛍光体粒子を蛍光体粒子 P R 1 , P R 2 とする。また、蛍光体粒子 P R 1 におけるバインダー B N との結合部 B 1 を、結合部 B 1 1 とし、蛍光体粒子 P R 2 におけるバインダー B N との結合部 B 1 を結合部 B 1 2 とする。更に、蛍光体粒子 P R 1 , P R 2 の各中心 C 1 , C 2 を結ぶ仮想線 V L に直交し、かつ、互いに直交する二軸を X 軸及び Y 軸とする。

【 0 0 5 3 】

本実施形態では、結合部 B 1 1 の Y 軸における寸法は、蛍光体粒子 P R 1 の直径 D 1 1 の $1/4$ 以下とされ、図示を省略するが、結合部 B 1 1 の X 軸における寸法は、蛍光体粒子 P R 1 の直径 D 1 1 の $1/4$ 以下とされている。換言すると、結合部 B 1 1 の Y 軸における寸法は、蛍光体粒子 P R 1 の Y 軸における大きさの $1/4$ 以下とされ、図示を省略するが、結合部 B 1 1 の X 軸における寸法は、蛍光体粒子 P R 1 の X 軸における大きさの $1/4$ 以下とされている。

同様に、結合部 B 1 2 の Y 軸における寸法は、蛍光体粒子 P R 2 の直径 D 1 2 の $1/4$ 以下とされ、図示を省略するが、結合部 B 1 2 の X 軸における寸法は、蛍光体粒子 P R 2 の直径 D 1 2 の $1/4$ 以下とされている。換言すると、結合部 B 1 2 の Y 軸における寸法は、蛍光体粒子 P R 2 の Y 軸における大きさの $1/4$ 以下とされ、図示を省略するが、結合部 B 1 2 の X 軸における寸法は、蛍光体粒子 P R 2 の X 軸における大きさの $1/4$ 以下とされている。

更に、バインダー B N の厚み、すなわち、仮想線 V L に沿うバインダー B N の寸法は、蛍光体粒子 P R の直径の $1/10$ 以下とされている。

このように、結合部 B 1 の寸法が上記の大きさであることにより、上記割合が 1 0 % 以下の値となり、光学系での明るさを高くすることができる。

【 0 0 5 4 】

〔計算による結合部の大きさ〕

光学系での明るさを高める上記面積割合は、蛍光体粒子 P R の直径に基づく計算結果からも裏付けられる。

蛍光体層 5 4 に含まれる蛍光体粒子 P R を球状と仮定した場合、半径 R の蛍光体粒子 P R の表面積は、 $4\pi \cdot R^2$ である。

一方、粒径が略揃った球形の蛍光体粒子 P R が密に配列されている場合、単位体積当たりの蛍光体粒子 P R の充填率は、一般的に 6 0 ~ 7 5 % である。この場合、1 つの蛍光体粒子 P R が接する他の蛍光体粒子 P R の数は、8 ~ 1 2 である。

【 0 0 5 5 】

1 つの蛍光体粒子 P R が接する他の蛍光体粒子 P R の数を 8 と仮定し、バインダー B N を、厚み t で半径 r の円柱と仮定した場合、結合部 B 1 の総面積は、 $8\pi \cdot r^2$ である。なお、バインダー B N の厚みは、図 6 に示した仮想線 V L に沿う寸法である。

これらのことから、上記面積割合は、 $8\pi \cdot r^2 / (4\pi \cdot R^2)$ となる。すなわち、上記面積割合は、 $2r^2 / R^2$ となる。

【 0 0 5 6 】

蛍光体粒子 P R の半径 R を $12\mu\text{m}$ と仮定し、蛍光体粒子 P R の表面積に占める結合部 B 1 の割合を、上記した実験結果から 5 % ($= 0.05$) と仮定した場合、結合部 B 1 の半径 r は、略 $1.89\mu\text{m}$ となる。すなわち、蛍光体粒子 P 1 における結合部 B 1 の形状を円とした場合の結合部 B 1 の半径 r は、略 $2\mu\text{m}$ となり、結合部 B 1 の直径は、略 $4\mu\text{m}$ となる。また、1 つの蛍光体粒子 P R が接する他の蛍光体粒子 P R の数を 1 2 と仮定すれば、結合部 B 1 の半径 r は、略 $3\mu\text{m}$ となり、結合部 B P の直径は、略 $6\mu\text{m}$ となる。よって、結合部 B 1 の半径 r は、略 $2 \sim 3\mu\text{m}$ であり、結合部 B 1 の直径は、略 $4 \sim 6\mu\text{m}$ である。

このような計算によって求められる結合部 B 1 の直径は、上記仮定に基づく蛍光体粒子 P R の直径 $24\mu\text{m}$ の $1/4$ 以下の値である。換言すると、結合部 B 1 の X 軸及び Y 軸に

おける寸法は、蛍光体粒子 P R の直径の $1/4$ 以下の値である。

以上のように、蛍光体粒子 P R の直径に対して結合部 B 1 の寸法を上記した大きさにすることによって、上記面積割合を 10 % 以下にすることができ、ひいては、光学系での明るさを高くできる。

このような結合部 B 1 の大きさは、詳しくは後述するが、蛍光体層 5 4 を製造する際の温度を調整することによって実現できる。これについては、波長変換素子 5 1 の製造方法にて説明する。

【0057】

〔蛍光体層におけるガラス含有率〕

図 8 は、蛍光体層 5 4 のガラス含有率と光学系効率との関係を示すグラフである。

なお、ガラス含有率は、蛍光体層 5 4 においてバインダー B N の体積割合（vol %）により表される。具体的に、ガラス含有率は「 $100 \times \text{ガラスの体積} / (\text{ガラスの体積} + \text{蛍光体粒子の体積})$ 」であり、空隙 S P の体積は含まれていない。

すなわち、ここでいうガラス含有率は、作製後の波長変換素子 5 1 の実測値ではなく、後述する波長変換素子 5 1 の製造工程におけるペースト調製工程 S 1 及び蛍光体混合工程 S 2（図 14 参照）でのバインダー B N 及び蛍光体粒子 P R の投入量の体積割合に基づく値である。

【0058】

一方、光学系効率は、「蛍光体層 5 4 から出射されて光学系である光学装置 3 0 を透過した後、投射光学装置 3 6 から出射した光の光量 / 蛍光体層 5 4 に照射された励起光の光量」である。このため、光学系効率は、「蛍光体層 5 4 から出射されて光学装置 3 0 に入射した光の光量 / 蛍光体層 5 4 に照射された励起光の光量」ではなく、「蛍光体層 5 4 から出射された光の光量 / 蛍光体層 5 4 に照射された励起光の光量」により示される波長変換効率でもない。

すなわち、光学系効率は、エテンデュールを含んだ効率であり、プロジェクター 1 の光学装置 3 0 における光利用効率と言い換えることができる。

【0059】

図 8 に示されるように、本実施形態に係る蛍光体層 5 4 において、ガラス含有率が 0 vol % より大きく、10 vol % 以下の範囲内では、ガラス含有率が 0 vol % であるときに比べて、光学系効率が高くなっている。そして、ガラス含有率が 10 vol % であると、光学系効率は、ガラス含有率が 0 vol % であるときと略同じ値となる。

ガラス含有率が 10 vol % を超えると、ガラス含有率が 0 vol % であるときに比べて、光学系効率が低下する。これは、上記のように、蛍光体粒子 P R とバインダー B N との界面にて、蛍光が反射及び屈折をすることによる損失は低下する一方で、蛍光が蛍光体層 5 4 中を広がり、蛍光が蛍光体層 5 4 から出射される際の光の広がりが大きくなり、光学系である光学装置 3 0 にて利用できる光量が低下して、測定値の差として表れたものと考えられる。また、0 ~ 10 % との間でピークを示すのは、バインダー B N が極端に少ないと、蛍光体粒子 P R と空隙 S P（空気）との界面にて、励起光が何回も反射及び屈折を繰り返すことによって、当該励起光が蛍光体を励起する前に、蛍光体層 5 4 から放出されてしまうことによるものと考えられる。

【0060】

図 9 は、ガラス含有率が 30 vol % であり、蛍光体層の焼成温度が 1000 °C である蛍光体層を SEM（Scanning Electron Microscope：走査型電子顕微鏡）により観察した際の画像である。以下、SEM によって観察される画像を SEM 画像と略す。

