

(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
2017年9月21日(21.09.2017)



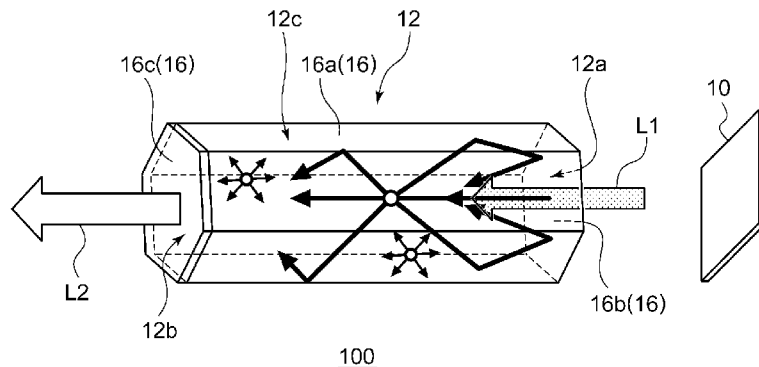
(10) 国際公開番号
WO 2017/159696 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/50 (2010.01) G02B 5/20 (2006.01)
F21V 5/00 (2015.01) H01S 5/022 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/010261
 - (22) 国際出願日: 2017年3月14日(14.03.2017)
 - (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 2016-055451 2016年3月18日(18.03.2016) JP
特願 2016-055452 2016年3月18日(18.03.2016) JP
特願 2016-055453 2016年3月18日(18.03.2016) JP
 - (71) 出願人: 株式会社小糸製作所(KOITO MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1088711 東京都港区高輪四丁目8番3号 Tokyo (JP).
 - (72) 発明者: 大長 久芳 (DAICHO, Hisayoshi); 〒4248764 静岡県静岡市清水区北脇500番地株式会社小糸製作所静岡工場内 Shizuoka (JP). 四ノ宮 裕 (SHINOMIYA, Yu); 〒4248764 静岡県静岡市清水区北脇500番地株式会社小糸製作所静岡工場内 Shizuoka (JP).
 - (74) 代理人: 森下 賢樹 (MORISHITA Sakaki); 〒1500021 東京都渋谷区恵比寿西2-11-12 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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
 - (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: FLUORESCENT MEMBER AND LIGHT EMITTING MODULE

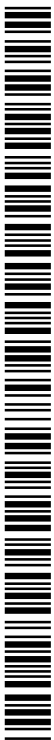
(54) 発明の名称: 蛍光部材および発光モジュール

【図1】



(57) Abstract: This fluorescent member comprises: a wavelength conversion section 12 including a light introduction section 12a via which light source light is introduced and an emission section 12b that emits converted light excited by the introduced light and subjected to wavelength conversion; and a reflection section 16 provided on at least one part of the surface of the wavelength conversion section. The wavelength conversion section 12 is constituted of a material that, in comparison to a polycrystalline material, exhibits a smaller degree of scattering when the light source light introduced from the introduction section 12a proceeds to the emission section.

(57) 要約: 蛍光部材は、光源の光が入射する入射部12aと、入射した光により励起され、波長変換された変換光が射出する射出部12bとを有する波長変換部12と、波長変換部の表面の少なくとも一部に設けられた反射部16と、を備える。波長変換部12は、入射部12aから入射した光源の光が射出部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。



WO 2017/159696 A1

明 細 書

発明の名称： 蛍光部材および発光モジュール

技術分野

[0001] 本発明は、蛍光部材および発光モジュールに関する。

背景技術

[0002] (1) 従来、半導体レーザ光源と蛍光体とを組み合わせた構造の発光モジュールが考案されている(特許文献1参照)。また、上述の蛍光体は多結晶のものが多く、その場合、半導体発光素子の出射光が蛍光体内で散乱、遮蔽されるとともに、蛍光体が励起されて波長変換された光もランバーシアンに発光するため、発光モジュールから出射する光の指向性が低下してしまう。その結果、光学系で利用される光が少なくなり、発光モジュールを含むシステム全体での光の利用効率が低下する。

[0003] そこで、蛍光体内に入射した光の散乱、遮蔽による損失を低減すべく、透光性セラミックス蛍光体や単結晶蛍光体が考案されている(特許文献2、3参照)。

[0004] また、紫外線又は短波長可視光を発する発光素子と、発光素子を封止するモールド部材と、発光素子が発する紫外線又は短波長可視光によって励起されて青、黄等の色の可視光をそれぞれ発光する蛍光体と、を備えた発光モジュールが考案されており、この発光モジュールのモールド部材は、少なくとも蛍光体が混入されるとともに蛍光体からの光を高拡散させる層と、高拡散層よりも光の拡散程度が低い低拡散層と、を有する(特許文献4参照)。

[0005] (2) また、従来、LED (Light Emitting Diode) やLD (Laser Diode) 等の発光素子と、発光素子から出射した光により励起され、波長変換された光を出射する蛍光体と、を組み合わせることで、所望の発光色が得られる車両用灯具が考案されている(特許文献5)。

[0006] 蛍光体は、ストークスロスによる発熱を回避することが困難である。特に、高出力の発光素子を用いる場合、発熱量が増大することが明らかであり、

何らかの放熱対策が必要となる。例えば、上述の車両用灯具では、蛍光体を含む発光部材が、アルミニウム等の材料で構成された支持部材の一部に収容されており、蛍光体が発する熱が支持部材を介して外部へ放熱される。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：特開2014-067961号公報
- 特許文献2：特開2012-062459号公報
- 特許文献3：特開2015-081313号公報
- 特許文献4：特開2013-38353号公報
- 特許文献5：国際公開第14/125782号パンフレット

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] (1) ところで、蛍光体自体が発する変換光は、前述のように指向性のないランバーシアンな配光を示すため、そのままでは指向性の強い光が得られない。
- [0009] (2) また、蛍光体の粒子が樹脂に分散された発光部材は、指向性がなく全方位に均等に光を発するため、周囲に放熱部材があると発光面の一部が覆われる。その結果、光の利用効率が低下する。また、蛍光体の温度が上昇すると、蛍光体内部のフォノン振動を大きくする。その結果、蛍光体内で吸収された励起エネルギーが発光に変化せず、フォノン振動により緩和されるため、発光効率の低下が生じる。
- [0010] 本発明はこうした状況に鑑みてなされたものであり、その例示的な目的のひとつは、指向性の強い発光を示す蛍光部材を提供することにある。また、他の例示的な目的の一つは、発光モジュールの発光効率の低下を抑制する技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0011] 上記課題を解決するために、本発明のある態様の蛍光部材は、光源の光が

入射する入射部と、入射した光により励起され、波長変換された変換光が出射する出射部とを有する波長変換部と、波長変換部の表面の少なくとも一部に設けられた反射部と、を備える。波長変換部は、入射部から入射した光源の光が出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。

[0012] この態様によると、波長変換部は、入射部から入射した光源の光が出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されているため、入射部から出射部へ向かう光の割合が多くなり、出射部から出射する光の指向性が強くなる。また、それまでは一部の表面から外部へ漏れていた光が反射部で内面反射され、出射部から出射することとなり、光の利用効率を向上できる。

[0013] 波長変換部は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の両端に入射部および出射部が形成されていてもよい。これにより、入射部から入射した光がロッド状の部材を通過する間に方向が揃っていき、出射部から出射する光の指向性が強くなる。

[0014] 波長変換部は、アスペクト比が10～100であってもよい。

[0015] 波長変換部は、多角柱または円柱であり、入射部および出射部とは異なる側面に反射部が設けられていてもよい。これにより、それまでは側面から外部へ漏れていた光が、側面で内面反射されることとなり、光の利用効率を向上できる。

[0016] 波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されており、単結晶材料またはセラミックス材料の主軸と、入射部および出射部を結ぶ直線との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であってもよい。これにより、出射部から出射する光の指向性を更に強めることができる。

[0017] 本発明の別の態様は、発光モジュールである。この発光モジュールは、光源と、光源の光が入射する入射部と、入射した光により励起され、波長変換された変換光が出射する出射部とを有する波長変換部と、を備える。波長変換部は、入射部から入射した光源の光が出射部へ向かう際に散乱する程度が

、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。

[0018] この態様によると、波長変換部は、入射部から入射した光源の光が出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されているため、入射部から出射部へ向かう光の割合が多くなり、出射部から出射する光の指向性が強くなる。

[0019] 波長変換部は、ロッド状の部材であり、部材の長手方向の両端に入射部および出射部が形成されていてもよい。これにより、入射部から入射した光がロッド状の部材を通過する間に方向が揃っていき、出射部から出射する光の指向性が強くなる。

[0020] 波長変換部は、アスペクト比が10～100であってもよい。

[0021] 波長変換部の表面の少なくとも一部に設けられた反射部を更に備えてもよい。波長変換部は、多角柱または円柱であり、入射部および出射部とは異なる側面に反射部が設けられていてもよい。これにより、光の利用効率を更に向上できる。

[0022] 波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されており、単結晶材料またはセラミックス材料の主軸と、光源の光軸との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であってもよい。これにより、出射部から出射する光の指向性を更に強めることができる。

[0023] 本発明の更に別の態様もまた発光モジュールである。この発光モジュールは、光源と、光源の光が入射する入射部と、入射した光により励起され、波長変換された変換光が出射する出射部と、入射部および出射部とは異なる側面と、を有する波長変換部と、側面の少なくとも一部を覆うように設けられた放熱部と、を備える。波長変換部は、入射部から入射した光源の光に対して指向性を有するように構成されている。

[0024] この態様によると、波長変換部の側面から出射する光の割合が少なくなるため、放熱部で遮光される光の量も減り、発光モジュールの配光に寄与する光の割合が多くなる。

[0025] 放熱部は、熱伝導率が50 [W / (m · K)] 以上の材料が用いられてい

てもよい。これにより、放熱部の放熱性能が向上する。

[0026] 側面と放熱部との間に設けられた反射部を更に備えてもよい。反射部は、波長変換部に入射した光源の光を内面反射するように構成されており、可視光反射率が80%以上の材料が用いられていてもよい。これにより、一部の側面から外部へ漏れていた光が反射部で内面反射され、出射部から出射することとなり、光の利用効率を向上できる。

[0027] 波長変換部は、入射部から入射した光源の光が出射部へ向かう際に散乱する程度が、入射部から入射した光源の光が側面へ向かう際に散乱する程度と比較して小さくなるように構成されていてもよい。

[0028] 波長変換部は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の両端に入射部および出射部が形成されていてもよい。これにより、入射部から入射した光がロッド状の部材を通過する間に方向が揃っていき、出射部から出射する光の指向性が強くなる。

[0029] 波長変換部は、アスペクト比が10~100であってもよい。

[0030] 波長変換部は、多角柱または円柱であってもよい。

[0031] 波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されており、単結晶材料またはセラミックス材料の主軸と、入射部および出射部を結ぶ直線との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であってもよい。これにより、出射部から出射する光の指向性を更に強めることができる。

[0032] 本発明の更に別の態様の蛍光部材は、光源の光が入射する第1の入射部と、入射した光により励起され、波長変換された第1の色の変換光が出射する第1の出射部とを有する第1の波長変換部と、光源の光が入射する第2の入射部と、入射した光により励起され、波長変換された第2の色の変換光が出射する第2の出射部とを有する第2の波長変換部と、を備える。第1の波長変換部は、第1の入射部から入射した光源の光が第1の出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されており、第2の波長変換部は、第2の入射部から入射した光源の光が第2の出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構

成されている。

[0033] この態様によると、第1の波長変換部は、第1の入射部から入射した光源の光が第1の出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されているため、第1の入射部から第1の出射部へ向かう光の割合が多くなり、第1の出射部から出射する第1の色の変換光の指向性が強くなる。また、第2の波長変換部は、第2の入射部から入射した光源の光が第2の出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されているため、第2の入射部から第2の出射部へ向かう光の割合が多くなり、第2の出射部から出射する第2の色の変換光の指向性が強くなる。そして、第1の色の変換光と、第1の色と異なる第2の色の変換光とを混色することで、指向性の強い、単色では実現できない多様な色の発光が可能となる。

[0034] 第1の波長変換部は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の一端に第1の入射部が形成されており、該部材の長手方向の他端に第1の出射部が形成されており、第2の波長変換部は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の一端に第2の入射部が形成されており、該部材の長手方向の他端に第2の出射部が形成されていてもよい。これにより、各入射部から入射した光が各ロッド状の部材を通過する間に方向が揃っていき、各出射部から出射する光の指向性が強くなる。

[0035] 第1の波長変換部は、筒状部材であり、第2の波長変換部は、第1の波長変換部の孔の内部に設けられていてもよい。これにより、2種類の波長変換部を備えたコンパクトな蛍光部材を実現できる。

[0036] 第1の波長変換部は、アスペクト比が10以上であり、第2の波長変換部は、アスペクト比が10以上であってもよい。これにより、細長く指向性の強い蛍光部材を実現できる。

[0037] 第1の波長変換部は、柱状部材であり、第2の波長変換部は、柱状部材であり、第1の波長変換部および第2の波長変換部は、第1の出射部と第2の入射部とが対向するように配置されていてもよい。

- [0038] 第1の波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されており、単結晶材料またはセラミックス材料の主軸と、第1の入射部および第1の出射部を結ぶ直線との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であってもよい。これにより、第1の出射部から出射する光の指向性を更に強めることができる。
- [0039] 第2の波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されており、単結晶材料またはセラミックス材料の主軸と、第2の入射部および第2の出射部を結ぶ直線との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であってもよい。これにより、第2の出射部から出射する光の指向性を更に強めることができる。
- [0040] 本発明の更に別の態様は、発光モジュールである。発光モジュールは、上述の光源と、蛍光部材と、を備えてもよい。第1の入射部および第2の入射部は、互いに隣接しており、光源の発光面と対向するように配置されていてもよい。
- [0041] なお、以上の構成要素の任意の組合せ、本発明の表現を方法、装置、システム、などの間で変換したものもまた、本発明の態様として有効である。

発明の効果

- [0042] 本発明のある態様によれば、指向性の強い発光を示す蛍光部材を提供することができる。また、本発明の他の態様によれば、発光モジュールの発光効率の低下を抑制することができる。

図面の簡単な説明

- [0043] [図1]第1の実施の形態に係る発光モジュールの模式図である。
- [図2]蛍光体1の発光スペクトル及び励起スペクトルを示した図である。
- [図3]実施例1に係る蛍光体ロッドを有する発光モジュールの模式図である。
- [図4]蛍光体2の発光スペクトル及び励起スペクトルを示した図である。
- [図5]蛍光体3の発光スペクトル及び励起スペクトルを示した図である。
- [図6]ナノコンポジット蛍光ガラスセラミックスの発光スペクトル及び励起スペクトルを示した図である。
- [図7]透光性セラミックスの発光スペクトル及び励起スペクトルを示した図である。

[図8]比較例1に係る蛍光体ロッドの内部における光の進行状態を示す模式図である。

[図9]比較例2に係る蛍光体の内部における波長変換光を示す模式図である。

[図10]比較例3に係る蛍光体の内部における波長変換光を示す模式図である。

[図11]第2の実施の形態に係る発光モジュールの模式図である。

[図12]第2の実施の形態の変形例に係る放熱部の模式図である。

[図13]第2の実施の形態の他の変形例に係る放熱部の模式図である。

[図14]実施例6に係る蛍光部材の模式図である。

[図15]実施例6に係るクロロアパタイト単結晶蛍光体の発光スペクトルを示す図である。

[図16]実施例6に係る蛍光部材を有する発光モジュールの模式図である。

[図17]発光モジュールの発光スペクトルを示す図である。

[図18]実施例7に係る蛍光部材の模式図である。

[図19]実施例8に係る蛍光部材の模式図である。

[図20]実施例8に係るクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体の発光スペクトルを示す図である。

[図21]実施例10に係る蛍光部材の模式図である。

[図22]実施例10に係るナノコンポジット蛍光体の発光スペクトルを示す図である。

[図23]実施例11に係る蛍光部材の模式図である。

[図24]実施例12に係る蛍光部材の模式図である。

[図25]実施例13に係る蛍光部材の模式図である。

発明を実施するための形態

[0044] 以下、図面等を参照しながら、本発明を実施するための形態について詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を適宜省略する。

[0045] 一般的な蛍光体は、数十nm程度のごく小さな単結晶（結晶子）の集合体

である粉末状の多結晶からなり、蛍光体による蛍光は指向性のない発光である。結晶子間には結晶粒界と呼ばれる界面が存在し、その界面において光の散乱、遮蔽が起こる。そのため、半導体発光素子の光をロスなく出射できない。

[0046] また、蛍光体の発光は、発光中心元素内の電子遷移によって起こるため、その発光は指向性がないランバーシアンな発光となるため、光学系に取り込まれる光（利用効率）が下がり、システム効率が低下する。

[0047] そこで、本発明者らは以下の点に着目することで、所望の方向に強指向性を示す蛍光部材を実現することに想到した。

[0048] （1：光の直進性を遮らない透明なマトリックスで波長変換部を形成する。）

前述のように多結晶の蛍光体は、結晶子間に結晶粒界と呼ばれる界面が存在する。この界面により、多結晶の蛍光体において光の直進性を確保することは困難である。そこで、光の直進性を確保するため、波長変換部として以下の素材が好適である。

[0049] [単結晶蛍光体]

単結晶蛍光体は、全体が結晶格子および結晶軸を揃えた構造からなる。このような単結晶蛍光体は、気相成長、蛍光体融液成長、溶媒（フラックス）での溶液成長、または、水熱成長により得ることができる。

[0050] [ナノコンポジット材料]

ナノコンポジット材料は、蛍光発光波長の $1/4$ 以下のサイズ（ ϕ 約100nm以下）の蛍光成分を分散したガラスセラミックスである。

[0051] [透光性セラミックス蛍光体]

透光性セラミックス蛍光体は、一次粒子500nm以下の粗原料を緻密に成形、焼結することで得られる。透明なマトリックスだけでは、原子内の電子遷移によって発せられる無指向性の蛍光体発光に指向性を与えることは困難である。そこで、後述に規定するように、形状、表面性状を工夫することで指向性のある波長変換部を実現できる。