図 10 は、ガラス含有率が 20 vol % であり、蛍光体層の焼成温度が 1000 °C である蛍光体層の SEM 画像である。図 11 は、ガラス含有率が 10 vol % であり、蛍光体層の焼成温度が 1000 °C である蛍光体層の SEM 画像である。図 12 は、ガラス含有率が 5 vol % であり、蛍光体層の焼成温度が 1000 °C である蛍光体層の SEM 画像である。図 13 は、ガラス含有率が 3 vol % であり、蛍光体層の焼成温度が 1000 °C である蛍光体層の SEM 画像である。

【0061】

ガラス含有率が30vol%及び20vol%である蛍光体層では、図9及び図10に示すように、全ての蛍光体粒子PRの表面がバインダーBNによって略完全に覆われている。特に、図9に示されるガラス含有率が30vol%である蛍光体層では、各蛍光体粒子PRはバインダーBNの中に埋没されている。このように蛍光体粒子PRが、ホウケイ酸ガラスであるバインダーBNによって覆われると、上記のように、蛍光体粒子PRにて生成された蛍光がバインダーBNを伝播しやすくなり、蛍光体層から出射される光の広がりが大きくなって、光学系効率が低下する。

【0062】

これに対し、ガラス含有率が10vol%、5vol%及び3vol%である蛍光体層では、図11～図13に示すように、バインダーBNは、隣り合う蛍光体粒子PRの間に設けられ、蛍光体粒子PRは、バインダーBNによって完全には覆われていない。特に、ガラス含有率が5vol%及び3vol%である蛍光体層では、図12及び図13に示すように、バインダーBNは、隣り合う蛍光体粒子PRの間にのみ設けられ、蛍光体粒子PRの表面は、ほぼ露出されている。

このように、バインダーBNによって、隣り合う蛍光体粒子PRが表面の一部にて結合され、他の部分が露出されていることにより、蛍光体層から出射される光の広がりが小さくなり、光学系効率が高められる。

従って、ガラス含有率は、0vol%より大きく、10vol%以下の範囲内の値であることにより、ガラス含有率が0vol%のとき、及び、ガラス含有率が10vol%より大きい場合に比べて、光学系効率を高められる蛍光体層を構成できる。

【0063】

〔波長変換素子の製造方法〕

図14は、波長変換素子51の製造方法を示すフローチャートである。

上記した蛍光体層54を含む波長変換素子51の製造方法について、説明する。

波長変換素子51の製造方法は、図14に示すように、順に実施されるペースト調製工程S1、蛍光体混合工程S2、印刷版作成工程S3、塗布工程S4、乾燥工程S5、焼成工程S6、冷却工程S7及び層形成工程S8を含む。すなわち、以下に示す波長変換素子51の製造方法は、本発明の製造方法を含む。

【0064】

ペースト調製工程S1及び蛍光体混合工程S2は、調製工程に相当する。

ペースト調製工程S1は、焼成後にバインダーBNとなるバインダー構成物と、エチルセルロース等の樹脂と、バインダー構成物及び樹脂を溶かす溶剤とを混合して、ガラスペーストを調製する工程である。なお、樹脂は、ペーストに粘性を付与するためのものである。また、バインダー構成物としては、例えばシリカが60%以上含まれるホウケイ酸ガラスを直径1μm以下に砕いたものが挙げられる。

蛍光体混合工程S2は、調製されたガラスペースト中に蛍光体粒子PRを混合した混合ペーストを調製する工程である。蛍光体粒子PRとバインダー構成物であるホウケイ酸ガラスとの割合は、体積比で98:2～92:8の範囲内の割合とする。なお、当該範囲は、98:2及び92:8を含む範囲である。より好ましくは、蛍光体粒子PRとホウケイ酸ガラスとの割合は、体積比で97:3～95:5の範囲内の割合とする。当該範囲は、97:3及び95:5を含む範囲である。このように蛍光体粒子PRとホウケイ酸ガラスとの割合を調整することによって、ガラス含有率を上記範囲内の値に設定できる。

【0065】

印刷版作成工程S3は、円形の形状に印刷が抜けるように印刷版を作製する。

塗布工程S4は、作製された印刷版を用いて、円板形状の反射板上に、蛍光体混合工程S2にて調製された混合ペーストを厚さ80μmで印刷塗布する。反射板は、内部に反射用の微小気孔が設けられた基板52である。

乾燥工程S5では、塗布された混合ペーストを100℃程度で短時間乾燥させる。

【0066】

焼成工程 S 6 では、乾燥された混合ペーストを、焼成炉にて 1000°C まで $10^{\circ}\text{C}/\text{分}$ の割合で昇温しつつ、短時間焼成する。焼成工程 S 6 にて混合ペーストを焼成すると、混合ペーストに含まれていた樹脂及び溶剤の略全てが蒸発する。なお、焼成工程 S 6 での焼成温度については、後に詳述する。

冷却工程 S 7 では、焼成された混合ペーストを冷却する。

【0067】

層形成工程 S 8 では、冷却工程 S 7 にて冷却された混合ペーストである蛍光体層 5 4 に反射防止層 5 5 を形成する。具体的に、層形成工程 S 8 では、蛍光体層 5 4 において基板 5 2 とは反対側の面であり、励起光が入射される第 1 面 5 4 1 に蒸着等によって誘電体膜を形成し、これにより、第 1 面 5 4 1 に反射防止層 5 5 を形成する。あるいは、蛍光体層 5 4 の上部の曲面や蛍光体層 5 4 の内部の表面につける方法として、CVD (Chemical Vapor Deposition) や ALD (Atomic Layer Deposition) を用いることができる。これにより蛍光体層 5 4 の内部まで誘電体物質である、 SiO_2 や TiO_2 の気体を蛍光体層 5 4 の内部に行き届かせて成膜することが可能である。それにより、励起光が蛍光体層 5 4 の内部に至っても、蛍光体粒子 P R の表面で反射されるのを防ぎ、より多くの励起光を蛍光へと変換することができる。

以上の各工程 S 1 ~ S 8 を含む製造方法によって、上記面積割合及びガラス含有率が 0 % より大きく、10 % 以下である蛍光体層 5 4 を有する波長変換素子 5 1 が製造される。

【0068】

〔焼成工程での焼成温度とガラスの粘度との関係〕

図 1 5 は、焼成温度とガラスの粘度との関係を示すグラフである。

ガラスの粘度は、図 1 5 に示すように、温度が高くなるに従って低下し、ガラスの粘性による力は、粘度が小さくなるに従って弱くなる。そして、ガラスが自重で顕著に軟化変形し始める温度であり、粘度が約 $10^{7.6} \text{ dPa} \cdot \text{s}$ となる温度である軟化点を 700°C とすると、上記焼成工程 S 6 の焼成温度を軟化点 + 100°C である 800°C 以上にする事により、ガラスの粘度は、 $10^6 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ ($= 10^6 \text{ P}$) 以下となる。

【0069】

以下、ガラス含有率が 5 vol % である混合ペーストを各焼成温度で焼成して作製される蛍光体層の SEM 画像を以下に示す。

すなわち、図 1 6 は、ガラス含有率が 5 vol % であり、 750°C で焼成されて作製された蛍光体層を示す SEM 画像である。図 1 7 は、ガラス含有率が 5 vol % であり、 800°C で焼成されて作製された蛍光体層を示す SEM 画像である。図 1 8 は、ガラス含有率が 5 vol % であり、 850°C で焼成されて作製された蛍光体層を示す SEM 画像である。図 1 9 は、ガラス含有率が 5 vol % であり、 900°C で焼成されて作製された蛍光体層を示す SEM 画像である。図 2 0 は、ガラス含有率が 5 vol % であり、 950°C で焼成されて作製された蛍光体層を示す SEM 画像である。

なお、上記のように、図 1 2 には、ガラス含有率が 5 vol % であり、 1000°C で焼成されて作製された蛍光体層の SEM 画像が示されている。

【0070】

ガラスの軟化点に近い 750°C にて焼成された蛍光体層では、図 1 6 に示すように、蛍光体粒子 P R の直径に対する結合部 B 1 の大きさは、上記と同様である。すなわち、蛍光体粒子 P R の直径に対する結合部 B 1 の大きさは、蛍光体粒子 P R の直径の $1/4$ 以下である。しかしながら、バインダー B N が粒状となっている他、表面が滑らかでないことから、バインダー B N に入射した蛍光及び励起光が散乱しやすい。蛍光及び励起光の散乱が多くなると、蛍光の光路長が大きくなり、蛍光の光路長が増えると、上記のように、蛍光体粒子 P R による自己吸収の発生頻度が増加すること、及び、励起光が蛍光体粒子 P R を励起せずに蛍光体層 5 4 から外部に反射してしまうことにより、蛍光の光量が減少する。

このため、 750°C で焼成された蛍光体層では、蛍光体層から出射される蛍光の光量が減少し、上記した光学系効率低下しやすい。

【0071】

これに対し、 800°C にて焼成された蛍光体層では、図17に示すように、蛍光体粒子PRの直径に対する結合部B1の大きさは、上記と同様である。すなわち、蛍光体粒子PRの直径に対する結合部B1の大きさは、蛍光体粒子PRの直径の $1/4$ 以下である。しかしながら、 800°C にて焼成された蛍光体層での結合部B1の大きさは、 750°C にて焼成された蛍光体層での結合部B1の大きさよりも小さくなる。この他、焼成温度が軟化点より 100°C 高く、粘度が十分に低いことから、バインダーBNの表面が滑らかになっており、バインダーBNに入射した蛍光が散乱しにくい。また、図17に示すように、焼成温度が 800°C である場合には、ガラスの粘度は、 $10^6 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ ($=10^6 \text{ P}$) 以下となり、粘度が十分に低いため、バインダーBNの表面が滑らかになっており、バインダーBNに入射した蛍光が散乱しにくい。このため、 750°C で焼成された蛍光体層に対し、蛍光体粒子PRによる自己吸収の発生が抑制され、蛍光の光量の低下が抑制される。

【0072】

このようなことは、図18～図20に示す 850°C 、 900°C 及び 950°C にて焼成された蛍光体層、並びに、図12に示した 1000°C で焼成された蛍光体層でも、同様のことが言える。すなわち、焼成温度が高くなるに従ってガラスの粘度は低くなることから、結合部B1の大きさが小さくなる他、結合される蛍光体粒子PR間を結ぶ方向の寸法であるバインダーBNの厚みも小さくなる。更に、蛍光体層におけるバインダーBNの表面が、より平滑になり、蛍光の散乱が一層抑制される。 1000°C を超える温度で焼成された蛍光体層でも同様と考えられる。

特に、焼成温度が 900°C 以下となると、粘度は $10^5 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 以下となり、ガラスの流動性が高まり、バインダーBNは流線型となって隣り合う蛍光体粒子PRとで接着されている光学的にも熱伝導的にも望ましい状態となる。更に、焼成温度が 1000°C となると、粘度は $10^4 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ となり、ほぼ完全な流動性での接着状態となっていることが図12よりわかる。

【0073】

一方で、上記焼成工程S6での焼成温度を 1100°C 以上にすると、蛍光体の賦活剤であるCeイオンが酸化されて失活する。このため、製造工程の点で言えば、焼成工程S6での焼成温度は、 800°C 以上、 1100°C 以下（軟化点よりも 100°C 以上、 400°C 以下）が、より好ましい。このうち、焼成工程S6での焼成温度が 900°C 以上、 1100°C 以下（軟化点よりも 200°C 以上、 400°C 以下）であれば、粘度 $10^5 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 以下を好適に実現できる。更に、焼成工程S6での焼成温度が 950°C 以上、 1050°C 以下（軟化点よりも 250°C 以上、 350°C 以下）であることが、より望ましい。これは、粘度 $10^4 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ を実現する温度であり、蛍光体層がより高発光効率であり、光学装置30を含めての上記光学系効率が高い。

【0074】

〔第1実施形態の効果〕

以上説明した本実施形態に係るプロジェクター1及び波長変換素子51の製造工程によれば、以下の効果を奏することができる。

プロジェクター1は、光源装置4と、光源装置4から出射された光を画像情報に応じて変調する光変調装置343（343B，343G，343R）と、光変調装置343によって変調された光を投射する投射光学装置36と、を備える。光源装置4は、励起光を出射する光源411と、励起光を波長変換して、励起光の波長より長い波長を有する蛍光を生成する波長変換素子51と、を備える。波長変換素子51は、複数の蛍光体粒子PRと、複数の蛍光体粒子PRのうち互いに隣り合う一方の蛍光体粒子PR1と互いに隣り合う他方の蛍光体粒子PR2とを結合するバインダーBNとを有する蛍光体層54と、蛍光体層54に対する励起光の入射側に設けられる反射防止層55と、蛍光体層54が設けられる基板52と、を備える。バインダーBNは、ガラスを含有し、バインダーBNは、一方の蛍光体粒子PR1の表面の一部と他方の蛍光体粒子PR2の表面の一部とを結合する。

【0075】

このような構成によれば、バインダーBNは、蛍光体粒子PRの表面の全てに接合する

のではなく、蛍光体粒子P Rにおける表面の一部にのみ接合する。このことから、蛍光体粒子P Rの表面においてバインダーB Nと接合される結合部B 1の面積を小さくすることができる。換言すると、蛍光体粒子P Rの表面において空隙S P（空気）と接する領域の面積を大きくできる。これにより、バインダーB Nを伝播する蛍光の光量を低下させることができるので、蛍光体層5 4、ひいては、波長変換素子5 1から出射される光の広がりを小さくすることができる。従って、光学系である光学装置3 0での明るさを高めることができ、上記光学系効率を高めることができる。

【0076】

また、蛍光体層5 4に対する励起光の入射側には、反射防止層5 5が設けられている。具体的に、蛍光体層5 4において励起光の入射面である第1面5 4 1には、反射防止層5 5が設けられている。これによれば、波長変換素子5 1に入射される励起光を蛍光体層5 4に入射させやすくすることができ、第1面5 4 1にて反射されて蛍光体層5 4に入射されない励起光の光量を低減できる。従って、反射防止層5 5が設けられていない波長変換素子5 1に比べて、波長変換素子5 1の波長変換効率を高めることができ、波長変換素子5 1から出射される蛍光の光量を増加させることができる。

【0077】

蛍光体層5 4の作製時において、蛍光体粒子P Rの体積の合計とバインダーB Nの体積の合計とを合計した体積に対するバインダーB Nの体積の割合は、0 vol %より大きく、10 vol %以下である。すなわち、蛍光体層5 4の作製時に調製される混合ペーストにおけるガラス含有率は、0 vol %より大きく、10 vol %以下である。

このような構成によれば、上記したように、蛍光体粒子P Rの表面においてバインダーB Nとの接合される結合部B 1の面積を小さくすることができる。これにより、バインダーB N内を伝播する蛍光の光量を小さくすることができ、蛍光体層5 4、ひいては、波長変換素子5 1から出射される蛍光の広がりを小さくすることができる。従って、光学系である光学装置3 0での明るさを高めることができ、上記光学系効率を高めることができる。

【0078】

波長変換素子の製造方法は、蛍光体粒子とガラスを含むバインダーとを混合した混合物を調製する調製工程と、前記混合物を基板に塗布する塗布工程と、前記混合物が塗布された前記基板を焼成する焼成工程と、焼成された前記混合物における前記基板とは反対側の面に反射防止層を形成する層形成工程と、を含み、前記焼成工程における焼成温度は、前記ガラスの軟化点より100℃以上高い。具体的に、波長変換素子5 1の製造方法は、調製工程であるペースト調製工程S 1及び蛍光体混合工程S 2と、塗布工程S 4と、焼成工程S 6と、層形成工程S 8と、を含む。ペースト調製工程S 1及び蛍光体混合工程S 2では、蛍光体粒子P 1とガラスを含むバインダーとを混合した混合物である混合ペーストを調製する。塗布工程S 4では、混合ペーストを基板5 2に塗布する。焼成工程S 6では、混合ペーストが塗布された基板5 2を焼成する。層形成工程S 8では、焼成された混合ペーストである蛍光体層5 4における基板5 2とは反対側の第1面5 4 1に反射防止層5 5を形成する。そして、焼成工程S 6における焼成温度は、ガラスの軟化点より100℃以上高い。