- [0052] (2：照射方向に光を誘導するアスペクト比の高いロッド構造にする。)
蛍光体の形状は、発光に指向性を付与するために、照射方向に沿った辺を長辺とした高いアスペクト比を持つロッド状が好ましい。以下では、ロッド径（短辺）、ロッド長（長辺）、アスペクト比（長辺／短辺）の好ましい範囲について説明する。
- [0053] ロッド径は、拡散方向に発せられた光を閉じ込め、ロッド長手方向に誘導するため、3～500 μm であることが好ましく、更に好ましくは、5～200 μm である。このように細いロッド形状にすることで、光をロッド長手方向に導くことができる。なお、ロッド径が3 μm 以下であると、光をロッド長手方向に導く際にロッド側面で起こる反射回数が多くなる傾向にあるため、光の減衰が生じやすくなる。一方、ロッド径が500 μm 以上になると光の閉じ込め効果が十分得られず、ロッド内の光拡散を抑えきれないため、十分に強い指向性が得られない。
- [0054] ロッドの長さは、蛍光体の賦活剤濃度にもよるが、指向性を強める観点から、1～100 mm程度であり、1～60 mmの長さが好ましい。更に好ましくは、1～10 mm、あるいは、1～5 mmであるとよい。長さが1 mm以下になると、光路長が短く、十分な指向性が得られない。また、波長変換するために十分な励起光の吸収、変換を起こす光路長が不足する。一方、10 mm以上、特に100 mm以上になると、ロッド内を導波する光の減衰が大きくなることと、ロッドが折れやすく強度的な問題が発生する。
- [0055] ロッドのアスペクト比は、強い指向性を得るためには10～100が好ましい。アスペクト比が10以下であると、ロッド長手方向に光を誘導できず、所望の指向性が得られない。アスペクト比が100以上になると、ロッド内で光の減衰が生じ、発光効率の低下が発生する。
- [0056] (3：ロッド表面に各種反射膜を設ける（照射方向以外の光をロッド内に閉じ込める）。)
ロッドの側面は、励起光（素子光）や蛍光（波長変換光）が外部へ露光することを防ぐため、反射膜で覆われている。反射膜は、誘電体からなる全反

射膜、可視光に吸収を示さない金属反射膜、又は、誘電体層と金属反射層のハイブリッドからなる増反射膜で構成される。

[0057] ロッドの入射面は、半導体発光素子からの励起光は透過するが、励起光より波長の長い光を透過させないショートパスフィルタを設置する。または、励起光の反射率が50%以上の半透過反射膜を施してもよい。入射面の面精度（例えば算術平均粗さRa）は、蛍光の1/4波長以下が好ましい。

[0058] ロッドの出射面は、指向性を強めるために、ロッド内における光閉じ込め性を向上させる半透過反射膜を設けてもよい。出射面の面精度（例えば算術平均粗さRa）は、蛍光のピーク波長の1/8波長以下が好ましい。なお、出射面の他の形態として、モスアイ構造（サブ波長格子）により界面屈折率を緩和した形態であってもよい。

[0059] <第1の実施の形態>

（発光モジュール）

以上の観点を検討した好ましい形態の発光モジュールについて以下に説明する。図1は、第1の実施の形態に係る発光モジュールの模式図である。発光モジュール100は、光源としての発光素子10と、波長変換部12と、を備えている。発光素子10は、LED（Light emitting diode）素子、LD（Laser diode）素子、EL（Electro Luminescence）素子等の半導体発光素子が好適であるが、指向性の強い発光が可能な光源であれば前述以外の素子であってもよい。

[0060] 波長変換部12は、発光素子10が発した光（励起光）L1が入射する入射部12aと、入射した光L1により励起され、波長変換された変換光L2が出射する出射部12bと、を有する。

[0061] 波長変換部12の表面の少なくとも一部には、波長変換部12の内部で波長変換された変換光L2や、波長変換部12の入射部12aから入射した光L1の一部の光を内面反射する反射部16が設けられている。本実施の形態に係る反射部16は、波長変換部12の入射部12aと出射部12bとを連結する側面12cに設けられている反射膜16aと、入射部12aの表面に

設けられているショートパスフィルタ16bと、出射部12bの表面に設けられている反射膜16cと、を有する。

[0062] ショートパスフィルタ16bは、所定の波長未満の光のほとんどを透過させるが、所定の波長以上の光のほとんどを透過させない（反射する）フィルタである。また、反射膜16cは、波長変換された変換光L2の全部を反射するのではなく、少なくとも一部を透過させるように構成されている。なお、反射部16は、入射部12a、出射部12bおよび側面12cのすべてに設けられている必要はなく、反射膜16a、ショートパスフィルタ16bおよび反射膜16cの組合せや有無についても適宜選択すればよい。例えば、側面12cにのみ反射膜を設け、入射部12aや出射部12bには何も設けない構成であってもよい。

[0063] 前述のように、多結晶の蛍光体は、数十nm程度のごく小さな単結晶（結晶子）の集合体であり、結晶子間には結晶粒界と呼ばれる界面が存在するため、その界面により、光の散乱、遮蔽が多く起こる。そこで、本実施の形態に係る波長変換部12は、入射部12aから入射した発光素子の光が出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。ここで、散乱の程度とは、入射部から入射した発光素子の光が屈折、反射する割合と捉えることができ、その割合が低ければ散乱の程度が小さいことになる。あるいは、入射部から入射した発光素子の光が出射部へ向かう際に散乱した際にどの程度方向が変わるかで程度を判断することもできる。例えば、散乱の際に光の進行方向が30°変わる場合よりも、光の進行方向が10°しか変わらない場合の方が、散乱の程度は小さいことになる。

[0064] 本実施の形態に係る波長変換部12は、入射部12aから入射した発光素子の光L1が出射部12bへ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されているため、入射部12aから出射部12bへ向かう光の割合が多くなり、出射部12bから出射する光の指向性が強くなる。また、それまでは一部の表面から外部へ漏れていた光が反射部16

で内面反射され、出射部 1 2 b から出射することとなり、光の利用効率を向上できる。

[0065] また、波長変換部 1 2 は、ロッド状の部材であり、部材の長手方向の一端に入射部 1 2 a、他端に出射部 1 2 b が形成されている。これにより、入射部 1 2 a から入射した光がロッド状の部材を通過する間に方向が揃っていき、出射部 1 2 b から出射する光の指向性が強くなる。このように、波長変換部 1 2 は、入射部 1 2 a から入射した発光素子 1 0 の光に対して指向性を有するように構成されている。

[0066] また、波長変換部 1 2 は、六角柱であり、入射部 1 2 a および出射部 1 2 b とは異なる側面 1 2 c に反射膜 1 6 c が設けられている。なお、波長変換部 1 2 の形状は、多角柱や円柱であってもよい。これにより、それまでは側面 1 2 c から外部へ漏れていた光が、側面 1 2 c で内面反射されることとなり、光の利用効率を向上できる。

[0067] 波長変換部 1 2 は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されている場合、単結晶材料またはセラミックス材料の主軸と、入射部 1 2 a および出射部 1 2 b を結ぶ直線との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であるとよい。より好ましくは、 $\pm 3^\circ$ 以内であるとよい。ここで、入射部 1 2 a および出射部 1 2 b を結ぶ直線とは、例えば、入射部 1 および出射部と交差する直線であって、長さが最も短いものと言うことができる。あるいは、入射部と出射部の少なくとも一方の面の法線であって、他方の面と交差する直線であってもよい。また、主軸とは、光学異方性である複屈折結晶において、光を入射しても光が分かれな方向のことであり、光軸と換言することもできる。1 軸性の結晶は六方晶系・正方晶系に属し、2 軸性の結晶は斜方晶系・単斜晶系・三斜晶系に属する。なお、等方性の結晶、例えば、立方晶系の結晶には主軸はないことになる。これにより、主軸に平行な光ほど出射部 1 2 b へ到達しやすくなり、出射部 1 2 b から出射する光の指向性を更に強めることができる。

[0068] 以下、各実施例や比較例を参照しながら本実施の形態に係る各構成について更に詳述する。

[0069] (実施例1：蛍光体にクロロアパタイト単結晶ロッドを用いた場合)

はじめにアパタイト蛍光体からなる単結晶ロッドの製造方法について説明する。出発原料として、 CaCO_3 、 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl 、 CaCl_2 の各原料を、これらのモル比が $\text{CaCO}_3 : \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} : \text{Eu}_2\text{O}_3 : \text{NH}_4\text{Cl} : \text{CaCl}_2 = 1.8 : 3.0 : 0.10 : 1.0 : 5.0$ となるように秤量し、秤量した各原料をアルミナ乳鉢に入れ粉碎混合し、原料混合物を得た。この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 1200°C まで加熱し、還元雰囲気中の電気炉で所定の雰囲気 ($\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$)、温度 1200°C で10時間焼成(合成)し、次に、 800°C まで $5^\circ\text{C}/\text{h}$ の冷却速度で降温し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 120°C で1h乾燥し、蛍光体1を得た。

[0070] 蛍光体1は、組成が $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl} : \text{Eu}^{2+}$ であり、 $\phi 200\ \mu\text{m}$ 、長さ $10\ \text{mm}$ のc軸方向に成長した六角柱の単結晶である。図2は、蛍光体1の発光スペクトル及び励起スペクトルを示した図である。図2に示すように、蛍光体1は、発光スペクトルS1のピーク波長が $450\ \text{nm}$ 前後の青色蛍光体である。実施例1に係る青色蛍光体は、励起スペクトルS2に示すように、主として波長が $400\ \text{nm}$ 以下の紫外線領域の光によって励起され、青色発光する。

[0071] 得られたロッド状のアパタイト結晶を、スライサーで厚さ(c軸方向) $6\ \text{mm}$ に切断し、切断面および側面を研磨し、形状を整える。

[0072] 次に、側面に金属反射膜を設ける。具体的には、イオンアシスト蒸着装置を用いて、屈折率の異なる酸化物誘電体薄膜(例えば Ta_2O_5 ($60\ \text{nm}$) / SiO_2 ($30\ \text{nm}$))の組合せを繰り返し積層し成膜する。その上に、銀($200\ \text{nm}$)を成膜し、更にその上に、保護用の SiO_2 ($50\ \text{nm}$)を成膜する。

[0073] 入射面は、精密研磨加工により算術平均粗さRaが $50\ \text{nm}$ 程度になるように研磨される。その後、イオンアシスト蒸着装置を用い、屈折率の異なる

酸化物誘電体薄膜を組み合わせて積層し、成膜する。この多層膜は、420 nm未満の波長の透過率は96%以上あるが、420 nm以上の波長に対する透過率は1%未満である、ショートパスフィルタの光学性能を示す。

[0074] 出射面は、精密研磨加工により算術平均粗さRaが30 nm程度になるように研磨される。その後、イオンアシスト蒸着装置を用い、屈折率の異なる酸化物誘電体薄膜を組み合わせて積層し、成膜する。この多層膜は、反射率90%の反射性能を示す。

[0075] 図3は、実施例1に係る蛍光体ロッドを有する発光モジュールの模式図である。発光モジュール110は、上述の蛍光体ロッド18を透明のシリコン樹脂で $\phi 200 \mu\text{m}$ （円柱状のコアの直径 $50 \mu\text{m}$ 、コアを包む円筒状のクラッドの厚み $75 \mu\text{m}$ ）の光ファイバ20の先に取り付けることで構成されている。なお、光ファイバ20の他端（入射側）には、集光・導入用の球レンズ、ロッドレンズを介して、ピーク波長が405 nmの光を発するInGaN系のレーザダイオード22が設置され、紫光が光ファイバ20内に入射される。光ファイバ20を通して単結晶の蛍光体ロッド18に入射された紫光は、蛍光体ロッド18の内部で強い指向性を示す青色光（ $\lambda_p = 460 \text{ nm}$ ）に変換される。

[0076] （実施例2：蛍光体にクロロメタ珪酸塩単結晶ロッドを用いた場合）

はじめにクロロメタ珪酸塩からなる単結晶ロッドの製造方法について説明する。出発原料として、 SiO_2 、 CaCO_3 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl の各原料を、これらのモル比が $\text{SiO}_2 : \text{CaCO}_3 : \text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} : \text{Eu}_2\text{O}_3 : \text{NH}_4\text{Cl} = 1.0 : 0.5 : 0.8 : 0.2 : 10.0$ となるように秤量し、秤量した各原料をアルミナ乳鉢に入れ粉碎混合し、原料混合物を得た。この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 1000°C まで加熱し、還元雰囲気（ $\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$ ）の電気炉で所定の雰囲気（ $\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$ ）、温度 1000°C で30時間焼成（合成）し、次に、 700°C まで $30^\circ\text{C}/\text{h}$ の冷却速度で降温し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 120°C で1 h乾燥し

、蛍光体2を得た。

[0077] 蛍光体2は、組成が $(Ca, Sr, Eu)_7(SiO_3)_6Cl_2$ であり、粒径が4mmに成長した球状の単結晶である。図4は、蛍光体2の発光スペクトル及び励起スペクトルを示した図である。図4に示すように、蛍光体2は、発光スペクトルS3のピーク波長が580nm前後の黄色蛍光体である。実施例2に係る黄色蛍光体は、励起スペクトルS4に示すように、主として波長が400nm以下または410nm以下の紫外線領域の光によって励起され、黄色発光する。

[0078] 得られたクロロメタ珪酸塩の単結晶は単斜晶であり、この単結晶をX線回折で確認しながら複屈折を示さない光軸方向に沿ってスライサーで切断し、太さ100 μ m \square の四角柱形状に研削し、表面を研磨し、再度スライサーで長さ3mmに切断し、ロッド形状に整えた。

[0079] 次に、側面に金属反射膜を設ける。具体的には実施例1と同様である。入射面の構成も実施例1と同様である。

[0080] 出射面は、精密研磨加工により算術平均粗さRaが30nm程度になるように研磨される。その後、イオンアシスト蒸着装置を用い、屈折率の異なる酸化物誘電体薄膜を組み合わせて積層し、成膜する。この多層膜は、反射率50%の反射性能を示す。

[0081] 実施例2に係る蛍光体ロッドを有する発光モジュールの構成は、実施例1に係る発光モジュール110の構成とほぼ同様であるが、 ϕ 100 μ m(円柱状のコアの直径25 μ m、コアを包む円筒状のクラッドの厚み37.5 μ m)の光ファイバを用いている点が異なる。光ファイバを通して単結晶の蛍光体ロッドに入射された紫光は、蛍光体ロッドの内部で強い指向性を示す黄色光($\lambda_p=580$ nm)に変換される。

[0082] (実施例3：蛍光体に SiO_2 と $(Ca, Eu)_7Cl_2$ からなるナノコンポジット蛍光)

ナノ蛍光成分を分散させたナノコンポジット蛍光体からなるロッドの製造方法について説明する。出発原料として、 SiO_2 ファイバ、 $CaCl_2$ 、 Eu_2

O_3 、 NH_4I の各原料を、これらのモル比が SiO_2 ファイバ： CaI_2 ： Eu_2O_3 ： NH_4I ＝1.0：0.1：0.004：0.1となるように秤量し、秤量した各原料をドライ窒素雰囲気グローブボックス中でアルミナ乳鉢に入れ粉碎混合し、原料混合物を得た。この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ C/h$ で $1000^\circ C$ まで加熱し、還元雰囲気の電気炉で所定の雰囲気（ H_2 ： N_2 ＝5：95）、温度 $1000^\circ C$ で15時間焼成（合成）し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 $120^\circ C$ で1h乾燥し、蛍光体3を得た。

[0083] 蛍光体3は、 $\phi 200\ \mu m$ 、長さ10mmの SiO_2 ファイバの中に直径約50nmの青色発光する蛍光性単結晶（ Ca, Eu ） I_2 が分散したナノコンポジット蛍光体である。図5は、蛍光体3の発光スペクトル及び励起スペクトルを示した図である。図5に示すように、蛍光体3は、発光スペクトルS5のピーク波長が465nm前後の青色蛍光体である。実施例3に係る青色蛍光体は、励起スペクトルS6に示すように、主として波長が320～450nmの範囲の紫外線や青色光の領域の光によって励起され、青色発光する。

[0084] 得られたナノコンポジット蛍光体ロッドは、スライサーで6mmに切断され、切断面を研磨し、形状を整える。

[0085] 次に、側面に金属反射膜を設ける。具体的には実施例1と同様である。入射面の構成も実施例1と同様である。出射面は、平坦研磨後、ナノインプリントを用いマスクを形成し、ドライエッチすることでピッチ100nm、高さ50nmのピラミッド状の凹凸形状を作製した。

[0086] 実施例3に係る蛍光体ロッドを有する発光モジュールの構成は、実施例1に係る発光モジュール110の構成とほぼ同様であるが、 $\phi 200\ \mu m$ （円柱状のコアの直径100 μm 、コアを包む円筒状のクラッドの厚み50 μm ）の光ファイバを用いている点が異なる。光ファイバを通して単結晶の蛍光体ロッドに入射された紫光は、蛍光体ロッドの内部で強い指向性を示す青色光（ $\lambda_p = 465\ nm$ ）に変換される。

[0087] (実施例4：フッ化物ガラスに希土類 Eu^{3+} を分散したナノコンポジット蛍光ガラスセラミックスロッドを用いた場合)

ナノコンポジット蛍光ガラスセラミックスからなるロッドの製造方法について説明する。出発原料として、 SiO_2 、 BaF_2 、 AlF_3 、 EuF_3 の各原料を、これらのモル比が SiO_2 、 BaF_2 、 AlF_3 、 $\text{EuF}_3 = 60 : 10 : 10 : 20$ となるように秤量し、アルミナ乳鉢に入れ粉碎混合し、原料混合物を得た。この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 1300°C まで加熱し、窒素雰囲気電気炉で5時間焼成(合成)し、その後自然冷却をすることで、熔融したガラス質を得た。