【0079】

換言すると、波長変換素子の製造方法であって、蛍光体粒子とガラスを含むバインダーとを混合した混合物を調製する調製工程と、前記混合物を基板に塗布する塗布工程と、前記混合物が塗布された前記基板を焼成する焼成工程と、焼成された前記混合物における前記基板とは反対側の面に反射防止層を形成する層形成工程と、を含み、前記焼成工程における前記ガラスの粘度は、 $10^6 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 以下である。具体的に、波長変換素子5 1の製造方法は、それぞれ上記したペースト調製工程S 1、蛍光体混合工程S 2、塗布工程S 4、焼成工程S 6及び層形成工程S 8を含み、焼成工程S 6におけるガラスの粘度は、 $10^6 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 以下である。

【0080】

[第2実施形態]

次に、本発明の第2実施形態について説明する。

本実施形態に係るプロジェクターは、第1実施形態にて示したプロジェクター1と同様の構成を備えるが、波長変換素子の構成が異なる。なお、以下の説明では、既に説明した部分と同一又は略同一である部分については、同一の符号を付して説明を省略する。

【0081】

図21は、本実施形態に係るプロジェクターが備える波長変換素子51Aの断面を示す模式図である。

本実施形態に係るプロジェクターは、波長変換素子51に代えて波長変換素子51Aを有する他は、プロジェクター1と同様の構成及び機能を有する。すなわち、本実施形態においては、光源装置4は、波長変換素子51に代えて波長変換素子51Aを有する。

波長変換素子51Aは、図21に示すように、蛍光体層54に代えて蛍光体層56を有する一方で、反射防止層55を有しない他は、波長変換素子51と同様の構成及び機能を有する。すなわち、波長変換素子51Aは、基板52、放熱シート53及び蛍光体層56を有する。波長変換素子51Aは、後述する製造方法によって製造される。

【0082】

〔蛍光体層の構成〕

図22は、蛍光体層56を構成する複数の蛍光体粒子PR及びバインダーBNの結合状態を示す模式図である。また、図23は、隣り合う蛍光体粒子PRのバインダーBNによる結合状態を示す模式図である。

蛍光体層56は、蛍光体層54と同様に、入射される励起光によって励起されて、励起光の波長とは異なる波長の光である蛍光を出射する。蛍光体層56は、蛍光体層56に対して+Z方向に位置する基板52に保持される。

蛍光体層56は、-Z方向の面である第1面561と、+Z方向の面であり、第1面561とは反対側の面である第2面562と、を有する。

第1面561は、励起光が入射される入射面であり、蛍光が出射される出射面である。

第2面562は、基板52の第1面521と対向する対向面である。

【0083】

このような蛍光体層56は、複数の粒子PAと、ガラスを含有するバインダーBNと、空隙SPと、を含み、複数の粒子PAがバインダーBNによって結合されることによって構成されている。

蛍光体層56におけるガラス含有率は、蛍光体層54と同様に、0vol%より大きく、10vol%以下の範囲内の値である。なお、本実施形態におけるガラス含有率の定義は、上記と同様である。

【0084】

〔粒子の構成〕

粒子PAは、図22及び図23に示すように、蛍光体粒子PRと、蛍光体粒子PRの表面に設けられた反射防止層ARと、を有する。すなわち、蛍光体層56は、複数の蛍光体粒子PRと、複数の蛍光体粒子PRのうち隣り合う蛍光体粒子PR同士を結合するバインダーBNと、複数の蛍光体粒子PRのそれぞれの表面に設けられる反射防止層ARと、を有する。

【0085】

反射防止層ARは、蛍光体粒子PRに入射される励起光が粒子PAの表面にて反射されることを抑制することによって、励起光を蛍光体粒子PRに入射させやすくする。反射防止層ARは、後述する波長変換素子51の製造方法において、バインダーBNと混合される前に、蛍光体粒子PRの表面に形成される。このため、反射防止層ARは、蛍光体粒子PRの表面の略全面に形成される。このような反射防止層ARは、例えばフッ化マグネシウムの単層膜でもよく、酸化チタン及び酸化ケイ素が積層された多層膜でもよい。

なお、反射防止層ARが形成される蛍光体粒子PRの表面の略全面とは、蛍光体粒子PRの表面の全面を含む。すなわち、反射防止層ARは、蛍光体粒子PRの表面において略全面と言える範囲に形成されていれば、必ずしも、粒子PAの表面の全面に形成されてい

10

20

30

40

50

なくてもよい。

【0086】

粒子PAは、図23に示すように、表面の一部に、バインダーBNが接合する。換言すると、バインダーBNは、反射防止層ARが表面に設けられた蛍光体粒子PRの表面の一部に接合する。具体的に、バインダーBNは、反射防止層ARに接合する場合がある他、蛍光体粒子PRの表面に接合する場合がある。

このため、隣り合う蛍光体粒子PRのうち、一方の蛍光体粒子PR（PR3）の表面と他方の蛍光体粒子PR（PR4）の表面との間、一方の蛍光体粒子PR（PR3）の表面に設けられた反射防止層ARと他方の蛍光体粒子PR（PR4）の表面に設けられた反射防止層ARとの間、及び、一方の蛍光体粒子PR（PR3）の表面と他方の蛍光体粒子PR（PR4）の表面に設けられた反射防止層ARとの間、の少なくともいずれかを、バインダーBNは結合する。

すなわち、蛍光体粒子PRは、バインダーBNを介して他の蛍光体粒子PRと結合する結合部B2を有する。そして、蛍光体粒子PRの表面において、結合部B2以外の領域は、空隙SP（空気）と接触しているか、或いは、反射防止層ARを介して空隙SP（空気）と接触している。

【0087】

ここで、複数の粒子PAのうち、隣り合う粒子PAを粒子PA1、PA2とし、粒子PA1を構成する蛍光体粒子PRを蛍光体粒子PR3とし、粒子PA2を構成する蛍光体粒子PRを蛍光体粒子PR4とする。また、蛍光体粒子PR3における結合部B2を結合部B21とし、蛍光体粒子PR4における結合部B2を結合部B22とする。

この場合、蛍光体粒子PR3の表面積に対する結合部B21の面積の割合は、第1実施形態における面積割合と同様に、10%以下であり、詳しくは、3%以上、5%以下である。同様に、蛍光体粒子PR4の表面積に対する結合部B22の面積の割合も、10%以下であり、詳しくは、3%以上、5%以下である。

【0088】

また、結合部B21のY軸における寸法は、蛍光体粒子PR3の直径D21の $1/4$ 以下であり、図示を省略するが、結合部B21のX軸における寸法は、蛍光体粒子PR3の直径D21の $1/4$ 以下である。換言すると、結合部B21のY軸における寸法は、蛍光体粒子PR3のY軸における大きさの $1/4$ 以下であり、図示を省略するが、結合部B21のX軸における寸法は、蛍光体粒子PR3のX軸における大きさの $1/4$ 以下である。

更に、結合部B22のY軸における寸法は、蛍光体粒子PR4の直径D22の $1/4$ 以下であり、図示を省略するが、結合部B22のX軸における寸法は、蛍光体粒子PR4の直径D22の $1/4$ 以下である。換言すると、結合部B22のY軸における寸法は、蛍光体粒子PR4のY軸における大きさの $1/4$ 以下であり、図示を省略するが、結合部B22のX軸における寸法は、蛍光体粒子PR4のX軸における大きさの $1/4$ 以下である。

更に、バインダーBNの厚み、すなわち、蛍光体粒子PR3の中心と蛍光体粒子PR4の中心とを結ぶ方向におけるバインダーBNの寸法は、蛍光体粒子PRの直径の $1/10$ 以下である。

【0089】

〔波長変換素子の製造方法〕

図24は、波長変換素子51Aの製造方法を示すフローチャートである。

波長変換素子51Aの製造方法は、図24に示すように、順に実施される層形成工程SA、ペースト調製工程S1、蛍光体混合工程S2A、印刷版作成工程S3、塗布工程S4、乾燥工程S5、焼成工程S6及び冷却工程S7を含む。

【0090】

層形成工程SAは、蛍光体粒子PRに反射防止層ARを形成して、蛍光体混合工程S2Aにてバインダー構成物等と混合される粒子PAを調整する工程である。すなわち、層形成工程SAでは、蛍光体粒子PRの表面に反射防止層ARを形成する。なお、蛍光体粒子PRに反射防止層ARを形成する手法としては、原子層体積法（Atomic Layer Depositi

10

20

30

40

50

on、ALD)や多角バレル中に紛体を入れて回転させながらガスにより蛍光体粒子PRの表面に反射防止層ARをスパッタコーティングする方法を例示できる。

【0091】

ペースト調製工程S1及び蛍光体混合工程S2Aは、調製工程に相当する。

これら工程S1、S2Aのうち、蛍光体混合工程S2Aは、ペースト調製工程S1にて調製されたガラスペーストと、層形成工程SAにて反射防止層ARが形成された蛍光体粒子PRである粒子PAを、蛍光体粒子PRとバインダー構成物との割合が上記した割合となるように、混合する。

印刷版作成工程S3、塗布工程S4、乾燥工程S5、焼成工程S6及び冷却工程S7は、上記波長変換素子51の製造方法における工程S3～S7と同様である。すなわち、焼成工程S6での焼成温度は、バインダー構成物であるホウケイ酸ガラスの軟化点+100℃以上の温度である800℃以上の温度であり、好ましくは、800℃以上、1000℃以下である。そして、このような焼成温度で焼成したときのホウケイ酸ガラスの粘度は、 $10^6 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ ($=10^6 \text{ P}$) 以下である。

以上の各工程SA、S1～S7を含む製造方法によって、上記面積割合及びガラス含有率が0%より大きく、10%以下である蛍光体層56を有する波長変換素子51Aが製造される。

【0092】

〔第2実施形態の効果〕

以上説明した本実施形態に係るプロジェクターによれば、第1実施形態にて示したプロジェクター1と同様の効果を奏することができる。

すなわち、本実施形態に係るプロジェクターは、光源装置4と、光源装置4から出射された光を画像情報に応じて変調する光変調装置343(343B, 343G, 343R)と、光変調装置343によって変調された光を投射する投射光学装置36と、を備える。光源装置4は、励起光を出射する光源411と、励起光を波長変換して、励起光の波長より長い波長を有する蛍光を生成する波長変換素子51Aと、を備える。波長変換素子51Aは、複数の蛍光体粒子PRと、複数の蛍光体粒子PRのうち互いに隣り合う一方の蛍光体粒子PR(PR3)と互いに隣り合う他方の蛍光体粒子PR(PR4)とを結合するバインダーBNと、複数の蛍光体粒子PRの表面に設けられる反射防止層ARと、を有する蛍光体層56と、蛍光体層56が設けられる基板52と、を備える。バインダーBNは、ガラスを含有する。バインダーBNは、一方の蛍光体粒子PR(PR3)の表面の一部と他方の蛍光体粒子PR(PR4)の表面の一部との間、一方の蛍光体粒子PR(PR3)の表面に設けられた反射防止層ARと他方の蛍光体粒子PR(PR4)の表面に設けられた反射防止層ARとの間、及び、一方の蛍光体粒子PR(PR3)の表面の一部と他方の蛍光体粒子PR(PR4)の表面に設けられた反射防止層ARとの間、の少なくともいずれかを結合する。

【0093】

このような構成によれば、バインダーBNは、粒子PAの表面、すなわち、蛍光体粒子PRの表面の全てに接合するのではなく、蛍光体粒子PRにおける表面の一部にのみ接合する。このことから、蛍光体粒子PRの表面においてバインダーBNと接合される結合部B2の面積を小さくすることができる。換言すると、蛍光体粒子PRの表面において空隙SP(空気)と接する領域の面積を大きくできる。これにより、バインダーBNを伝播する蛍光の光量を低下させることができるので、蛍光体層56、ひいては、波長変換素子51Aから出射される光の広がり小さくすることができる。従って、光学系である光学装置30での明るさを高めることができ、上記光学系効率を高めることができる。

【0094】

また、蛍光体粒子PRの表面には、反射防止層ARが設けられている。これによれば、波長変換素子51Aに入射される励起光を蛍光体粒子PRに入射させやすくすることができ、蛍光体粒子PRの表面にて反射されて蛍光体粒子PRによって蛍光に変換されない励起光の光量を低減できる。従って、反射防止層ARが設けられていない蛍光体粒子PRが

結合された蛍光体層を有する波長変換素子に比べて、波長変換素子 5 1 A の波長変換効率を高めることができ、波長変換素子 5 1 A から出射される蛍光の光量を増加させることができる。

【0095】

波長変換素子の製造方法は、複数の蛍光体粒子の表面に反射防止層を形成する層形成工程と、前記反射防止層が表面に形成された前記複数の蛍光体粒子とガラスを含むバインダーとを混合した混合物を調製する調製工程と、前記混合物を基板に塗布する塗布工程と、前記混合物が塗布された前記基板を焼成する焼成工程と、を含み、前記焼成工程における焼成温度は、前記ガラスの軟化点より 100℃以上高い。具体的に、波長変換素子 5 1 A の製造方法は、層形成工程 S A と、調製工程であるペースト調製工程 S 1 及び蛍光体混合工程 S 2 A と、塗布工程 S 4 と、焼成工程 S 6 と、を含む。層形成工程 S A では、複数の蛍光体粒子 P 2 の表面に反射防止層 A R を形成する。ペースト調製工程 S 1 及び蛍光体混合工程 S 2 A では、ガラスを含むバインダーと、反射防止層 A R が形成された蛍光体粒子 P 2 とを混合した混合物である混合ペーストを調製する。塗布工程 S 4 では、混合ペーストを基板 5 2 に塗布する。焼成工程 S 6 では、混合ペーストが塗布された基板 5 2 を焼成する。そして、焼成工程 S 6 における焼成温度は、ガラスの軟化点より 100℃以上高い。

【0096】

換言すると、波長変換素子の製造方法は、複数の蛍光体粒子の表面に反射防止層を形成する層形成工程と、前記反射防止層が表面に形成された前記複数の蛍光体粒子とガラスを含むバインダーとを混合した混合物を調製する調製工程と、前記混合物を基板に塗布する塗布工程と、前記混合物が塗布された前記基板を焼成する焼成工程と、を含み、前記焼成工程における前記ガラスの粘度は、 $10^6 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 以下である。具体的に、波長変換素子 5 1 A の製造方法は、それぞれ上記した層形成工程 S A、ペースト調製工程 S 1、蛍光体混合工程 S 2 A、塗布工程 S 4 及び焼成工程 S 6 を含み、焼成工程 S 6 におけるガラスの粘度は、 $10^6 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ 以下である。

【0097】

〔実施形態の変形〕

本発明は、上記各実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれるものである。

上記第 1 実施形態では、反射防止層 5 5 は、蛍光体層 5 4 において励起光が入射される第 1 面 5 4 1 に設けられているとした。詳述すると、反射防止層 5 5 は、第 1 面 5 4 1 の略全面に設けられるとした。しかしながら、これに限らず、反射防止層 5 5 は、第 1 面 5 4 1 において励起光の入射領域が含まれる範囲に設けられていてもよい。

また、反射防止層 5 5 は、蛍光体層 5 4 に対して励起光の入射側に設けられていればよく、反射防止層 5 5 と蛍光体層 5 4 との間に、他の層が設けられていてもよい。

更に、反射防止層 5 5 は、蒸着により第 1 面 5 4 1 に形成されるとした。しかしながら、蒸着に限らず、他の手法によって蛍光体層 5 4 に反射防止層 5 5 を設けてもよい。

【0098】

上記第 2 実施形態では、反射防止層 A R は、C V D により蛍光体粒子 P R の表面を覆うように形成されるとした。しかしながら、これに限らず、反射防止層 A R を形成する手法は、適宜選択可能である。

また、蛍光体層 5 6 を形成する蛍光体粒子 P R の全てに反射防止層 A R が設けられていなくてもよい。すなわち、蛍光体層 5 6 に、反射防止層 A R が設けられた蛍光体粒子 P R が含まれていれば、反射防止層 A R が設けられていない蛍光体粒子 P R が含まれていればよい。

【0099】

上記第 1 実施形態では、反射防止層 5 5 は、蛍光体層 5 4 に設けられるとし、上記第 2 実施形態では、反射防止層 A R は、蛍光体粒子 P R の表面に設けられるとした。このような第 1 実施形態に記載の構成と、第 2 実施形態に記載の構成とは、組み合わせてもよい。例えば、反射防止層 A R が表面に設けられた蛍光体粒子 P R を含有する蛍光体層に反射防