[0088] 得られたガラスを 600°C (ガラス転移温度以上) でアニールすることで、ガラス中に希土類由来のX線回折で回折ピークが確認できる微結晶が生じ、ナノコンポジット蛍光ガラスセラミックスを得ることができる。図6は、ナノコンポジット蛍光ガラスセラミックスの発光スペクトル及び励起スペクトルを示した図である。図6に示すように、ナノコンポジット蛍光ガラスセラミックスは、発光スペクトルS7のピーク波長が 614nm 前後の赤色蛍光体である。実施例4に係る赤色蛍光体は、励起スペクトルS8に示すように、主として波長が 400nm 未満の紫外線の領域の光によって励起され、赤色発光する。

[0089] 得られたナノコンポジット蛍光ガラスセラミックスは、スライサーで 6mm に切断され、切断面を研磨し、形状を整える。

[0090] 次に、側面に金属反射膜を設ける。具体的には実施例3と同様である。入射面および出射面の構成も実施例3と同様である。

[0091] 上述のように作成したナノコンポジット蛍光ガラスセラミックスロッドを4本用意し、大きさが $500\mu\text{m}$ のフリップチップタイプのLED(発光ピーク波長 $\lambda_p = 395\text{nm}$) の発光面上に、各ロッドの長手方向が素子光の照射方向に沿うように並べて載置し、シリコーン樹脂で封止し、実装した。LEDチップから出射した光がナノコンポジット蛍光ガラスセラミックスロッドに入射した紫光は、蛍光体ロッドの内部で強い指向性を示す赤色光(

$\lambda_p = 614 \text{ nm}$) に変換される。

[0092] (実施例5: $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ 透光性セラミックスを用いた場合)

透光性セラミックスの製造方法について説明する。 Y_2O_3 、 CeO_2 を硝酸で溶解した水溶液、 $\text{Al}_2(\text{NO}_3)_3$ を純粋で溶解した水溶液を準備し、この水溶液を濃度調整し、化学量論比に混合し、炭酸水素アンモニウムで $\text{pH} 7 \sim 9$ に調整し、炭酸塩として沈殿させ、混合原料粉末を得た。

[0093] この混合原料粉末をアルミナ坩堝に入れ、 1200°C で3時間焼成し、組成が $\text{Y}_{2.995}\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}_{0.005}$ の微粉末を得た。その微粉末を用い、 $3 \sim 15$ 重量%のスラリーを調整した。その後、鋳込み成形によりタブレットを成形した。成形したタブレットを乾燥後、 1500°C で10時間加熱して一次焼結し、一次焼結品を熱間等方圧加圧法(HIP:Hot Isostatic Pressing)で 2000°C 、 2000 気圧の条件下で5時間で緻密化し、透光性セラミックスを得た。

[0094] 図7は、透光性セラミックスの発光スペクトル及び励起スペクトルを示した図である。図7に示すように、透光性セラミックスは、発光スペクトルS9のピーク波長が 540 nm 前後の黄色蛍光体である。実施例5に係る黄色蛍光体は、励起スペクトルS10に示すように、主として波長が $430 \sim 480 \text{ nm}$ の範囲の青色領域の光によって励起され、黄色発光する。

[0095] 得られた透光性セラミックス蛍光体を、スライサーで厚さ $200 \mu\text{m}$ にスライスし、切断面を研磨した後、更に幅 $200 \mu\text{m}$ 、長さ 3 mm に切断し、切断面を研磨し、形状を整えた。

[0096] 次に、側面に金属反射膜を設ける。具体的には、イオンアシスト蒸着装置を用いて、屈折率の異なる酸化物誘電体薄膜(例えば Ta_2O_5 (60 nm) / SiO_2 (30 nm))の組合せを繰り返し積層し成膜する。その上に、銀(200 nm)を成膜した。

[0097] 入射面は、精密研磨加工により算術平均粗さ R_a が 50 nm 程度になるように研磨される。その後、イオンアシスト蒸着装置を用い、屈折率の異なる酸化物誘電体薄膜を組み合わせて積層し、成膜する。この多層膜は、 480

n m未満の波長の透過率は96%以上あるが、480nm以上の波長に対する透過率は1%未満である、ショートパスフィルタの光学性能を示す。

[0098] 出射面は、精密研磨加工により算術平均粗さRaが30nm程度になるように研磨される。その後、イオンアシスト蒸着装置を用い、屈折率の異なる酸化物誘電体薄膜を組み合わせて積層し、成膜する。この多層膜は、反射率95%の反射性能を示す。

[0099] 発光モジュールは、上述の蛍光体ロッドを透明のシリコーン樹脂で $\phi 200\mu\text{m}$ （円柱状のコアの直径 $50\mu\text{m}$ 、コアを包む円筒状のクラッドの厚み $75\mu\text{m}$ ）の光ファイバの先に取り付けることで構成されている。なお、光ファイバの他端（入射側）には、集光・導入用の球レンズ、ロッドレンズを介して、ピーク波長が455nmの光を発するInGaN系のレーザダイオードが設置され、青色光が光ファイバ内に入射される。光ファイバを通して単結晶の蛍光体ロッドに入射された青色光は、一部の光が蛍光体ロッドの内部で黄色光（ $\lambda_p = 540\text{nm}$ ）に変換され、青色光と黄色光との混色により強い指向性を示す白色光が得られる。

[0100] （比較例1：透明なマトリックスではない場合）

はじめにクロロメタ珪酸塩蛍光体からなる焼結体ロッドの製造方法について説明する。出発原料として、 SrCO_3 、 SiO_2 、 CaCO_3 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Eu_2O_3 の各原料を、これらのモル比が $\text{SrCO}_3 : \text{SiO}_2 : \text{CaCO}_3 : \text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} : \text{Eu}_2\text{O}_3 = 0.3 : 1.0 : 0.7 : 1.0 : 0.01$ となるように秤量し、秤量した各原料をアルミナ乳鉢に入れ粉碎混合し、原料混合物を得た。この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 1000°C まで加熱し、還元雰囲気（ $\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$ ）の電気炉で所定の雰囲気（ $\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$ ）、温度 1000°C で3時間焼成（合成）し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 120°C で1h乾燥し、合成物を得た。

[0101] 合成物は、組成が $(\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Eu})_7 (\text{SiO}_3)_6 \text{Cl}_2$ であり、粒径が $0.5\mu\text{m}$ の微粒子である。得られた微粒子を鋳込み成形で成形し、還元雰

囲気 ($H_2 : N_2 = 5 : 95$) で $900^\circ C$ 、100時間加熱し焼結することで、クロロメタ珪酸塩蛍光体の焼結体を得た。焼結体をスライサーで切断し、太さ $100 \mu m$ の四角柱形状に研削し、表面を研磨し、再度スライサーで長さ $3 mm$ に切断し、ロッド形状に整えた。このロッドの直線透過率は 8% と低い。

[0102] 次に、側面に金属反射膜を設ける。具体的には実施例1と同様である。入射面の構成も実施例1と同様である。

[0103] 出射面は、精密研磨加工により算術平均粗さ R_a が $30 nm$ 程度になるように研磨される。その後、イオンアシスト蒸着装置を用い、屈折率の異なる酸化物誘電体薄膜を組み合わせて積層し、成膜する。この多層膜は、反射率 50% の反射性能を示す。

[0104] 比較例1に係る蛍光体ロッドを有する発光モジュールの構成は、実施例1に係る発光モジュールの構成とほぼ同様であるが、 $\phi 100 \mu m$ (円柱状のコアの直径 $25 \mu m$ 、コアを包む円筒状のクラッドの厚み $37.5 \mu m$) の光ファイバを用いている点が異なる。光ファイバを通して焼結体の蛍光体ロッドに入射された紫光は、蛍光体ロッドの内部で指向性が余りない黄色光 ($\lambda_p = 580 nm$) に変換される。

[0105] (比較例2：蛍光体にロッド構造でないクロロメタ珪酸塩単結晶を用いた場合)

比較例2に係るクロロメタ珪酸塩単結晶を実施例2と同様の方法で得た。得られた単斜晶のクロロメタ珪酸塩単結晶を、スライサー、研削機および研磨機を用いて、一辺 $310 \mu m$ の立方体形状に加工した。これは、実施例2の蛍光体単結晶ロッドとほぼ同体積に当たる。

[0106] 側面、入射面、出射面は、実施例2と同様の表面処理を施した。また、上述の単結晶蛍光体を実施例2と同様な手法で光ファイバ先端に設置し、発光モジュールを構成した。

[0107] (比較例3：ロッド表面に反射膜を施していない場合)

比較例3に係る蛍光体は、実施例1と同様のアパタイト蛍光体単結晶ロッド

ドを実施例1と同形状に加工したものである。しかしながら、本実施の形態に係る蛍光体ロッドは、何も表面処理を施していないことが実施例1と異なる。そして、上記蛍光体を用い、実施例1と同様の構成の発光モジュールを組み立てた

[0108] (性能評価)

上述の各実施例および各比較例に係る発光モジュールにおいて出射面から出射する光の出射角を測定した。各実施例および各比較例の蛍光体における発光出射立体角および発光色を表1に示す。

[0109] [表1]

	発光出射立体角(sr)	発光色
実施例1	1.01	青
実施例2	1.14	黄
実施例3	1.20	青
実施例4	0.74	赤
実施例5	0.84	白(均一色)
比較例1	11.43	黄
比較例2	12.43	黄
比較例3	12.35	青

[0110] 表1に示すように、各実施例に係る蛍光体は、出射光の立体角が1.47 sr (半頂角40°)未満であり、蛍光体から出射する出射光が強い指向性を有することがわかる。一方、各比較例に係る蛍光体は、出射光の立体角が11.10 sr (半頂角140°)以上であり、蛍光体から出射する出射光はほとんど指向性がないことがわかる。

[0111] 図8は、比較例1に係る蛍光体ロッドの内部における光の進行状態を示す模式図である。比較例1に係るクロロメタ珪酸塩蛍光体は、単斜晶であるため、結晶方位によって屈折率が変わる。そのため、結晶子23の向きが揃っていない多結晶焼結体では、結晶粒界での屈折率変動に起因して直進性が失われ、指向性の向上は困難である。

[0112] (励起光の吸収)

粒界による散乱を生じない単結晶では、励起光の透過性も高く、励起光の吸収率が著しく低下する。そこで、本実施の形態に示す発光モジュールのように、波長変換部のロッド形状や反射膜の構成を適宜選択することで、出射光の指向性を高めるだけでなく、励起光の吸収率を高めることもできる。

[0113] ロッド形状は、励起光の指向性を整え、ロッド長手方向で何度も励起光が往復し、吸収をさせる。図9は、比較例2に係る蛍光体の内部における波長変換光を示す模式図である。比較例2のように蛍光体24がキュービク型（立方体）であると、波長変換光の向きが整わず、蛍光体24の表面24aに当たる臨界角が大きくなり、蛍光体内に十分な閉じ込め効果が得られず、効率低下をもたらす。

[0114] 表面の反射膜は、励起光を蛍光体内に閉じ込め吸収率を確保するためには、重要である。図10は、比較例3に係る蛍光体の内部における波長変換光を示す模式図である。図10に示すように、波長変換された光の一部は、側面12cを透過し外方へ向かってしまうため、励起光の利用効率が著しく低下する。

[0115] 実施例1、実施例2、比較例2および比較例3における、蛍光体組成、蛍光体形状、反射膜の有無および励起光の吸収率を表2に示す。

[0116] [表2]

	蛍光体組成	蛍光体形状	反射膜	励起光の吸収率
実施例1	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$	ロッド (φ 200 μm・6 mm)	有り	100%
比較例3	↑	↑	無し	12%
実施例2	$(\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Eu})_7(\text{SiO}_2)_6\text{Cl}_2$	ロッド (φ 100 μm・3 mm)	有り	100%
比較例2	↑	キュービク (0.31 mm□)	有り	34%

[0117] <第2の実施の形態>

図11は、第2の実施の形態に係る発光モジュールの模式図である。発光モジュール111は、光源としての発光素子10と、波長変換部12（図1参照）と、光ファイバ14と、放熱部としてのヒートシンク15と、を備える。また、発光モジュール111は、波長変換部12として柱状の蛍光体口

ッド18を有する。蛍光体ロッド18の材質の詳細については後述する。

[0118] 蛍光体ロッド18は、透明のシリコン樹脂で $\phi 200\mu\text{m}$ （円柱状のコアの直径 $50\mu\text{m}$ 、コアを包む円筒状のクラッドの厚み $75\mu\text{m}$ ）の光ファイバ14の先に取り付けられている。光ファイバ14の他端（入射側）の近傍には、集光・導入用の球レンズ、ロッドレンズを介して、発光素子10が設置されている。これにより、発熱体である発光素子10と波長変換部12とを、光ファイバ14を介して離間できるので、放熱性が向上する。なお、光ファイバを用いずに、発光素子10から出射した光を、コリメートレンズを介して、直接蛍光体ロッド18の入射部12aに集光する構成であってもよい。このように熱源を離すことで、発光モジュール全体として効率的な冷却、放熱が可能となる。

[0119] 第2の実施の形態に係る発光素子10では、ワイドバンドギャップ半導体の一つであり、ピーク波長が 405nm の光を発するInGaIn系のレーザダイオードが用いられており、紫光が光ファイバ14内に入射される。光ファイバ14を通して単結晶の蛍光体ロッド18に入射された紫光は、蛍光体ロッド18の内部で強い指向性を示す青色光（ $\lambda_p = 460\text{nm}$ ）に変換される。これにより、波長変換部12の側面から出射する光の割合が少なくなるため、ヒートシンク15で遮光される光の量も減り、発光モジュール11の配光に寄与する光の割合が多くなる。

[0120] ヒートシンク15は、波長変換部12の少なくとも一部を覆うように設けられている。第2の実施の形態に係るヒートシンク15は、半円筒状の2つの部材15a、15bに分割されており、熱伝導率の高い材料で構成されている。熱伝導率の高い材料としては、例えば、カーボン、銅、金、銀、アルミニウム、マグネシウム、亜鉛、黄銅、炭化ケイ素（SiC）、窒化ホウ素（BN）、窒化アルミニウム（AlN）等が挙げられる。また、各部材15a、15bは、内周形状が波長変換部12の外周形状に対応した形状となっており、波長変換部12を挟むように連結され、ヒートシンク15を構成する。ヒートシンク15は、熱伝導率が $50\text{ [W / (m \cdot K)]}$ 以上の材料が

用いられているとよい。これにより、ヒートシンク 15 の放熱性能が向上する。

[0121] 第 2 の実施の形態に係る波長変換部 12 は、入射部 12 a から入射した発光素子の光 L1 が出射部 12 b へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。また、波長変換部 12 は、入射部 12 a から入射した発光素子 10 の光が出射部 12 b へ向かう際に散乱する程度が、入射部 12 a から入射した発光素子 10 の光が側面 12 c へ向かう際に散乱する程度と比較して小さくなるように構成されている。そのため、入射部 12 a から出射部 12 b へ向かう光の割合が多くなり、出射部 12 b から出射する光の指向性が強くなる。また、それまでは一部の表面から外部へ漏れていた光が反射部 16 で内面反射され、出射部 12 b から出射することとなり、光の利用効率を向上できる。

[0122] このように、波長変換部 12 の側面 12 c から出射する光の割合が少なくなるため、ヒートシンク 15 で遮光される光の量も減り、発光モジュール 11 の配光に寄与する光の割合が多くなる。

[0123] 第 2 の実施の形態に係る反射膜 16 a は、側面 12 c とヒートシンク 15 との間に設けられており、波長変換部 12 に入射した発光素子 10 の光を内面反射するように構成されている。また、反射膜 16 a は、可視光反射率が 80% 以上の材料が用いられている。可視光反射率が高い材料としては、アルミニウム、銀等の金属、屈折率の異なる誘電体の積層膜、または、金属と誘電体との積層膜であってもよい。これにより、一部の側面 12 c から外部へ漏れていた光が反射膜 16 a で内面反射され、出射部 12 b から出射することとなり、光の利用効率を向上できる。

[0124] 図 12 は、第 2 の実施の形態の変形例に係る放熱部の模式図である。図 12 に示す放熱部 30 は、筒状の部材であり、内部の空間に蛍光体ロッド 18 が収容されている。放熱部 30 の外周部には、複数のフィン 30 a が蛍光体ロッド 18 の軸方向に向かって形成されている。そして、フィン 30 a の長手方向に沿って矢印 F に示す方向から送風することで、蛍光体ロッド 18 を

効率よく冷却できる。

[0125] 図13は、第2の実施の形態の他の変形例に係る放熱部の模式図である。図13に示す放熱部32は、円筒状の部材であり、内部の空間に蛍光体ロッド18が收容されている。放熱部32の外周部には、放熱部32の内部を循環する冷媒が流入する流入口32aと、冷媒が流出する流出口32bと、が設けられている。これにより、蛍光体ロッド18を効率よく冷却できる。

[0126] <第3の実施の形態>

次に、第3の実施の形態に係る蛍光部材および発光モジュールについて、実施例6～13を参照して説明する。

[0127] (実施例6)

[蛍光部材]

図14は、実施例6に係る蛍光部材の模式図である。図14に示すように、蛍光部材210は、筒状の第1の波長変換部112と、第1の波長変換部112の外径より小さな外径を有する、筒状の第2の波長変換部114と、第2の波長変換部114の外径より小さな外径を有する、柱状の第3の波長変換部116と、を備える。換言すると、第2の波長変換部114は、第1の波長変換部112の孔の内部に設けられており、第3の波長変換部116は、第2の波長変換部114の孔の内部に設けられている。これにより、複数種の波長変換部を備えたコンパクトな蛍光部材を実現できる。

[0128] 第1の波長変換部112は、光源の光L1が入射する環状の第1の入射部112aと、入射した光により励起され、波長変換された第1の色の変換光CL1が出射する環状の第1の出射部112bとを有する。第2の波長変換部114は、光源の光L1が入射する第2の入射部114aと、入射した光により励起され、波長変換された第2の色の変換光CL2が出射する第2の出射部114bとを有する。第3の波長変換部116は、光源の光L1が入射する第3の入射部116aと、入射した光により励起され、波長変換された第2の色の変換光CL3が出射する第3の出射部116bとを有する。