止層 5 5 を設けた波長変換素子を、光源装置 4 に採用してもよい。

【0100】

上記各実施形態では、蛍光体粒子 P R の表面においてバインダー B N と結合する結合部 B 1 , B 2 の X 軸における寸法は、蛍光体粒子 P R の直径の $1/4$ 以下であり、結合部 B 1 , B 2 の Y 軸における寸法は、蛍光体粒子 P R の直径の $1/4$ 以下であるとした。しかしながら、これに限らず、蛍光体粒子 P R の表面積に対する結合部 B 1 , B 2 の面積の割合が 10 % 以下の値、好ましくは、3 % 以上、5 % 以下の値となれば、結合部 B 1 , B 2 の大きさは上記に限定されない。

また、結合部 B 1 , B 2 の X 軸における寸法と Y 軸における寸法とが、それぞれ蛍光体粒子 P R の直径の $1/4$ 以下になれば、蛍光体粒子 P R の表面積に対する結合部 B 1 , B 2 の面積の割合が 10 % 以下の値、好ましくは、3 % 以上、5 % 以下の値とならなくてもよい。

更に、X 軸及び Y 軸のうち、一方の軸における結合部 B 1 , B 2 の寸法は、蛍光体粒子 P R の直径の $1/4$ を超えていてもよい。

【0101】

上記各実施形態では、蛍光体層 5 4 , 5 6 のガラス含有率は、0 vol % より大きく、10 vol % 以下であるとした。すなわち、蛍光体粒子 P R の体積の合計とバインダー B N の体積の合計とを合計した体積に対するバインダー B N の体積の割合は、0 vol % より大きく、10 vol % 以下であるとした。しかしながら、これに限らず、当該体積の割合は、光学系効率が十分高いと判断される範囲で、10 vol % を超えていてもよい。なお、当該体積の割合は、上記のように、蛍光体層 5 4 , 5 6 の作製時の値である。

【0102】

上記第 1 実施形態では、波長変換素子 5 1 の製造方法は、ペースト調製工程 S 1、蛍光体混合工程 S 2、印刷版作成工程 S 3、塗布工程 S 4、乾燥工程 S 5、焼成工程 S 6 及び冷却工程 S 7 及び層形成工程 S 8 を含むとした。上記第 2 実施形態では、波長変換素子 5 1 A の製造方法は、層形成工程 S A、ペースト調製工程 S 1、蛍光体混合工程 S 2 A、印刷版作成工程 S 3、塗布工程 S 4、乾燥工程 S 5、焼成工程 S 6 及び冷却工程 S 7 を含むとした。しかしながら、波長変換素子の製造方法は、これらに限らず、工程 S 1 ~ S 8 のうちのいずれかの工程、及び、工程 S A , S 1 , S 2 A , S 3 ~ S 7 のうちのいずれかの工程は無くてもよい。例えば、乾燥工程 S 5 は無くてもよい。また、ペースト調製工程 S 1 及び蛍光体混合工程 S 2 は、同時に実施してもよい。

【0103】

上記各実施形態では、焼成工程 S 6 におけるガラスの粘度は、 10^6 dPa · s 以下の値であるとした。換言すると、ガラスの粘度が 10^6 dPa · s 以下の値となるように、焼成温度を、ガラスの軟化点より 100 °C 以上高くするとした。しかしながら、これに限らず、ガラスの粘度が 10^6 dPa · s 以下の値となれば、焼成温度は、バインダー B N となるガラスの軟化点より 100 °C 以上でなくともよい。一方、焼成温度が、ガラスの軟化点より 100 °C 以上であれば、バインダー B N となるガラスの粘度が、焼成工程 S 6 において 10^6 dPa · s 以下とならなくともよい。すなわち、焼成工程 S 6 にて、焼成温度がガラスの軟化点より 100 °C 以上であることと、ガラスの粘度が 10^6 dPa · s 以下であることとの少なくともいずれかが満たされればよい。

【0104】

上記各実施形態では、基板 5 2 に対して励起光の入射側に蛍光体層 5 4 , 5 6 が位置し、励起光の入射側に蛍光を出射する反射型の波長変換素子 5 1 , 5 1 A を例示した。しかしながら、これに限らず、励起光の入射方向に沿って蛍光を出射する透過型の波長変換素子に、本発明を適用してもよい。透過型の波長変換素子の場合、基板として、サファイアが好適に用いられる。

また、蛍光体層 5 4 , 5 6 と基板 5 2 との間に、蛍光体層 5 4 , 5 6 から出射された光を反射させる誘電体多層膜が設けられていてもよい。

【0105】

上記各実施形態では、波長変換素子 5 1 は、回転部 R T によって回転される構成であるとした。しかしながら、これに限らず、波長変換素子は、回転されない構成としてもよい。換言すると、波長変換装置は、波長変換素子を回転させる回転部 R T を備えていなくてもよい。この場合、蛍光体層 5 4 , 5 6 は、励起光の入射側から見て環状に形成されていなくてもよく、例えば、円形状、或いは、多角形状に形成されていてもよい。また、蛍光体層 5 4 , 5 6 の形状は、回転される場合でも回転されない場合でも、励起光の入射側から見て円形状又は多角形状であってもよい。

【0106】

上記各実施形態では、プロジェクターは、3つの光変調装置 3 4 3 (3 4 3 B , 3 4 3 G , 3 4 3 R) を備えるとした。しかしながら、これに限らず、2つ以下、あるいは、4

10

【0107】

上記各実施形態では、プロジェクターは、光入射面と光出射面とが異なる透過型の液晶パネルを有する光変調装置 3 4 3 を備えるとした。しかしながら、これに限らず、光変調装置は、光入射面と光出射面とが同一となる反射型の液晶パネルを有する構成としてもよい。また、入射光束を変調して画像情報に応じた画像を形成可能な光変調装置であれば、マイクロミラーを用いたデバイス、例えば、DMD (Digital Micromirror Device) 等を利用したものなど、液晶以外の光変調装置を用いてもよい。

【0108】

上記各実施形態では、光源装置 4 をプロジェクターに適用した例を挙げた。しかしながら、これに限らず、本発明に係る光源装置は、例えば照明器具及び自動車等のヘッドライト等に採用してもよい。また、本発明に係る光源装置は、光源装置 4 の構成に限らず、波長変換素子と、波長変換素子に入射される光を出射する光源とを備える構成であれば、光源装置を構成する他の部品は、適宜変更可能である。本発明に係るプロジェクターも同様である。

20

【符号の説明】

【0109】

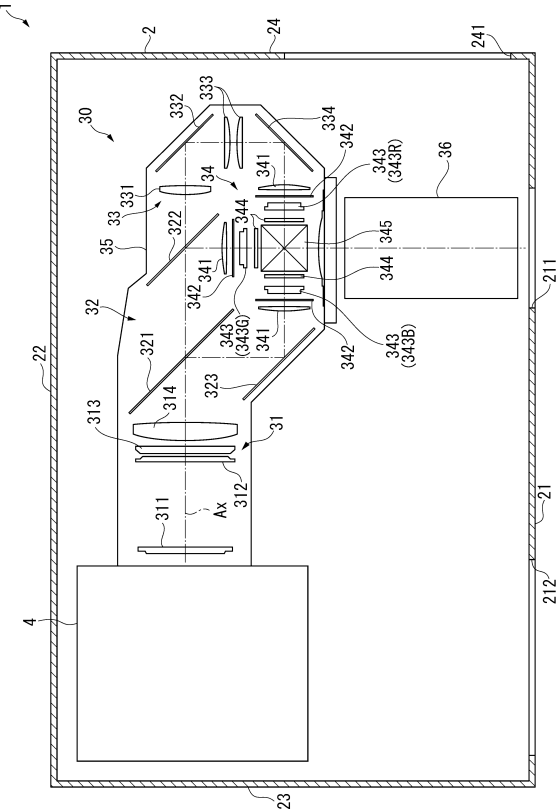
1 … プロジェクター、3 4 3 (3 4 3 B , 3 4 3 G , 3 4 3 R) … 光変調装置、3 6 … 投射光学装置、4 … 光源装置、4 1 1 … 光源、5 1 , 5 1 A … 波長変換素子、5 4 , 5 6 … 蛍光体層、5 5 … 反射防止層、A R … 反射防止層、B N … バインダー、P A … 粒子、P R (P R 1 , P R 2 , P R 3 , P R 4) … 蛍光体粒子。