[0129] また、図14に示すように、第1の入射部112a、第2の入射部114

aおよび第3の入射部116aは、互いに隣接しており、光源の発光面と対向するように配置されている。

[0130] 第1の波長変換部112は、第1の入射部112aから入射した光源の光が第1の出射部112bへ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。第2の波長変換部114は、第2の入射部114aから入射した光源の光が第2の出射部114bへ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。第3の波長変換部116は、第3の入射部116aから入射した光源の光が第3の出射部116bへ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。

[0131] 蛍光部材210において、第1の波長変換部112は、第1の入射部112aから入射した光源の光が第1の出射部112bへ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されているため、第1の入射部112aから第1の出射部112bへ向かう光の割合が多くなり、第1の出射部112bから出射する第1の色の変換光CL1の指向性が強くなる。また、第2の波長変換部114は、第2の入射部114aから入射した光源の光が第2の出射部114bへ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されているため、第2の入射部114aから第2の出射部114bへ向かう光の割合が多くなり、第2の出射部114bから出射する第2の色の変換光CL2の指向性が強くなる。また、第3の波長変換部116は、第3の入射部116aから入射した光源の光が第3の出射部116bへ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されているため、第3の入射部116aから第3の出射部116bへ向かう光の割合が多くなり、第3の出射部116bから出射する第3の色の変換光CL3の指向性が強くなる。

[0132] そして、第1の色の変換光CL1と、第1の色と異なる第2の色の変換光CL2と、第3の色の変換光CL3と、を混色することで、指向性の強い、単色では実現できない多様な色の発光L2が可能となる。なお、第3の色の

変換光CL3は、第1の色の変換光CL1や第2の色の変換光CL2のいずれかと同じ色であってもよいし、いずれとも異なる色であってもよい。

[0133] また、実施例6に係る蛍光部材210において、第1の波長変換部112は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の一端に第1の入射部112aが形成されており、該部材の長手方向の他端に第1の出射部112bが形成されている。また、第2の波長変換部114は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の一端に第2の入射部114aが形成されており、該部材の長手方向の他端に第2の出射部114bが形成されている。また、第3の波長変換部116は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の一端に第3の入射部116aが形成されており、該部材の長手方向の他端に第3の出射部116bが形成されている。これにより、各入射部から入射した光が各ロッド状の部材を通過する間に方向が揃っていき、各出射部から出射する光の指向性が強くなる。

[0134] なお、第1の波長変換部112は、アスペクト比が10以上が好ましい。また、第2の波長変換部114は、アスペクト比が10以上が好ましい。また、第3の波長変換部116は、アスペクト比が10以上が好ましい。これにより、細長く指向性の強い蛍光部材を実現できる。

[0135] 前述のように、多結晶の蛍光体は、数十nm程度のごく小さな単結晶（結晶子）の集合体であり、結晶子間には結晶粒界と呼ばれる界面が存在するため、その界面により、光の散乱、遮蔽が多く起こる。そこで、実施例6に係る各波長変換部は、入射部から入射した発光素子の光が出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。ここで、散乱の程度とは、入射部から入射した発光素子の光が屈折、反射する割合と捉えることができ、その割合が低ければ散乱の程度が小さいことになる。あるいは、入射部から入射した発光素子の光が出射部へ向かう際に散乱した際にどの程度方向が変わるかで程度を判断することもできる。例えば、散乱の際に光の進行方向が30°変わる場合よりも、光の進行方向が10°しか変わらない場合の方が、散乱の程度は小さいことになる。

[0136] 各波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されている場合、単結晶材料またはセラミックス材料の主軸と、入射部および出射部を結ぶ直線との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内、より好ましくは $\pm 3^\circ$ 以内であるとよい。ここで、入射部および出射部を結ぶ直線とは、例えば、入射部および出射部と交差する直線であって、長さが最も短いものと言うことができる。あるいは、入射部と出射部の少なくとも一方の面の法線であって、他方の面と交差する直線であってもよい。また、主軸とは、光学異方性である複屈折結晶において、光を入射しても光が分かれな方向のことであり、光軸と換言することもできる。1軸性の結晶は六方晶系・正方晶系に属し、2軸性の結晶は斜方晶系・単斜晶系・三斜晶系に属する。なお、等方性の結晶、例えば、立方晶系の結晶には主軸はないことになる。これにより、主軸に平行な光ほど出射部へ到達しやすくなり、出射部から出射する光の指向性を更に強めることができる。

[0137] 以下に、実施例6に係る蛍光部材210における各波長変換部の組成や製法について説明する。実施例6に係る蛍光部材210は、第2の波長変換部114としてクロロアパタイト単結晶蛍光体を用い、第1の波長変換部112および第3の波長変換部116としてクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を用いている。

[0138] [ロッドの作成]

はじめに、第2の波長変換部114の製造方法について説明する。出発原料として、 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 CaCO_3 、 CaCl_2 、 Eu_2O_3 の各原料を、これらのモル比が $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} : \text{CaCO}_3 : \text{CaCl}_2 : \text{Eu}_2\text{O}_3 = 3.0 : 1.5 : 0.5 : 0.1$ となるように秤量し、秤量した各原料をアルミナ乳鉢に入れ粉碎混合した。その後、塩素アパタイト濃度が0.15mol%となるように、 NaCl を追加、混合した。

[0139] この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 1200°C まで加熱し、還元雰囲気電気炉で所定の雰囲気($\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$)、温度 1200°C で12時間焼成(合成)し、次に、 800°C まで 300°C

／hの冷却速度で降温し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、120℃で1h乾燥し、単結晶蛍光体を得た。

[0140] この単結晶蛍光体は、組成が $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$ であり、外径 ϕ 200 μm 、内径 ϕ 100 μm 、長さ50mmであり、c軸方向に成長した、中心部分が空洞のチューブ状六角柱のクロロアパタイト単結晶蛍光体（以下、「チューブ型蛍光体」と称する場合がある。）を得た。図15は、実施例6に係るクロロアパタイト単結晶蛍光体の発光スペクトルを示す図である。図15に示すように、実施例6に係るクロロアパタイト単結晶蛍光体は、波長405nmの励起光により、青色発光を示す蛍光体である。

[0141] 次に、チューブ型蛍光体の表面に、 SiO_2 膜を成膜する。具体的には、プラズマCVD装置にて、テトラメトキシシラン（TEOS； $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$ ）を代表とする有機シリコン化合物と酸素を混合させたキャリアガスを使い、350℃に加温したチューブ型蛍光体に、 SiO_2 を0.2 μm の厚みで成膜した。

[0142] 更に、 SiO_2 を被膜したチューブ型蛍光体の内側面と外側面にクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を形成し、これが第1の波長変換部112や第3の波長変換部116に相当する。このクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体は、波長405nmの励起光により、波長580nmにピークを持つブロードな黄色発光を示す蛍光体である。

[0143] クロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体は、出発原料として、 SiO_2 、 CaCO_3 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl の各原料を、これらのモル比が $\text{SiO}_2:\text{CaCO}_3$ 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}:\text{Eu}_2\text{O}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}=1.0:0.5:0.8:0.2:5.0$ となるように秤量する。この原料混合物と、 SiO_2 を被膜したチューブ型蛍光体と、を等量、量りとり、乳鉢で軽く混ぜた後、乾燥エアーによる混合を行う。

[0144] この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度100℃/hで850℃まで加熱し、還元雰囲気電気炉で所定の雰囲気（ $\text{H}_2:\text{N}_2=5:95$ ）、

温度850℃で40h焼成（合成）し、次に、700℃まで300℃/hの冷却速度で降温し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、120℃で1h乾燥した。

[0145] これにより、SiO₂を被膜したチューブ型蛍光体を、クロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体で包んだφ250μm、長さ50mmのロッド状の複合体を得た。このロッド状の複合体は、波長405nmの励起光により、白色発光を示す蛍光体となる。

[0146] [形状調整]

得られたロッド状の複合体をスライサーで長さ40mmに切断し、切断面及び側面を研磨して、ロッド形状を整えた。

[0147] [側面反射膜]

蛍光部材210の側面118には、イオンアシスト蒸着装置を用いて、屈折率の異なる酸化物誘電体薄膜（Ta₂O₅（60nm）/SiO₂（30nm））を交互に複数回成膜し、積層体を形成した。次に、積層体の上に銀（200nm）を成膜し、更にその上に保護膜としてSiO₂（50nm）を成膜し、側面反射膜120とした。これにより、それまでは一部の表面から外部へ漏れていた光が側面反射膜120で内面反射され、出射面から出射することとなり、光の利用効率を向上できる。

[0148] [入射面]

蛍光部材210の入射面122は、精密研磨加工により表面粗さ（算術平均粗さRa）が50nm程度（50nm±10nm）となるようにした。その後、入射面122には、イオンアシスト蒸着装置を用いて、屈折率の異なる酸化物誘電体薄膜を交互に複数回成膜し、積層体を形成した。この積層体は、ショートパスフィルタの光学性能を示し、波長が420nm未満の光の透過率は96%以上あるが、波長が420nm以上の光の透過率は1%未満である。

[0149] [出射面]

蛍光部材210の出射面124は、精密研磨加工により表面粗さ（算術平

均粗さ R_a) が 30 nm 程度 ($30\text{ nm} \pm 10\text{ nm}$) となるようにした。その後、出射面 124 には、イオンアシスト蒸着装置を用いて、屈折率の異なる酸化物誘電体薄膜を交互に複数回成膜し、積層体を形成した。この積層体は、反射率 90% の反射性能を示す。

[0150] [発光モジュール]

図 16 は、実施例 6 に係る蛍光部材を有する発光モジュールの模式図である。発光モジュール 200 は、上述のロッド状の蛍光部材 210 を透明のシリコン樹脂で $\phi 200\ \mu\text{m}$ (円柱状のコアの直径 $50\ \mu\text{m}$ 、コアを包む円筒状のクラッドの厚み $75\ \mu\text{m}$) の光ファイバ 126 の先に取り付けることで構成されている。なお、光ファイバ 126 の他端 (入射側) には、集光・導入用の球レンズ、ロッドレンズを介して、ピーク波長が 405 nm の光を発する InGaN 系の LD (Laser diode) 素子からなる発光素子 128 が設置され、紫光が光ファイバ 26 内に入射される。光源としての発光素子 128 は、LD 素子以外であってもよく、LED (Light emitting diode) 素子、EL (Electro Luminescence) 素子等の半導体発光素子が好適であるが、指向性の強い発光が可能な光源であれば前述以外の素子であってもよい。

[0151] 光ファイバ 26 を通してロッド状の単結晶の蛍光部材 210 に入射された紫光は、一部がチューブ状の第 2 の波長変換部 114 であるクロロアパタイト単結晶蛍光体に入射し、一部がチューブ状の第 3 の波長変換部 116 であるクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体に入射し、一部が六角柱状の第 1 の波長変換部 112 であるクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体に入射する。

[0152] そして、第 2 の波長変換部 114 に入射した紫光は、第 2 の波長変換部 114 の内部で強い指向性を示す青色光 ($\lambda_p = 460\text{ nm}$) に変換され、第 2 の出射部 114 b から強い指向性を有する青色光として出射する。また、第 1 の波長変換部 112 に入射した紫光は、第 1 の波長変換部 112 の内部で強い指向性を示す黄色光 ($\lambda_p = 580\text{ nm}$) に変換され、第 1 の出射部 112 b から強い指向性を有する黄色光として出射する。また、第 3 の波長変換部 116 に入射した紫光は、第 3 の波長変換部 116 の内部で強い指向

性を示す黄色光 ($\lambda_p = 580 \text{ nm}$) に変換され、第3の出射部116bから強い指向性を有する黄色光として出射する。

[0153] これにより、蛍光部材210の出射面124から出射した光は、青色光と黄色光との混色により強い指向性を示す白色光L2となる。図17は、発光モジュール200の発光スペクトルを示す図である。

[0154] (実施例7)

図18は、実施例7に係る蛍光部材の模式図である。以下の説明では、実施例6と同様の構成については同じ符号を付して説明を適宜省略する。

[0155] 実施例7に係る蛍光部材130は、筒状の第1の波長変換部112と、第1の波長変換部112の外径より小さな外径を有する、柱状の第2の波長変換部132と、を備える。第2の波長変換部132は、光源の光L1が入射する第2の入射部132aと、入射した光により励起され、波長変換された第2の色の変換光CL2が出射する第2の出射部132bとを有する。第2の波長変換部132は、第2の入射部132aから入射した光源の光が第2の出射部132bへ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。

[0156] そのため、第1の波長変換部112において、第1の入射部112aから第1の出射部112bへ向かう光の割合が多くなり、第1の出射部112bから出射する第1の色の変換光CL1の指向性が強くなる。また、第2の波長変換部132において、第2の入射部132aから第2の出射部132bへ向かう光の割合が多くなり、第2の出射部132bから出射する第2の色の変換光CL2の指向性が強くなる。

[0157] そして、第1の色の変換光CL1と、第1の色と異なる第2の色の変換光CL2と、を混色することで、指向性の強い、単色では実現できない多様な色の発光L2が可能となる。

[0158] また、実施例7に係る蛍光部材130において、第2の波長変換部132は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の一端に第2の入射部132aが形成されており、該部材の長手方向の他端に第2の出射部132bが形

成されている。これにより、各入射部から入射した光が各ロッド状の部材を通過する間に方向が揃っていき、各出射部から出射する光の指向性が強くなる。

[0159] 以下に、実施例7に係る蛍光部材130における各波長変換部の組成や製法について説明する。実施例7に係る蛍光部材130は、第2の波長変換部132としてクロロアパタイト単結晶蛍光体を用い、第1の波長変換部112としてクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を用いている。

[0160] [ロッドの作成]

はじめに、第2の波長変換部132の製造方法について説明する。出発原料として、 CaCO_3 、 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl 、 CaCl_2 、の各原料を、これらのモル比が $\text{CaCO}_3 : \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} : \text{Eu}_2\text{O}_3 : \text{NH}_4\text{Cl} : \text{CaCl}_2 := 1.8 : 3.0 : 0.1 : 1.0 : 5.0$ となるように秤量し、秤量した各原料をアルミナ乳鉢に入れ粉碎混合した。

[0161] この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 1200°C まで加熱し、還元雰囲気電気炉で所定の雰囲気 ($\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$)、温度 1200°C で10時間焼成(合成)し、次に、 800°C まで $5^\circ\text{C}/\text{h}$ の冷却速度で降温し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 120°C で1h乾燥し、単結晶蛍光体を得た。

[0162] この単結晶蛍光体は、組成が $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl} : \text{Eu}^{2+}$ であり、外径 $\phi 200\mu\text{m}$ 、長さ60mmであり、c軸方向に成長した、中実の六角柱のクロロアパタイト単結晶蛍光体(以下、「柱状蛍光体」と称する場合がある。)を得た。この柱状蛍光体は、実施例6に係るクロロアパタイト単結晶蛍光体と同様の発光スペクトルを示す。実施例7に係るクロロアパタイト単結晶蛍光体は、波長400nmの励起光により、青色発光を示す蛍光体である。

[0163] 次に、柱状蛍光体の表面に、 SiO_2 膜を成膜する。具体的には、RFマグネトロンスパッタリング装置にて、ターゲットに SiO_2 を使い、真空度0.

2 Pa ($Ar/O_2 = 50/5$ sccm)、プロセス圧力1 Paの条件下で、200°Cに加熱した柱状蛍光体に、 SiO_2 を0.2 μm の厚みで成膜した。

[0164] 更に、 SiO_2 を被膜した柱状蛍光体の外側面にクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を形成し、これが第1の波長変換部112に相当する。このクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体は、波長405 nmの励起光により、波長580 nmにピークを持つブロードな黄色発光を示す蛍光体である。

[0165] クロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体は、出発原料として、 SiO_2 、 $CaCO_3$ 、 $SrCl_2 \cdot 2H_2O$ 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl の各原料を、これらのモル比が $SiO_2 : CaCO_3 : SrCl_2 \cdot 2H_2O : Eu_2O_3 : NH_4Cl = 1.0 : 0.5 : 0.8 : 0.2 : 5.0$ となるように秤量する。この原料混合物と、 SiO_2 を被膜したチューブ型蛍光体と、を等量、量りとり、乳鉢で軽く混ぜた後、乾燥エアーによる混合を行う。

[0166] この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度100°C/hで850°Cまで加熱し、還元雰囲気電気炉で所定の雰囲気($H_2 : N_2 = 5 : 95$)、温度850°Cで40 h焼成(合成)し、次に、700°Cまで80°C/hの冷却速度で降温し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、120°Cで1 h乾燥した。

[0167] これにより、 SiO_2 を被膜した柱状蛍光体を、クロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体で包んだ $\phi 250 \mu m$ 、長さ60 mmのロッド状の複合体を得た。このロッド状の複合体は、波長405 nmの励起光により、白色発光を示す蛍光体となる。

[0168] [形状調整]

得られたロッド状の複合体をスライサーで長さ50 mmに切断し、切断面及び側面を研磨して、ロッド形状を整えた。

[0169] [側面反射膜]

蛍光部材130の側面118は、実施例6の蛍光部材210と同様に側面反射膜120が形成されている。

[0170] [入射面]

蛍光部材 130 の入射面は、実施例 6 に係る蛍光部材 210 の入射面 122 と同様の構成である。

[0171] [出射面]

蛍光部材 130 の出射面は、実施例 6 に係る蛍光部材 210 の出射面 124 と同様の構成である。

[0172] [発光モジュール]

実施例 7 に係る蛍光部材を有する発光モジュールは、実施例 6 に係る発光モジュール 200 と同様の構成であり、青色光と黄色光との混色により強い指向性を示す白色光を発する。

[0173] (実施例 8)

図 19 は、実施例 8 に係る蛍光部材の模式図である。以下の説明では、実施例 6、実施例 7 と同様の構成については同じ符号を付して説明を適宜省略する。

[0174] 実施例 8 に係る蛍光部材 140 は、円筒状の第 1 の波長変換部 142 と、第 1 の波長変換部 142 の外径より小さな外径を有する、円柱状の第 2 の波長変換部 144 と、を備える。