30

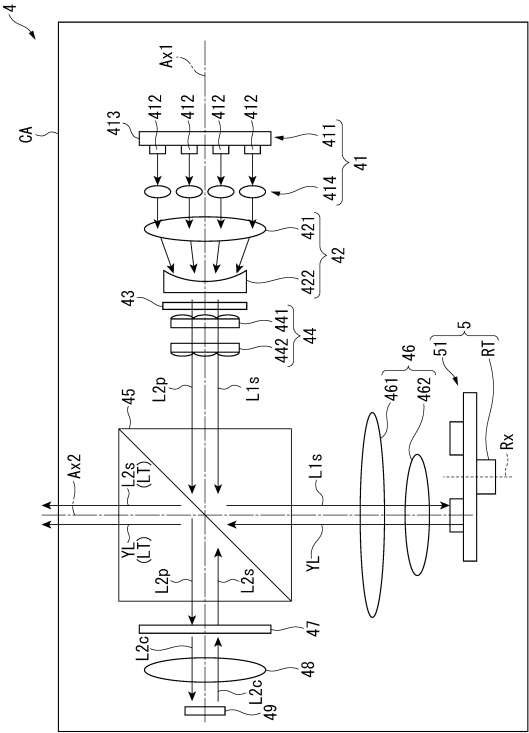
40

50

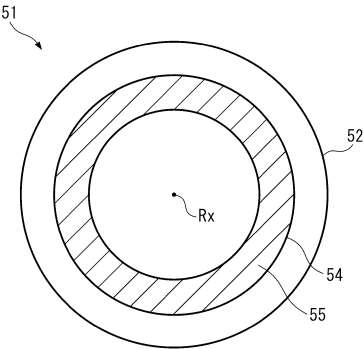
【図面】
【図 1】



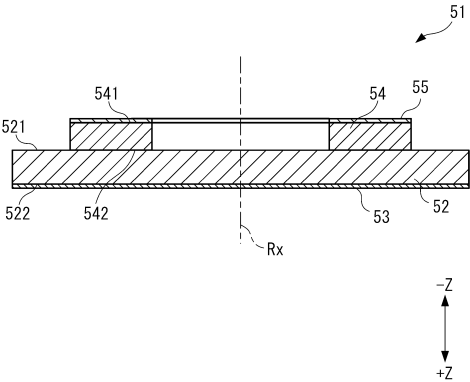
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

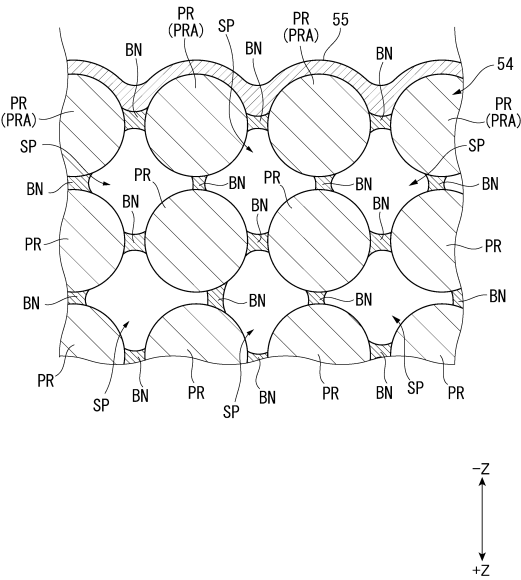
20

30

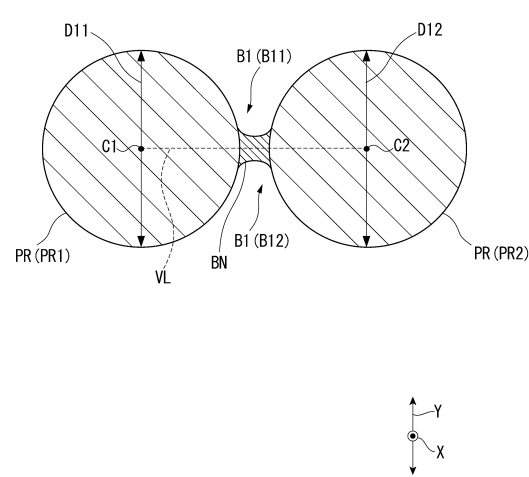
40

50

【図 5】



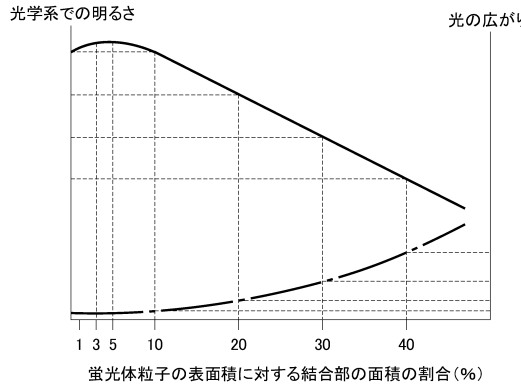
【図 6】



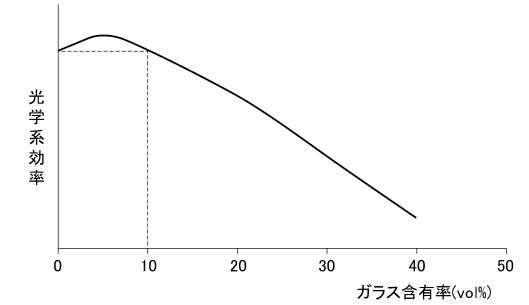
10

20

【図 7】



【図 8】

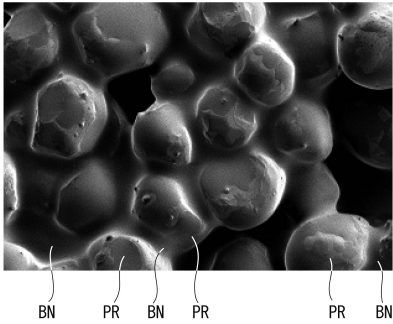


30

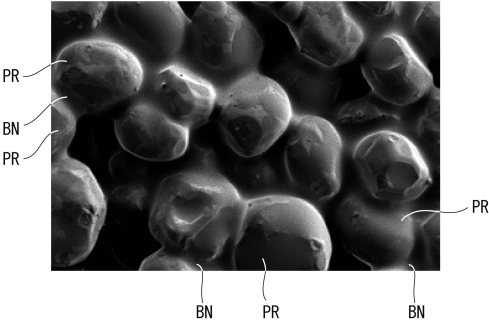
40

50

【図 9】



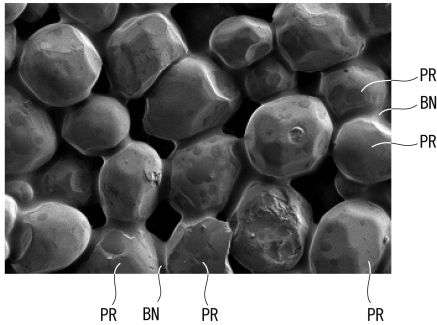
【図 10】



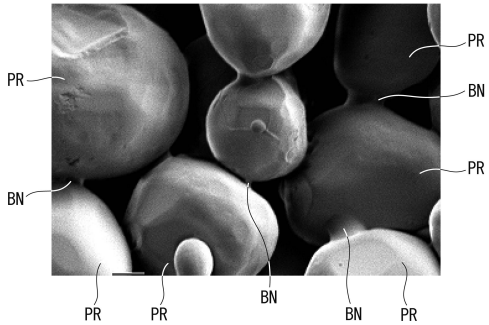
10

20

【図 11】



【図 12】

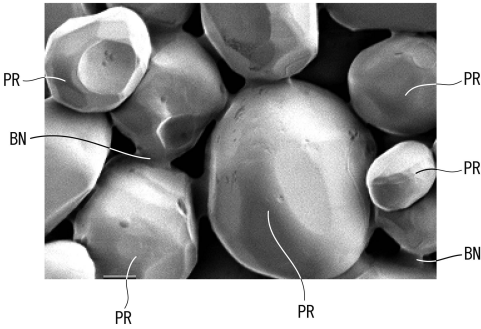


30

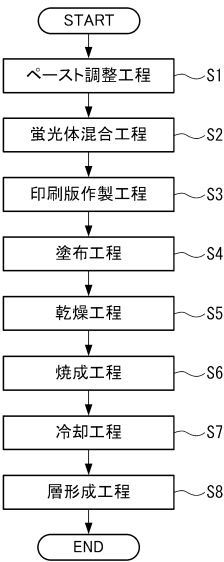
40

50

【図 1 3】



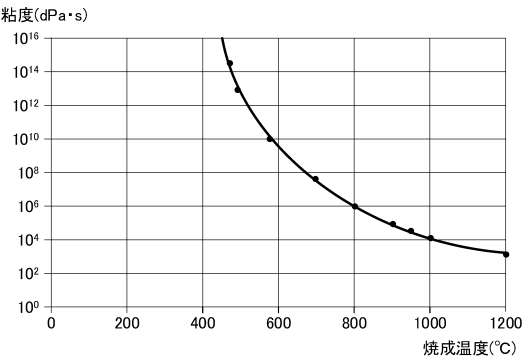
【図 1 4】



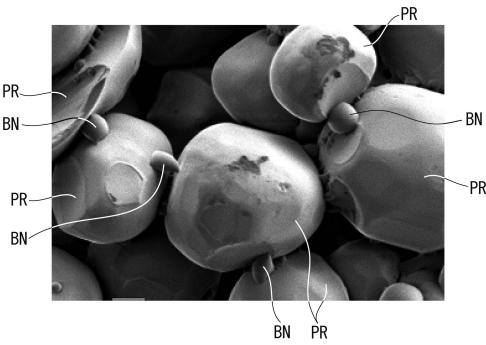
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

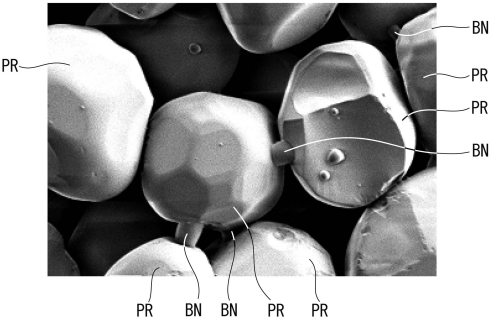


30

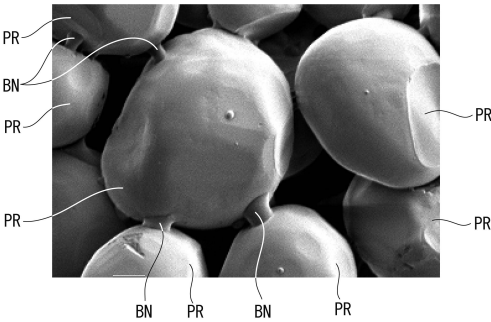
40

50

【図 1 7】



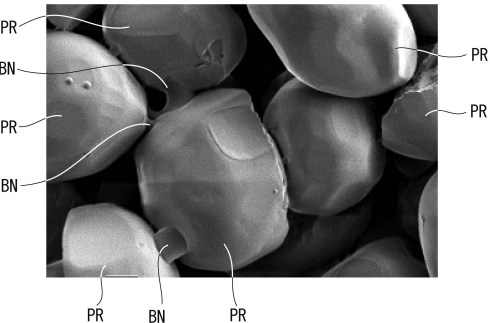
【図 1 8】



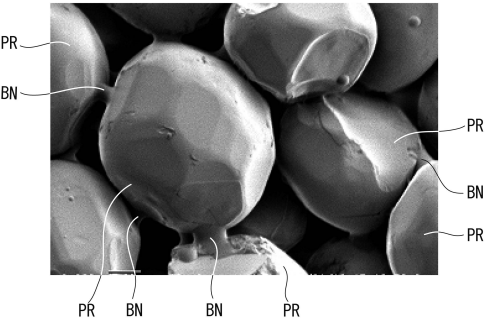
10

20

【図 1 9】



【図 2 0】

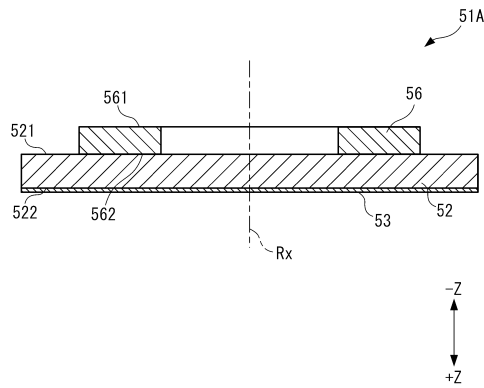


30

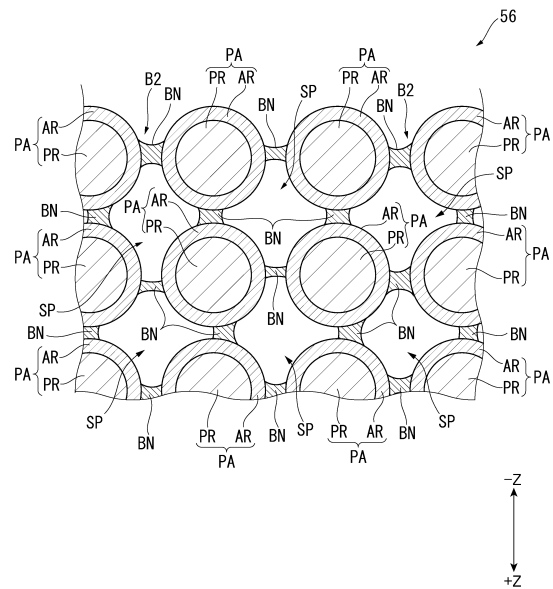
40

50

【図 2 1】



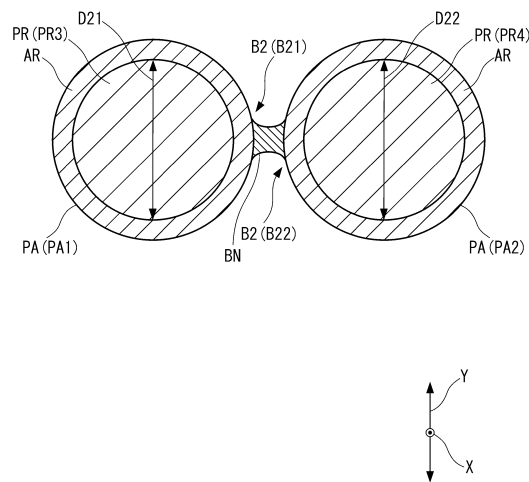
【図 2 2】



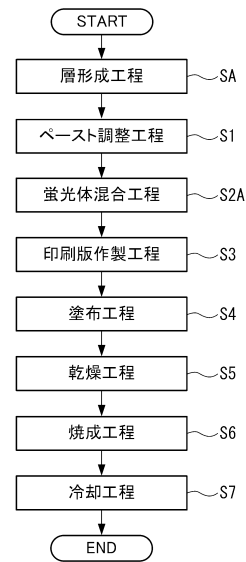
10

20

【図 2 3】



【図 2 4】



30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

F 2 1 V	9/40 (2018.01)	F 2 1 V	9/40	2 0 0
F 2 1 V	7/30 (2018.01)	F 2 1 V	7/30	
F 2 1 S	2/00 (2016.01)	F 2 1 S	2/00	3 1 1

(56)参考文献

国際公開第 2 0 1 8 / 1 5 5 6 7 1 (WO, A 1)
 特開 2 0 1 6 - 1 7 0 3 5 9 (JP, A)
 国際公開第 2 0 1 4 / 0 6 4 9 0 1 (WO, A 1)
 国際公開第 2 0 1 7 / 1 7 9 5 2 1 (WO, A 1)
 国際公開第 2 0 1 7 / 1 6 9 6 2 8 (WO, A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G 0 3 B 2 1 / 0 0 - 2 1 / 1 0
 2 1 / 1 2 - 2 1 / 3 0
 2 1 / 5 6 - 2 1 / 6 4
 3 3 / 0 0 - 3 3 / 1 6
 H 0 4 N 5 / 6 6 - 5 / 7 4
 G 0 2 B 1 / 0 0 - 1 / 0 8
 3 / 0 0 - 3 / 1 4
 5 / 0 0 - 5 / 3 2
 F 2 1 K 9 / 0 0 - 9 / 9 0
 F 2 1 S 2 / 0 0 - 4 5 / 7 0
 F 2 1 V 1 / 0 0 - 1 5 / 0 4
 2 3 / 0 0 - 3 7 / 0 0
 9 9 / 0 0