[0175] 第 1 の波長変換部 142 は、光源の光 L1 が入射する環状の第 1 の入射部 142a と、入射した光により励起され、波長変換された第 1 の色の変換光 CL1 が出射する環状の第 1 の出射部 142b とを有する。第 2 の波長変換部 144 は、光源の光 L1 が入射する第 2 の入射部 144a と、入射した光により励起され、波長変換された第 2 の色の変換光 CL2 が出射する第 2 の出射部 144b とを有する。

[0176] 第 1 の波長変換部 142 は、第 1 の入射部 142a から入射した光源の光が第 1 の出射部 142b へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。第 2 の波長変換部 144 は、第 2 の入射部 144a から入射した光源の光が第 2 の出射部 144b へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている。

[0177] そのため、第1の波長変換部142において、第1の入射部142aから第1の出射部142bへ向かう光の割合が多くなり、第1の出射部142bから出射する第1の色の変換光CL1の指向性が強くなる。また、第2の波長変換部144において、第2の入射部144aから第2の出射部144bへ向かう光の割合が多くなり、第2の出射部144bから出射する第2の色の変換光CL2の指向性が強くなる。

[0178] そして、第1の色の変換光CL1と、第1の色と異なる第2の色の変換光CL2と、を混色することで、指向性の強い、単色では実現できない多様な色の発光L2が可能となる。

[0179] 以下に、実施例8に係る蛍光部材140における各波長変換部の組成や製法について説明する。実施例8に係る蛍光部材140は、第2の波長変換部144としてクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を用い、第1の波長変換部142としてクロロアパタイト単結晶蛍光体を用いている。

[0180] [ロッドの作成]

はじめに、第2の波長変換部144の製造方法について説明する。クロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体は、出発原料として、 SiO_2 、 CaCO_3 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl の各原料を、これらのモル比が SiO_2 ： CaCO_3 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ： Eu_2O_3 、 NH_4Cl =1.0：0.5：0.8：0.2：5.0となるように秤量する。この原料混合物をアルミナ乳鉢で粉碎、混合する。

[0181] この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 1000°C まで加熱し、還元雰囲気電気炉で所定の雰囲気(H_2 ： $\text{N}_2=5$ ：95)、温度 1000°C で30h焼成(合成)し、次に、 700°C まで $50^\circ\text{C}/\text{h}$ の冷却速度で降温し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 120°C で1h乾燥した。

[0182] これにより、粒径4mmに成長したクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を得た。得られた単結晶蛍光体を、複屈折率を示さない光軸方向をX線回折で確認しながら、光軸方向に沿ってスライサーで切断する。切断された単結晶蛍光

体は、太さ $100\mu\text{m}$ の形状に研削、研磨された後、スライサーで長さ 3m に切断し、ロッド形状を整えた。この単結晶蛍光体は、ピーク波長が 405nm の励起光により、波長 580nm 付近にピークを持つブロードな黄色発光を示す蛍光体である。図20は、実施例8に係るクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体の発光スペクトルを示す図である。図20に示すように、実施例8に係るクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体は、波長 405nm の励起光により、黄色発光を示す蛍光体である。以下、このクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体のロッドを、黄色ロッド蛍光体と称する場合がある。

[0183] 次に、黄色ロッド蛍光体の表面に、 SiO_2 膜を成膜する。具体的には、プラズマCVD装置にて、テトラメトキシシラン (TEOS ; $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$) を代表とする有機シリコン化合物と酸素を混合させたキャリアガスを使い、 200°C に加温した黄色ロッド型蛍光体に、 SiO_2 を $0.2\mu\text{m}$ の厚みで成膜した。更に赤外線ランプで黄色ロッド蛍光体を3分照射し、生成膜を堅牢にした。

[0184] 更に、 SiO_2 を被膜した黄色ロッド蛍光体の外側面にクロロアパタイト単結晶蛍光体を形成し、これが第1の波長変換部142に相当する。このクロロアパタイト単結晶蛍光体は、波長 400nm の励起光により、波長 460nm にピークを持つブロードな青色発光を示す蛍光体である。

[0185] 製法を更に詳述すると、蒸留水に硝酸カルシウムを溶解させ、更にリン酸エトキシドを添加し（カルシウムとリンの合計モル濃度； 0.05mol/l ）、攪拌した後、濃塩酸（カルシウム 1mol に対して塩素は 1mol ）を加えた。この溶液に、 SiO_2 を被膜した黄色ロッド蛍光体を分散させ、 60°C で2時間乾燥して蒸留水を除去した。この後、大気中で 850°C 、2時間加熱することで結晶化を促進させ、 SiO_2 を被膜した黄色ロッド蛍光体を、クロロアパタイト単結晶蛍光体で包んだ太さ $\phi 200\mu\text{m}$ 長さ 4mm のロッド状の複合体を得た。

[0186] [形状調整]

得られたロッド状の複合体をスライサーで長さ 3m に切断し、切断面及

び側面を研磨して、ロッド形状を整えた。

[0187] [側面反射膜]

蛍光部材 140 の側面 118 は、実施例 6 の蛍光部材 210 と同様に側面反射膜 120 が形成されている。

[0188] [入射面]

蛍光部材 140 の入射面は、実施例 6 に係る蛍光部材 210 の入射面 122 と同様の構成である。

[0189] [出射面]

蛍光部材 140 の出射面は、実施例 6 に係る蛍光部材 210 の出射面 124 と同様の構成である。

[0190] [発光モジュール]

実施例 8 に係る蛍光部材を有する発光モジュールは、実施例 6 に係る発光モジュール 200 と同様の構成であり、青色光と黄色光との混色により強い指向性を示す白色光を発する。

[0191] (実施例 9)

実施例 9 に係る蛍光部材の構成は、実施例 8 に係る蛍光部材 140 とほぼ同じである。はじめに、実施例 8 と同様の方法によって黄色ロッド蛍光体を作製する。次に、黄色ロッド蛍光体の表面に、 SiO_2 膜を成膜する。具体的には、高周波放電装置を備えたプラズマ CVD 装置にて、テトラメトキシシラン (TEOS ; $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$) を代表とする有機シリコン化合物と酸素を混合させたキャリアガスを使い、 300°C に加温した黄色ロッド型蛍光体に、 14MHz 、 $2\text{W}/\text{cm}^2$ で高周波によるプラズマ放電を照射し、 SiO_2 を $0.2\ \mu\text{m}$ の厚みで成膜した。

[0192] 更に、 SiO_2 を被膜した黄色ロッド蛍光体の外側面にクロロアパタイト単結晶蛍光体を形成した。このクロロアパタイト単結晶蛍光体は、波長 400nm の励起光により、波長 460nm にピークを持つ青色発光を示す蛍光体である。

[0193] 製法を更に詳述すると、蒸留水にカルシウムエトキシドを溶解させ、更に

リン酸を添加し（カルシウムとリンの合計モル濃度； 0.05 mol/l ）、攪拌した後、濃塩酸（カルシウム 1 mol に対して塩素は 1.5 mol ）を加えた。この溶液に、 SiO_2 を被膜した黄色ロッド蛍光体を分散させ、 60°C で2時間乾燥して蒸留水を除去した。この後、大気中で 850°C 、2時間加熱することで結晶化を促進させ、 SiO_2 を被膜した黄色ロッド蛍光体を、クロロアパタイト単結晶蛍光体で包んだ、太さ $\phi 200\ \mu\text{m}$ 、長さ 4 mm 程度のロッド状の複合体を得た。

[0194] その後は、実施例8と同様の手法により発光モジュールを作成した。実施例9に係る発光モジュールは、前述の各実施例に係る発光モジュールと同様に、青色光と黄色光との混色により強い指向性を示す白色光を発する。

[0195] （実施例10）

図21は、実施例10に係る蛍光部材の模式図である。以下の説明では、実施例6～9と同様の構成については同じ符号を付して説明を適宜省略する。

[0196] 実施例10に係る蛍光部材150は、円筒状の第1の波長変換部152と、第1の波長変換部152の外径より小さな外径を有する、円柱状の第2の波長変換部154と、を備える。

[0197] 以下に、実施例10に係る蛍光部材150における各波長変換部の組成や製法について説明する。実施例10に係る蛍光部材150は、第2の波長変換部154としてナノコンポジット蛍光体を用い、第1の波長変換部152としてクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を用いている。

[0198] [ロッドの作成]

はじめに、第2の波長変換部154の製造方法について説明する。ナノコンポジット蛍光体は、出発原料として、 SiO_2 ファイバ、 CaI_2 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl を用いる。そして、 CaI_2 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl の各原料を、これらのモル比が $\text{CaI}_2 : \text{Eu}_2\text{O}_3 : \text{NH}_4\text{Cl} = 0.1 : 0.004 : 0.1$ となるように秤量する。この原料混合物をアルミナ乳鉢で粉碎、混合した後、 SiO_2 ファイバ($\phi 200\ \mu\text{m}$ 、長さ 10 mm)を3本更に混合する

- 。
- [0199] この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ で 1000°C まで加熱し、還元雰囲気電気炉で所定の雰囲気 ($\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$)、温度 1000°C で 15 h 焼成 (合成) し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 120°C で 1 h 乾燥した。
- [0200] これにより、 $\phi 200\ \mu\text{m}$ 、長さ 10 mm の SiO_2 ファイバの中に直径約 $50\ \text{nm}$ の青色発光する蛍光体単結晶 (Ca, Eu) I_2 が分散したナノコンポジット蛍光体 (以下、「ナノコンポジット蛍光体」と称することがある。) を得た。図 22 は、実施例 10 に係るナノコンポジット蛍光体の発光スペクトルを示す図である。図 22 に示すように、実施例 10 に係るナノコンポジット蛍光体は、ピーク波長が $405\ \text{nm}$ の励起光により、波長 $465\ \text{nm}$ 付近にピークを持つ青色発光を示す蛍光体である。
- [0201] 次に、ナノコンポジット蛍光体の表面に、 SiO_2 膜を成膜する。具体的には、プラズマ CVD 装置にて、テトラメトキシシラン ($\text{TEOS}; \text{Si}(\text{OCH}_3)_4$) を代表とする有機シリコン化合物と酸素を混合させたキャリアガスを使い、 400°C に加温したナノコンポジット蛍光体に、 SiO_2 を $0.2\ \mu\text{m}$ の厚みで成膜した。
- [0202] 更に、 SiO_2 を被膜したナノコンポジット蛍光体の外側面にクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を形成し、これが第 1 の波長変換部 152 に相当する。このクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体は、波長 $405\ \text{nm}$ の励起光により、波長 $580\ \text{nm}$ にピークを持つブロードな黄色発光を示す蛍光体である。
- [0203] クロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体は、出発原料として、 SiO_2 、 CaCO_3 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl の各原料を、これらのモル比が $\text{SiO}_2 : \text{CaCO}_3 : \text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} : \text{Eu}_2\text{O}_3 : \text{NH}_4\text{Cl} = 1.0 : 0.5 : 0.8 : 0.2 : 5.0$ となるように秤量し、秤量した各原料をアルミナ乳鉢に入れ粉碎混合した。
- [0204] この原料混合物と、 SiO_2 を被膜したナノコンポジット蛍光体とをアルミ

ナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ で 850°C まで加熱し、還元雰囲気
の電気炉で所定の雰囲気 ($\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$)、温度 850°C で 10h 焼成
(合成) し、次に、 700°C まで $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ の冷却速度で降温し、その後自
然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し
、 120°C で 1h 乾燥した。

[0205] これにより、 SiO_2 を被膜したナノコンポジット蛍光体ロッドを、クロロ
メタ珪酸塩単結晶蛍光体で包んだ $\phi 200\mu\text{m}$ 、長さ 10mm のロッド状の
複合体を得た。

[0206] [形状調整]

得られたロッド状の複合体をスライサーで長さ 8mm に切断し、切断面及
び側面を研磨して、ロッド形状を整えた。

[0207] [側面反射膜]

蛍光部材 150 の側面 118 は、実施例 6 の蛍光部材 210 と同様に側面
反射膜 120 が形成されている。

[0208] [入射面]

蛍光部材 150 の入射面は、実施例 6 に係る蛍光部材 210 の入射面 12
2 と同様の構成である。

[0209] [出射面]

蛍光部材 150 の出射面は、実施例 6 に係る蛍光部材 210 の出射面 12
4 と同様の構成である。

[0210] [発光モジュール]

実施例 10 に係る蛍光部材を有する発光モジュールは、実施例 6 に係る発
光モジュール 200 と同様の構成であり、光ファイバを通してロッドに入射
された紫光は、ナノコンポジット蛍光体ロッド (単結晶 $(\text{Ca}, \text{Eu})\text{I}_2$ が
分散したナノコンポジット蛍光体) とクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体により
、強い指向性を示す白色光に変換される。

[0211] (実施例 11)

図 23 は、実施例 11 に係る蛍光部材の模式図である。以下の説明では、

実施例6～10と同様の構成については同じ符号を付して説明を適宜省略する。

[0212] 実施例11に係る蛍光部材160は、円筒状の第1の波長変換部162と、第1の波長変換部162の外径より小さな外径を有する、円柱状の第2の波長変換部164と、を備える。

[0213] 以下に、実施例11に係る蛍光部材160における各波長変換部の組成や製法について説明する。実施例11に係る蛍光部材160は、第2の波長変換部164としてクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を用い、第1の波長変換部162としてナノコンジット蛍光体を用いている。

[0214] [ロッドの作成]

はじめに、第2の波長変換部164の製造方法について説明する。クロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体は、出発原料として、 SiO_2 、 CaCO_3 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl の各原料を、これらのモル比が SiO_2 ： CaCO_3 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ： Eu_2O_3 、 NH_4Cl =1.0：0.5：0.8：0.2：5.0となるように秤量する。この原料混合物をアルミナ乳鉢で粉碎、混合する。

[0215] この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 1000°C まで加熱し、還元雰囲気電気炉で所定の雰囲気(H_2 ： $\text{N}_2=5$ ： 95)、温度 1000°C で30h焼成(合成)し、次に、 700°C まで $80^\circ\text{C}/\text{h}$ の冷却速度で降温し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 120°C で1h乾燥した。

[0216] これにより、粒径8mmに成長したクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を得た。得られた結晶は複屈折率を示さない光軸方向をX線回折で確認しながら、光軸方向に沿ってスライサーで切断する。切断された単結晶蛍光体は、太さ $100\mu\text{m}$ の形状に研削、研磨された後、スライサーで長さ6mmに切断し、ロッド形状を整えた。この単結晶蛍光体は、ピーク波長が 405nm の励起光により、波長 580nm 付近にピークを持つブロードな黄色発光を示す蛍光体である。

[0217] 次に、黄色ロッド蛍光体の表面に、 SiO_2 膜を成膜する。具体的には、プラズマCVD装置にて、テトラメトキシシラン (TEOS ; $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$) を代表とする有機シリコン化合物と酸素を混合させたキャリアガスを使い、 200°C に加温した黄色ロッド型蛍光体に、 SiO_2 を $0.2\ \mu\text{m}$ の厚みで成膜した。更に赤外線ランプで黄色ロッド蛍光体を3分照射し、生成膜を堅牢にした。

[0218] 更に、 SiO_2 を被膜した黄色ロッド蛍光体の外側面にナノコンポジット蛍光体を形成する。ナノコンポジット蛍光体は、出発原料として、 SiO_2 、 CaI_2 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl を用いる。そして、 SiO_2 、 CaI_2 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl の各原料を、これらのモル比が $\text{SiO}_2:\text{CaI}_2:\text{Eu}_2\text{O}_3:\text{NH}_4\text{Cl}=1.0:0.1:0.004:0.1$ となるように秤量する。この原料混合物を乾燥窒素雰囲気グローブ中にて、アルミナ乳鉢で粉砕、混合する。

[0219] この原料混合物と、 SiO_2 を被膜した黄色ロッド蛍光体とをアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 850°C まで加熱し、還元雰囲気電気炉で所定の雰囲気 ($\text{H}_2:\text{N}_2=5:95$)、温度 850°C で5h焼成(合成)し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 120°C で1h乾燥した。

[0220] これにより、 SiO_2 を被膜した黄色ロッド蛍光体をナノコンポジット蛍光体ロッドで包んだ $\phi 200\ \mu\text{m}$ 、長さ8mmのロッド状の複合体を得た。

[形状調整]

得られたロッド状の複合体をスライサーで長さ6mmに切断し、切断面及び側面を研磨して、ロッド形状を整えた。

[0221] [側面反射膜]

蛍光部材160の側面118は、実施例6の蛍光部材210と同様に側面反射膜120が形成されている。

[0222] [入射面]

蛍光部材160の入射面は、実施例6に係る蛍光部材210の入射面12

2と同様の構成である。

[0223] [出射面]

蛍光部材160の出射面は、実施例6に係る蛍光部材210の出射面124と同様の構成である。

[0224] [発光モジュール]

実施例11に係る蛍光部材を有する発光モジュールは、実施例6に係る発光モジュール200と同様の構成であり、光ファイバを通してロッドに入射された紫光は、ナノコンポジット蛍光体ロッド（単結晶（Ca, Eu）I₂が分散したナノコンポジット蛍光体）とクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体により、強い指向性を示す白色光に変換される。

[0225] (実施例12)

図24は、実施例12に係る蛍光部材の模式図である。以下の説明では、実施例6～11と同様の構成については同じ符号を付して説明を適宜省略する。

[0226] 実施例12に係る蛍光部材170は、円柱状の第1の波長変換部172と、円柱状の第2の波長変換部174と、を備える。蛍光部材170では、第1の波長変換部172および第2の波長変換部174の直径はほぼ同じである。また、第1の波長変換部172の第1の出射部172bと、第2の波長変換部174の第2の入射部174aとは、対向するように配置されている。

[0227] 以下に、実施例12に係る蛍光部材170における各波長変換部の組成や製法について説明する。実施例12に係る蛍光部材170は、第1の波長変換部172としてクロロアパタイト単結晶蛍光体を用い、第2の波長変換部174としてクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を用いている。

[0228] [ロッドの作成]

はじめに、第2の波長変換部174の製造方法について説明する。クロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体は、出発原料として、SiO₂、CaCO₃、SrCl₂・2H₂O、Eu₂O₃、NH₄Clの各原料を、これらのモル比がSiO₂

: CaCO_3 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: Eu_2O_3 、 NH_4Cl = 1.0 : 0.5 : 0.8 : 0.2 : 5.0 となるように秤量する。この原料混合物をアルミナ乳鉢で粉碎、混合する。

[0229] この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 1000°C まで加熱し、還元雰囲気電気炉で所定の雰囲気 ($\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$)、温度 1000°C で 30 h 焼成 (合成) し、次に、 700°C まで $50^\circ\text{C}/\text{h}$ の冷却速度で降温し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 120°C で 1 h 乾燥した。

[0230] これにより、粒径 8 mm に成長したクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を得た。得られた単結晶蛍光体を、複屈折率を示さない光軸方向を X 線回折で確認しながら、光軸方向に沿ってスライサーで切断する。切断された単結晶蛍光体は、太さ $100\ \mu\text{m}$ の形状に研削、研磨された後、スライサーで長さ 6 mm に切断し、ロッド形状を整えた。この単結晶蛍光体は、ピーク波長が $400\ \text{nm}$ の励起光により、波長 $580\ \text{nm}$ 付近にピークを持つブロードな黄色発光を示す蛍光体である。以下、このクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体のロッドを、黄色ロッド蛍光体と称する場合がある。

[0231] 次に、第 1 の波長変換部 172 となるクロロアパタイト単結晶蛍光体を作製する。クロロアパタイト単結晶蛍光体は、出発原料として、 CaCO_3 、 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl 、 CaCl_2 の各原料を、これらのモル比が CaCO_3 、 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 Eu_2O_3 、 NH_4Cl 、 $\text{CaCl}_2 = 1.8 : 3.0 : 0.1 : 1.0 : 5.0$ となるように秤量する。この原料混合物をアルミナ乳鉢で粉碎、混合する。

[0232] この原料混合物をアルミナ坩堝に入れ、昇温速度 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ で 1200°C まで加熱し、還元雰囲気電気炉で所定の雰囲気 ($\text{H}_2 : \text{N}_2 = 5 : 95$)、温度 1200°C で 10 時間焼成 (合成) し、次に、 800°C まで $5^\circ\text{C}/\text{h}$ の冷却速度で降温し、その後自然冷却をして焼成物を得た。得られた焼成物を温純水で丹念に洗浄、ろ過し、 120°C で 1 h 乾燥し、単結晶蛍光体を得た。

[0233] この単結晶蛍光体は、組成が $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$ であり、長さ8 mmであり、c軸方向に成長した、中実の六角柱のクロロアパタイト単結晶蛍光体（以下、「柱状蛍光体」と称する場合がある。）を得た。この柱状蛍光体は、実施例6に係るクロロアパタイト単結晶蛍光体と同様の発光スペクトルを示す。得られた六角柱のクロロアパタイト単結晶蛍光体は、スライサーで長さ6 mmに切断し、太さ $\phi 100\ \mu\text{m}$ に切削し、切断面及び側面を研磨し、ロッド形状を整えた。以下、このクロロアパタイト単結晶蛍光体のロッドを、青色ロッド蛍光体と称する。

[0234] 次に、黄色ロッド蛍光体の表面と青色ロッド蛍光体の表面とを常温接合する。具体的には、両蛍光体とも、接合面の表面粗さをRaが1 nm以下となるように研磨する。そして、高真空（ $\sim 10^{-5}\ \text{Pa}$ 以下）中に、一定間隔（2 mm）で接合面を上下向き合うように設置し、2つの材料表面の酸化膜層や吸着分子をアルゴンビームでエッチングする。その後、接合面を合わせ、加圧して接合する。あるいは、オプティカルコンタクトにより接合させ、600°C、1 h加熱して接合強度を高めてもよい。

[0235] [形状調整]

接合されたロッド状の複合体をスライサーで長さ10 mmに切断し、太さ $100\ \mu\text{m}$ の形状に切断面及び側面を研磨して、ロッド形状を整えた。

[0236] [側面反射膜]

蛍光部材170の側面118は、実施例6の蛍光部材210と同様に側面反射膜120が形成されている。

[0237] [入射面]

蛍光部材170の入射面は、実施例6に係る蛍光部材210の入射面122と同様の構成である。

[0238] [出射面]

蛍光部材170の出射面は、実施例6に係る蛍光部材210の出射面124と同様の構成である。

[0239] [発光モジュール]

実施例 1 2 に係る蛍光部材を有する発光モジュールは、実施例 6 に係る発光モジュール 2 0 0 と同様の構成であり、青色光と黄色光との混色により強い指向性を示す白色光を発する。

[0240] (実施例 1 3)

図 2 5 は、実施例 1 3 に係る蛍光部材の模式図である。以下の説明では、実施例 6 ~ 7 と同様の構成については同じ符号を付して説明を適宜省略する。

[0241] 実施例 1 3 に係る蛍光部材 1 8 0 は、円柱状の第 1 の波長変換部 1 8 2 と、円柱状の第 2 の波長変換部 1 8 4 と、第 1 の波長変換部 1 8 2 と第 2 の波長変換部 1 8 4 との間に設けられている円柱状の緩衝層 1 8 6 と、を備える。蛍光部材 1 8 0 では、第 1 の波長変換部 1 8 2、第 2 の波長変換部 1 8 4 および緩衝層 1 8 6 の直径はほぼ同じである。また、第 1 の波長変換部 1 8 2 の第 1 の出射部 1 8 2 b と、第 2 の波長変換部 1 8 4 の第 2 の入射部 1 8 4 a とは、緩衝層 1 8 6 を挟んで対向するように配置されている。

[0242] 以下に、実施例 1 3 に係る蛍光部材 1 8 0 における各波長変換部および緩衝層の組成や製法について説明する。実施例 1 3 に係る蛍光部材 1 8 0 は、第 1 の波長変換部 1 8 2 としてクロロアパタイト単結晶蛍光体を用い、第 2 の波長変換部 1 8 4 としてクロロメタ珪酸塩単結晶蛍光体を用いている。

[0243] [ロッドの作成]

はじめに、第 2 の波長変換部 1 8 4 を製造する。第 2 の波長変換部 1 8 4 の製造方法は、実施例 1 2 に係る第 2 の波長変換部 1 7 4 と同様である。

[0244] 次に、第 1 の波長変換部 1 8 2 となるクロロアパタイト単結晶蛍光体を作製する。第 1 の波長変換部 1 8 2 の製造方法は、実施例 1 2 に係る第 1 の波長変換部 1 7 2 と同様である。

[0245] 次に、緩衝層 1 8 6 を第 1 の波長変換部 1 8 2 および第 2 の波長変換部 1 8 4 の間に設け、互いに接合する。緩衝層 1 8 6 は、太さ $\phi 250 \mu\text{m}$ 、長さ 1 mm のロッド形状であり、切断面及び側面を研磨して外形形状を整えたものである。ロッドは SiO_2 を基にした珪酸塩ガラス、石英、またはフッ化

ガラスが好適である。

[0246] はじめに、第1の波長変換部182と緩衝層186とを接合する。具体的には、各接合面を十分に研磨、洗浄した後、ゾルゲル材料が膜厚0.3 μ mとなるように接合面にスピコートで塗布する。その後、速やかに真空乾燥し、互いの接合面を接触させ、干渉縞が視認できなくなるように治具を用いて挟み込み、350 $^{\circ}$ Cで2h加熱し、冷却後、治具を外した。更に、第1の波長変換部182と緩衝層186とが接合したロッド状積層体に、第2の波長変換部184を前述と同様の手法で接合した。なお、緩衝層186と、第1の波長変換部182および第2の波長変換部184とを同時に接合してもよい。

[0247] [形状調整]

接合されたロッド状の複合体をスライサーで長さ10mmに切断し、太さ250 μ mの形状に切断面及び側面を研磨して、ロッド形状を整えた。

[0248] [側面反射膜]

蛍光部材180の側面118は、実施例6の蛍光部材210と同様に側面反射膜120が形成されている。

[0249] [入射面]

蛍光部材180の入射面は、実施例6に係る蛍光部材210の入射面122と同様の構成である。

[0250] [出射面]

蛍光部材180の出射面は、実施例6に係る蛍光部材210の出射面124と同様の構成である。

[0251] [発光モジュール]

実施例13に係る蛍光部材を有する発光モジュールは、実施例6に係る発光モジュール200と同様の構成であり、青色光と黄色光との混色により強い指向性を示す白色光を発する。

[0252] (発光モジュールの用途)

上述の各実施例に係る発光モジュールは、指向性の高い光を実現できる。

指向性の高い光は、例えば、医療機器、光学機器、通信用光源など様々な分野に利用できる。中でも、白色光が出せる光源の場合、LEDよりも高効率な照明やディスプレイ用バックライトへの適用が可能となる。

[0253] また、高い光束が効率よく得られることから、従来のレーザ光源より省エネルギーかつコンパクトな強指向性光源を実現できる。以下、適用例を説明する。

[0254] (1) 光線力学的治療

肺の中の病巣での腫瘍と正常細胞を区別して診断するために、腫瘍親和性の光感性物質を静脈内注射し、数時間後、気管支鏡を使って、強指向性光源を病巣部に照射する。これにより、病巣の位置を精度良く把握できる。

[0255] (2) ウツを緩和する光療法

耳の穴を通して指向性の高い光を照射する。これにより、照射時間が短くてもウツを緩和する効果を高めることができる。

[0256] (3) ウェアラブル端末等の小型装置の光源

上述の各実施例に係る発光モジュールは、省エネルギーかつコンパクトな強指向性光源として適用が可能となる。

[0257] (4) 高輝度ランプ

上述の各実施例に係る発光モジュールは、より小さい領域からの出射光と高い光束を実現できることから、より高輝度のランプの光源に利用できる。特に、省電力、小型化が求められる自動車用ランプに利用できる。

[0258] (5) その他

上述の各実施例に係る発光モジュールは、プロジェクタ、光学顕微鏡、蛍光顕微鏡等の微小部分への照明装置に利用できる。また、レーザポインタの光源に利用することで、巨大スクリーンで使うときのように距離が離れていても光がにじまない。また、レーザショーで用いる照明の光源としても利用できる。

[0259] 以上、本発明を実施の形態や各実施例をもとに説明した。この実施の形態や各実施例は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組合せに

いろいろな変形例が可能なこと、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。

符号の説明

[0260] 10 発光素子、 12 波長変換部、 12a 入射部、 12b 出射部、 12c 側面、 16 反射部、 16a 反射膜、 16b ショートパスフィルタ、 16c 反射膜、 18 蛍光体ロッド、 20 光ファイバ、 22 レーザダイオード、 23 結晶子、 24 蛍光体、 24a 表面、 100, 110 発光モジュール。

産業上の利用可能性

[0261] 本発明は、蛍光部材および発光モジュールに利用できる。

請求の範囲

- [請求項1] 光源の光が入射する入射部と、入射した光により励起され、波長変換された変換光が出射する出射部とを有する波長変換部と、
前記波長変換部の表面の少なくとも一部に設けられた反射部と、を備え、
前記波長変換部は、前記入射部から入射した光源の光が前記出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている、
ことを特徴とする蛍光部材。
- [請求項2] 前記波長変換部は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の両端に前記入射部および前記出射部が形成されていることを特徴とする請求項1に記載の蛍光部材。
- [請求項3] 前記波長変換部は、アスペクト比が10～100であることを特徴とする請求項2に記載の蛍光部材。
- [請求項4] 前記波長変換部は、多角柱または円柱であり、前記入射部および前記出射部とは異なる側面に前記反射部が設けられていることを特徴とする請求項2または3に記載の蛍光部材。
- [請求項5] 前記波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されており、前記単結晶材料または前記セラミックス材料の主軸と、前記入射部および前記出射部を結ぶ直線との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の蛍光部材。
- [請求項6] 光源と、
前記光源の光が入射する入射部と、入射した光により励起され、波長変換された変換光が出射する出射部とを有する波長変換部と、を備え、
前記波長変換部は、前記入射部から入射した光源の光が前記出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されている、

ことを特徴とする発光モジュール。

[請求項7] 前記波長変換部は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の両端に前記入射部および前記出射部が形成されていることを特徴とする請求項6に記載の発光モジュール。

[請求項8] 前記波長変換部は、アスペクト比が10～100であることを特徴とする請求項7に記載の発光モジュール。

[請求項9] 前記波長変換部の表面の少なくとも一部に設けられた反射部を更に備え、

前記波長変換部は、多角柱または円柱であり、前記入射部および前記出射部とは異なる側面に前記反射部が設けられていることを特徴とする請求項7または8に記載の発光モジュール。

[請求項10] 前記波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されており、前記単結晶材料または前記セラミックス材料の主軸と、前記光源の光軸との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であることを特徴とする請求項6乃至9のいずれか1項に記載の発光モジュール。

[請求項11] 光源と、

光源の光が入射する入射部と、入射した光により励起され、波長変換された変換光が出射する出射部と、前記入射部および前記出射部とは異なる側面と、を有する波長変換部と、

前記側面の少なくとも一部を覆うように設けられた放熱部と、を備え、

前記波長変換部は、前記入射部から入射した光源の光に対して指向性を有するように構成されていることを特徴とする発光モジュール。

[請求項12] 前記放熱部は、熱伝導率が50 [W / (m · K)] 以上の材料が用いられていることを特徴とする請求項11に記載の発光モジュール。

[請求項13] 前記側面と前記放熱部との間に設けられた反射部を更に備え、

前記反射部は、前記波長変換部に入射した光源の光を内面反射するように構成されており、可視光反射率が80%以上の材料が用いられ

ていることを特徴とする請求項 1 1 または 1 2 に記載の発光モジュール。

[請求項14] 前記波長変換部は、前記入射部から入射した光源の光が前記出射部へ向かう際に散乱する程度が、前記入射部から入射した光源の光が前記側面へ向かう際に散乱する程度と比較して小さくなるように構成されていることを特徴とする請求項 1 1 乃至 1 3 のいずれか 1 項に記載の発光モジュール。

[請求項15] 前記波長変換部は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の両端に前記入射部および前記出射部が形成されていることを特徴とする請求項 1 1 乃至 1 4 のいずれか 1 項に記載の発光モジュール。

[請求項16] 前記波長変換部は、アスペクト比が 1 0 ~ 1 0 0 であることを特徴とする請求項 1 1 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の発光モジュール。

[請求項17] 前記波長変換部は、多角柱または円柱であることを特徴とする請求項 1 1 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の発光モジュール。

[請求項18] 前記波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されており、前記単結晶材料または前記セラミックス材料の主軸と、前記入射部および前記出射部を結ぶ直線との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であることを特徴とする請求項 1 1 乃至 1 7 のいずれか 1 項に記載の発光モジュール。

[請求項19] 光源の光が入射する第 1 の入射部と、入射した光により励起され、波長変換された第 1 の色の変換光が出射する第 1 の出射部とを有する第 1 の波長変換部と、

光源の光が入射する第 2 の入射部と、入射した光により励起され、波長変換された第 2 の色の変換光が出射する第 2 の出射部とを有する第 2 の波長変換部と、を備え、

前記第 1 の波長変換部は、前記第 1 の入射部から入射した光源の光が前記第 1 の出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されており、

前記第2の波長変換部は、前記第2の入射部から入射した光源の光が前記第2の出射部へ向かう際に散乱する程度が、多結晶材料の場合と比較して小さい材料で構成されていることを特徴とする蛍光部材。

[請求項20]

前記第1の波長変換部は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の一端に前記第1の入射部が形成されており、該部材の長手方向の他端に前記第1の出射部が形成されており、

前記第2の波長変換部は、ロッド状の部材であり、該部材の長手方向の一端に前記第2の入射部が形成されており、該部材の長手方向の他端に前記第2の出射部が形成されていることを特徴とする請求項19に記載の蛍光部材。

[請求項21]

前記第1の波長変換部は、筒状部材であり、

前記第2の波長変換部は、前記第1の波長変換部の孔の内部に設けられていることを特徴とする請求項20に記載の蛍光部材。

[請求項22]

前記第1の波長変換部は、アスペクト比が10以上であり、

前記第2の波長変換部は、アスペクト比が10以上であることを特徴とする請求項20または21に記載の蛍光部材。

[請求項23]

前記第1の波長変換部は、柱状部材であり、

前記第2の波長変換部は、柱状部材であり、

前記第1の波長変換部および前記第2の波長変換部は、前記第1の出射部と前記第2の入射部とが対向するように配置されていることを特徴とする請求項19に記載の蛍光部材。

[請求項24]

前記第1の波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されており、前記単結晶材料または前記セラミックス材料の主軸と、前記第1の入射部および前記第1の出射部を結ぶ直線との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であることを特徴とする請求項19乃至23のいずれか1項に記載の蛍光部材。

[請求項25]

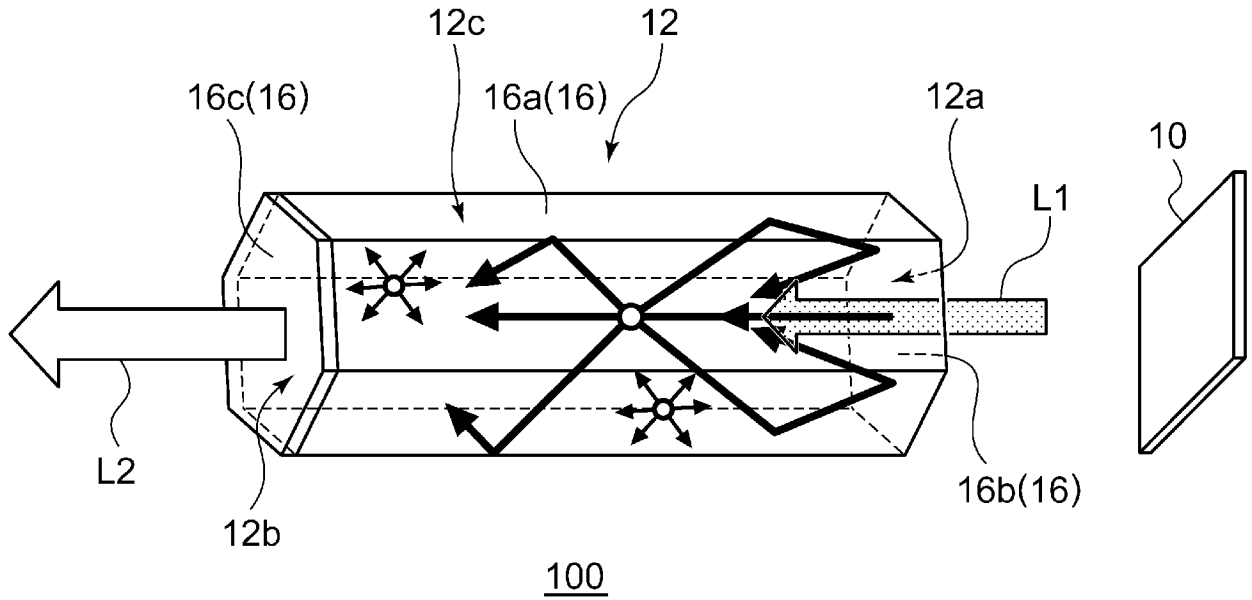
前記第2の波長変換部は、単結晶材料またはセラミックス材料で構成されており、前記単結晶材料または前記セラミックス材料の主軸と

、前記第2の入射部および前記第2の出射部を結ぶ直線との成す角が $\pm 5^\circ$ 以内であることを特徴とする請求項19乃至24のいずれか1項に記載の蛍光部材。

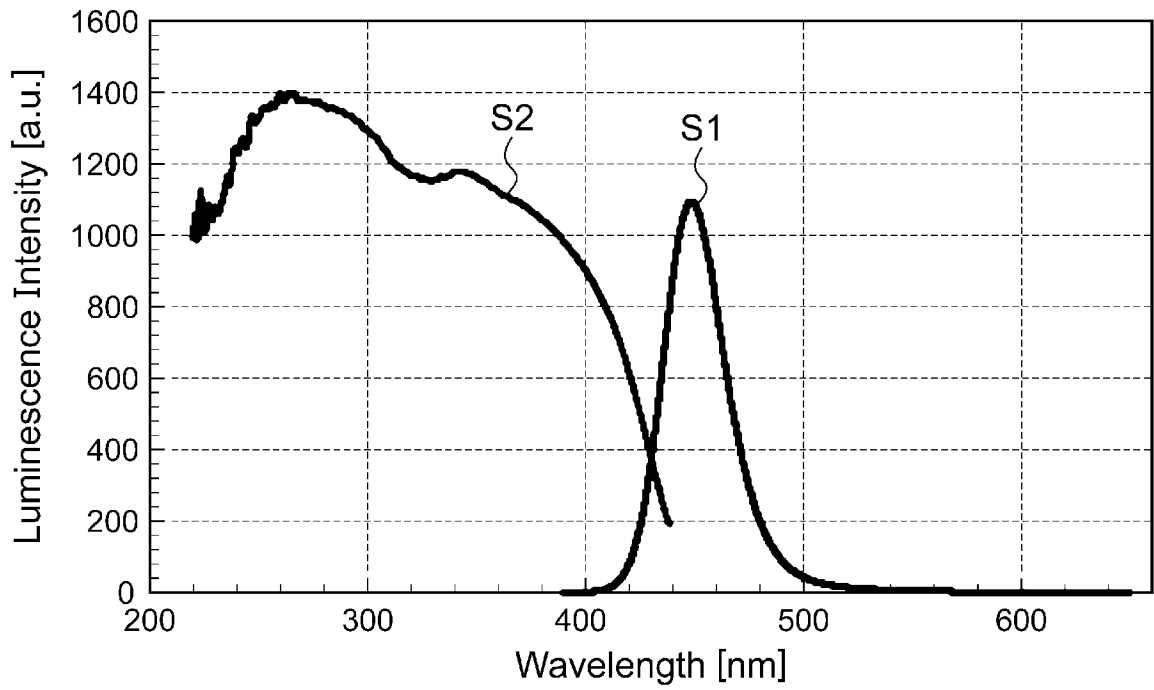
[請求項26]

光源と、
請求項19乃至25のいずれか1項に記載の蛍光部材と、を備え、
前記第1の入射部および前記第2の入射部は、互いに隣接しており、
前記光源の発光面と対向するように配置されていることを特徴とする
発光モジュール。

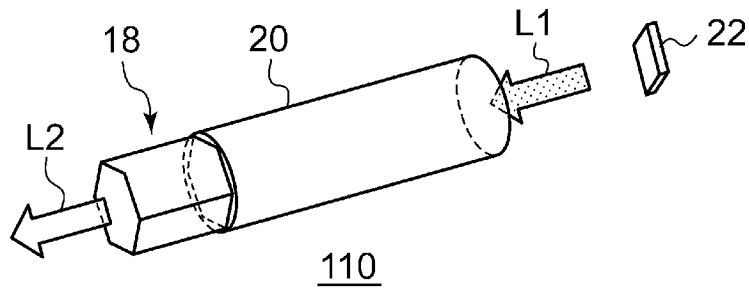
[図1]



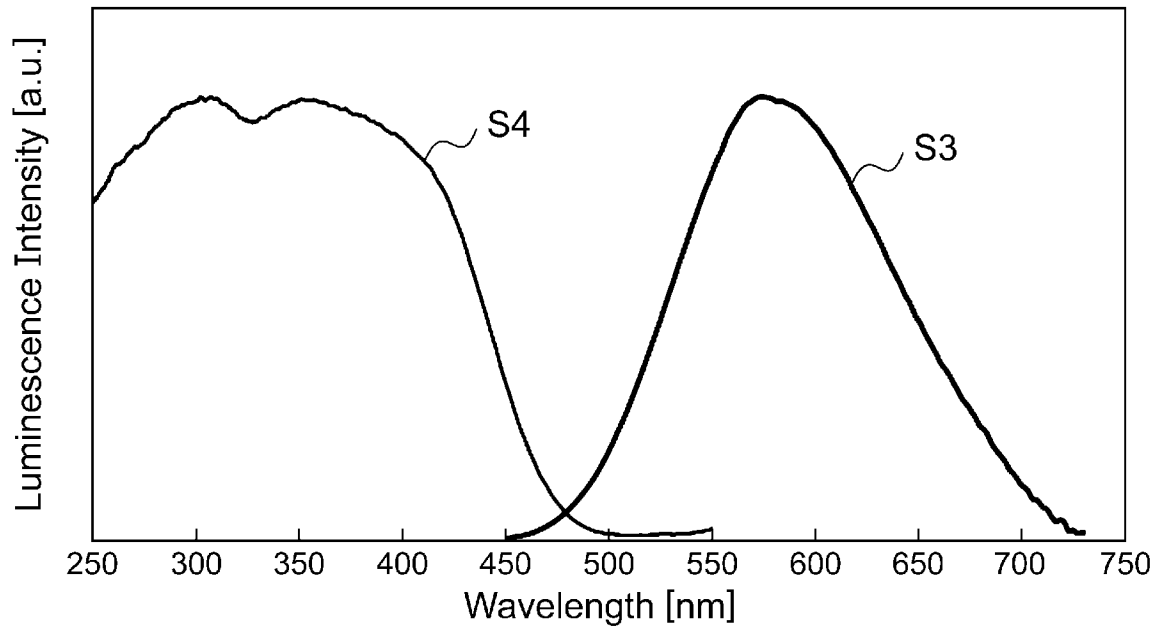
[図2]



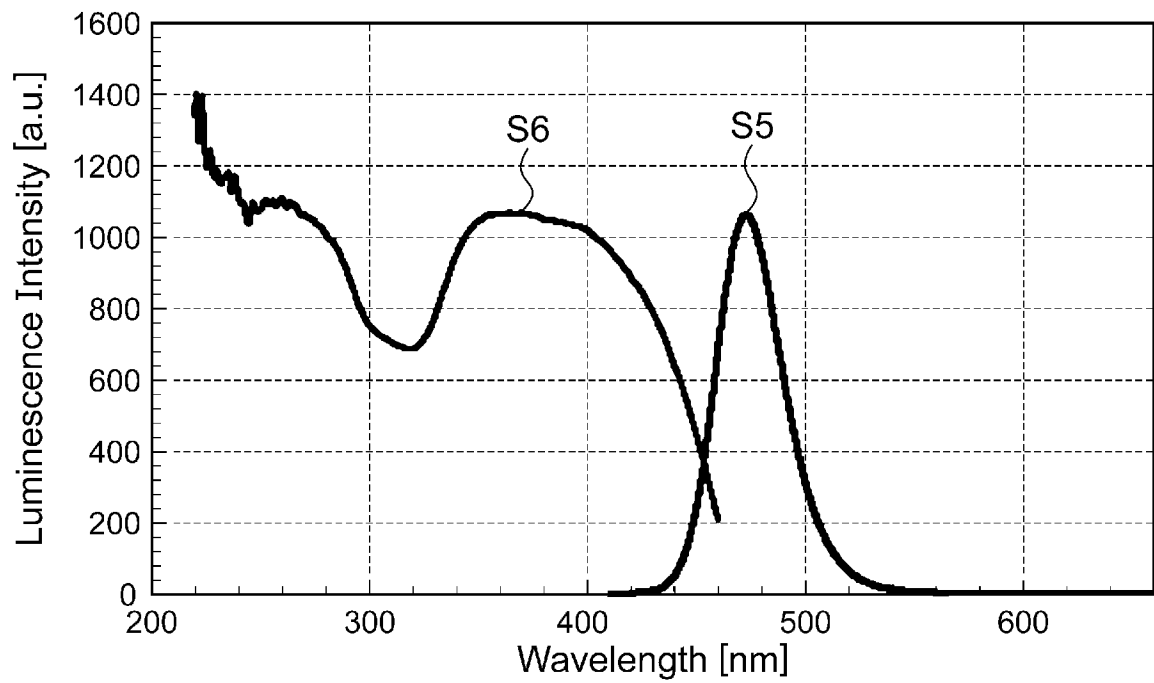
[図3]



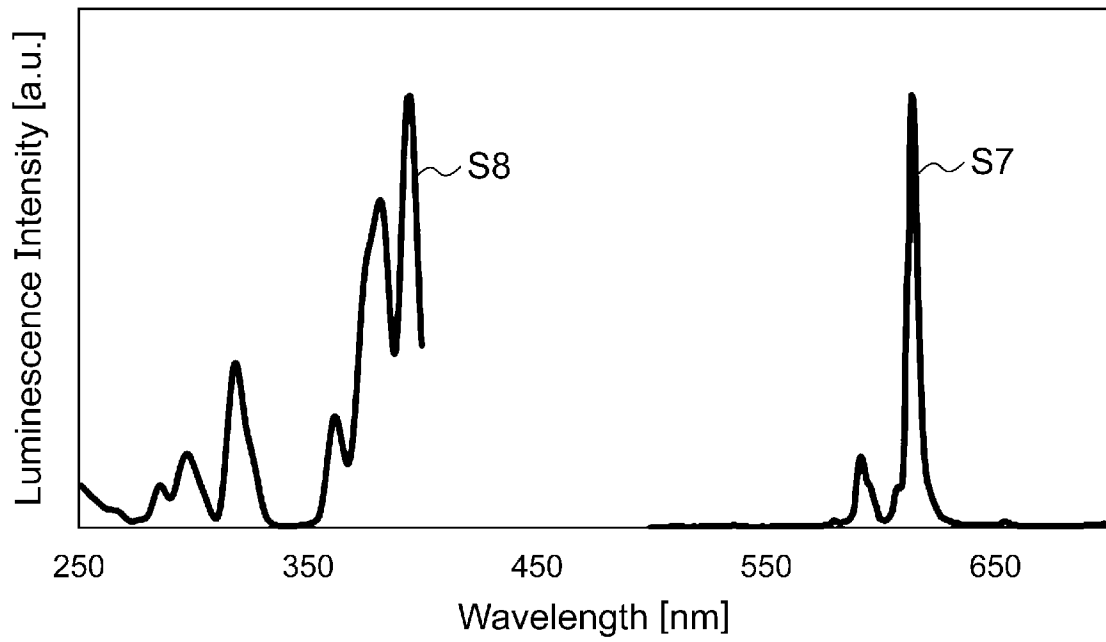
[図4]



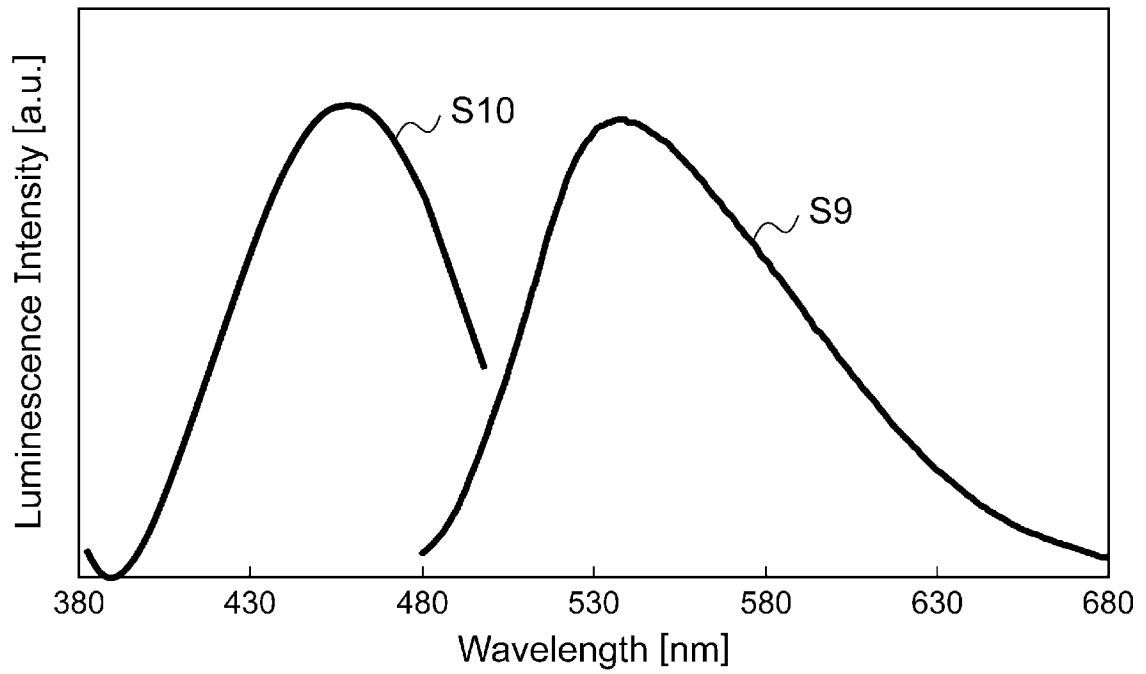
[図5]



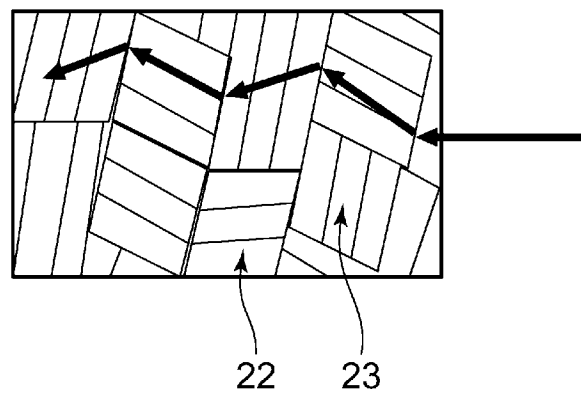
[図6]



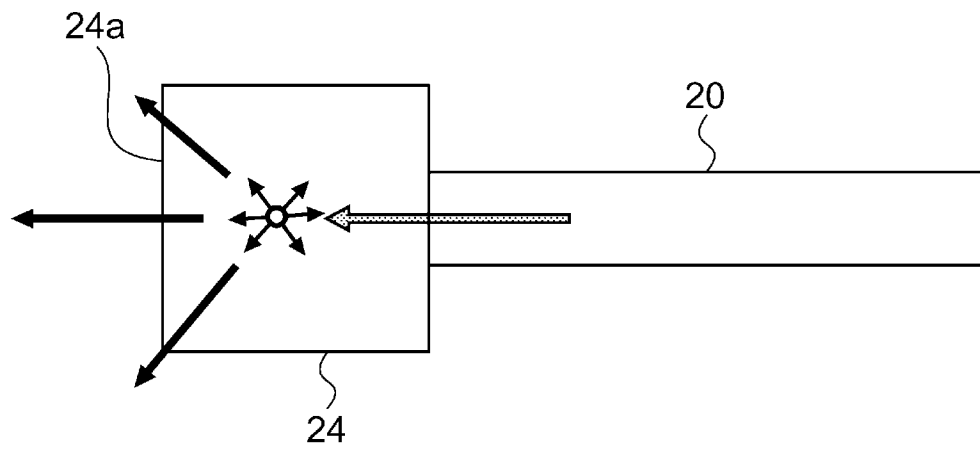
[図7]



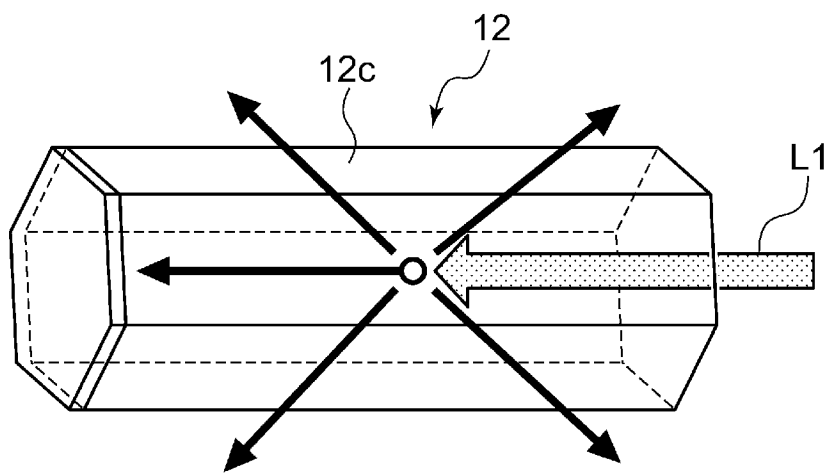
[図8]



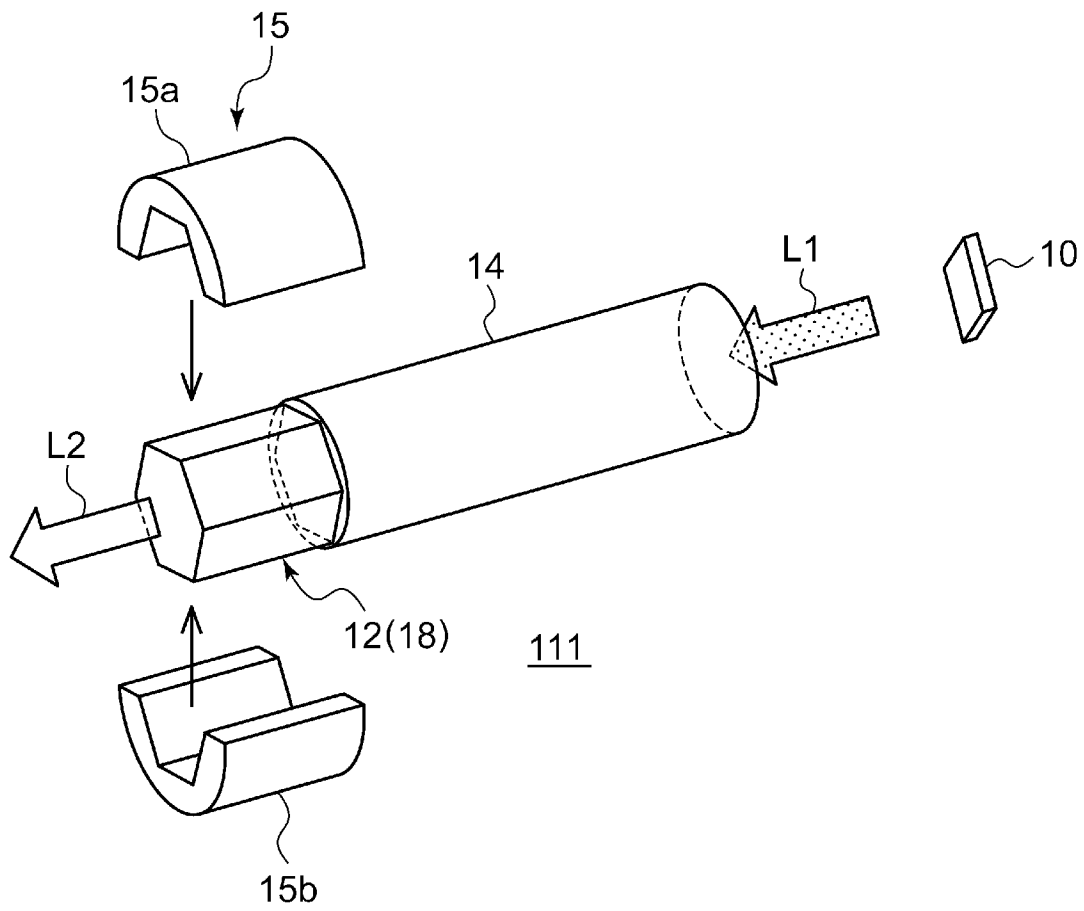
[図9]



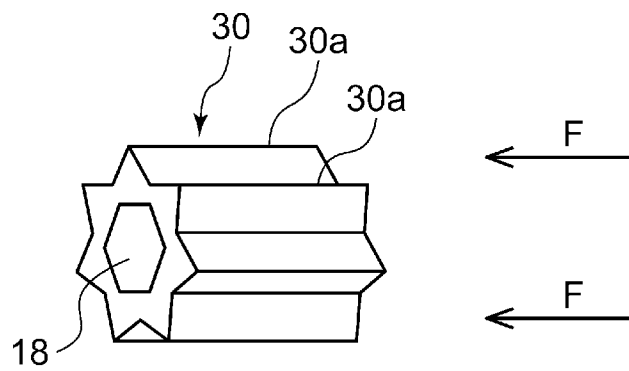
[図10]



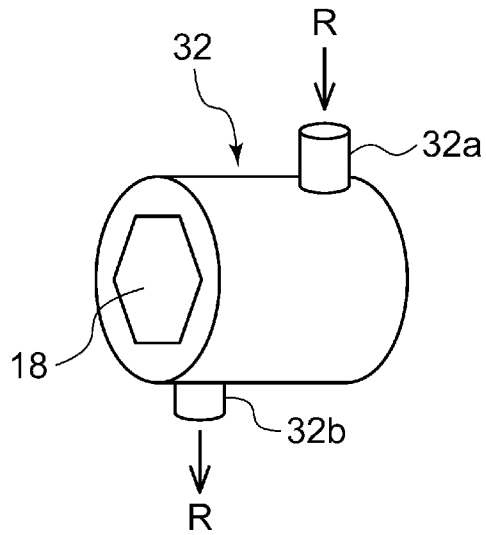
[図11]



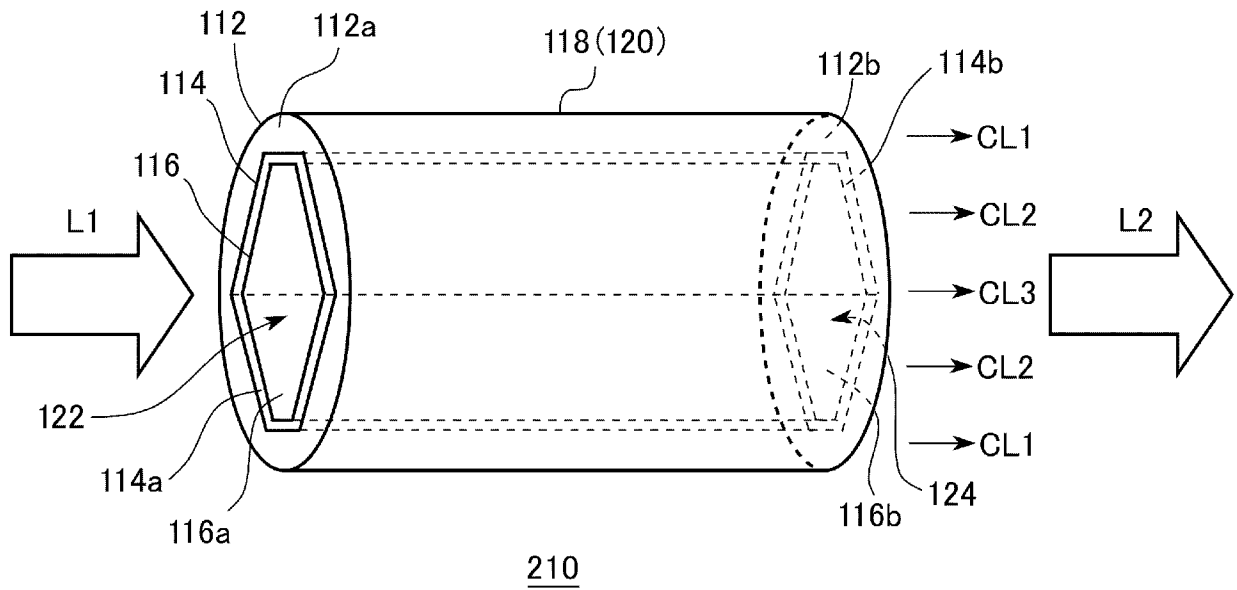
[図12]



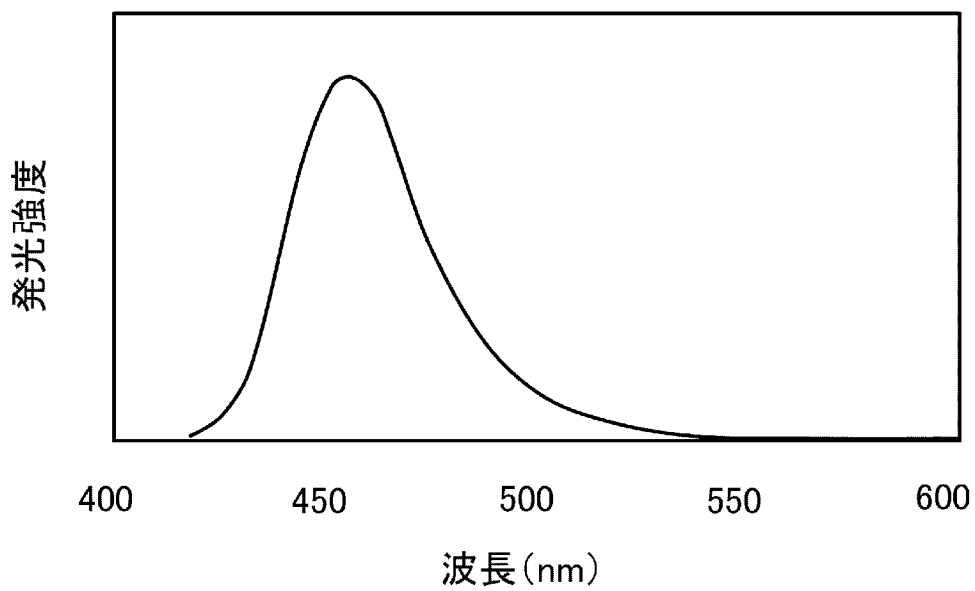
[図13]



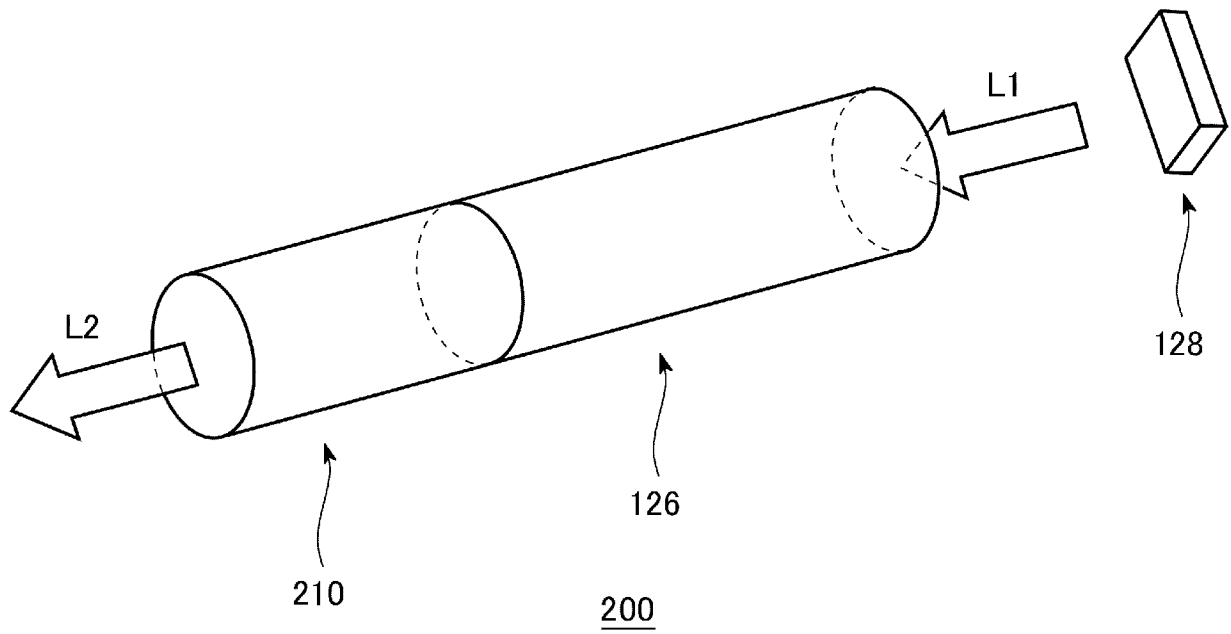
[図14]



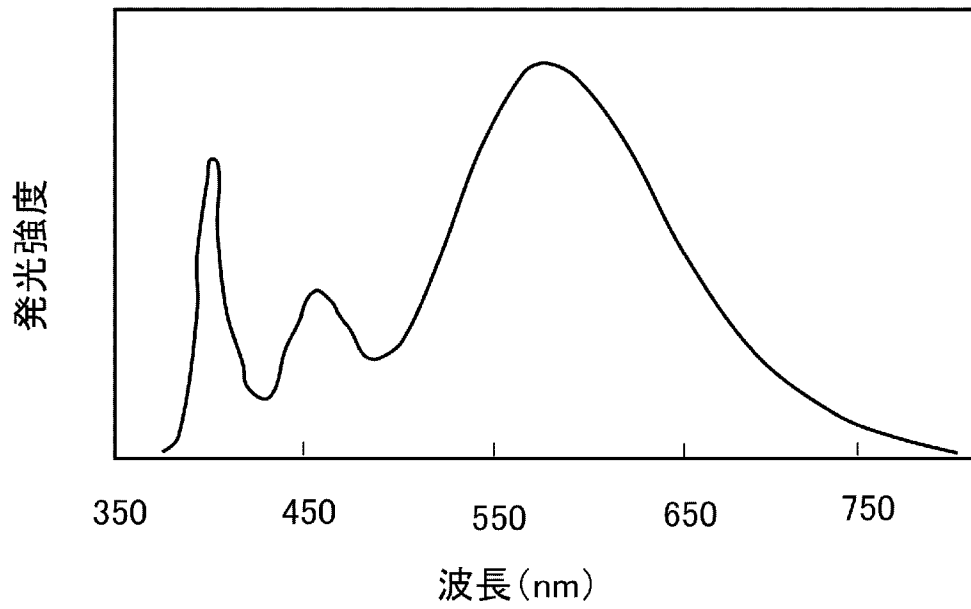
[図15]



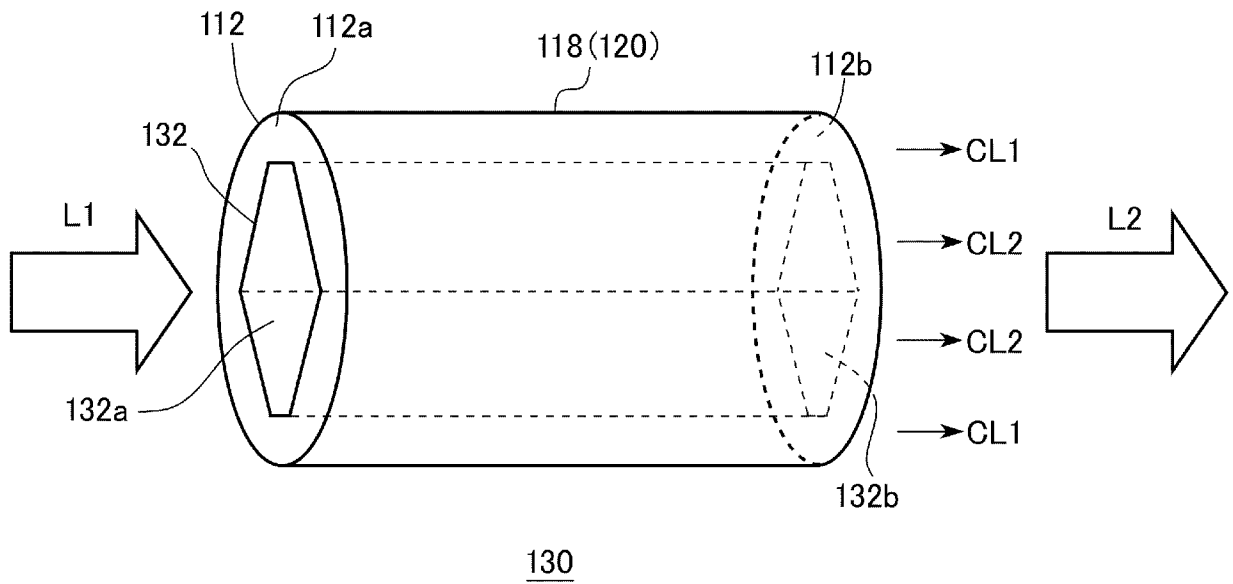
[図16]



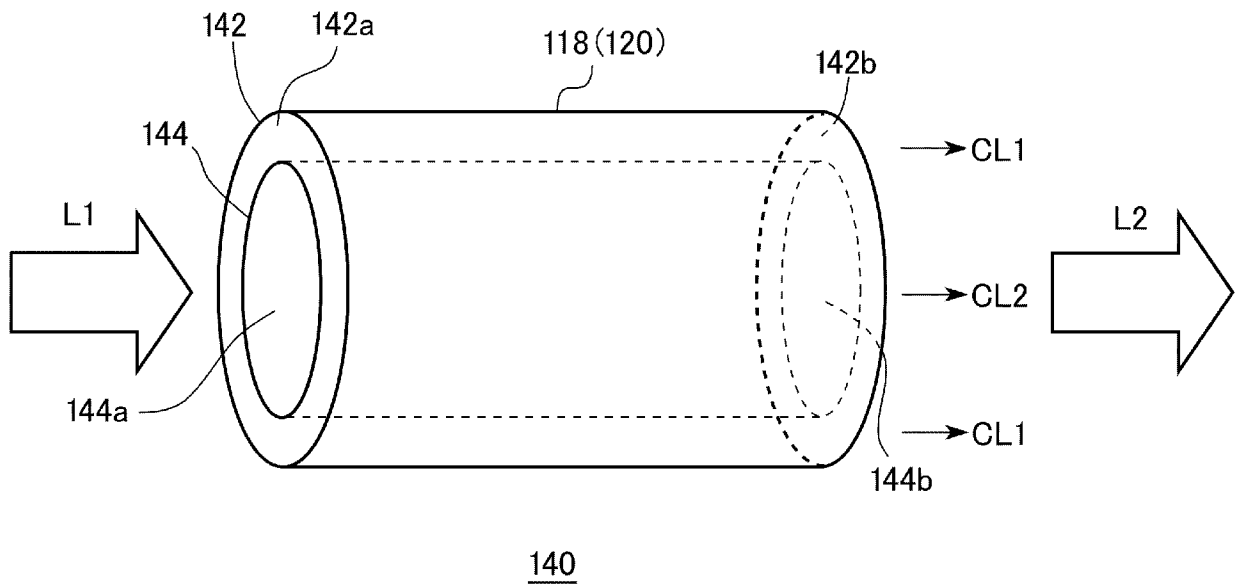
[図17]



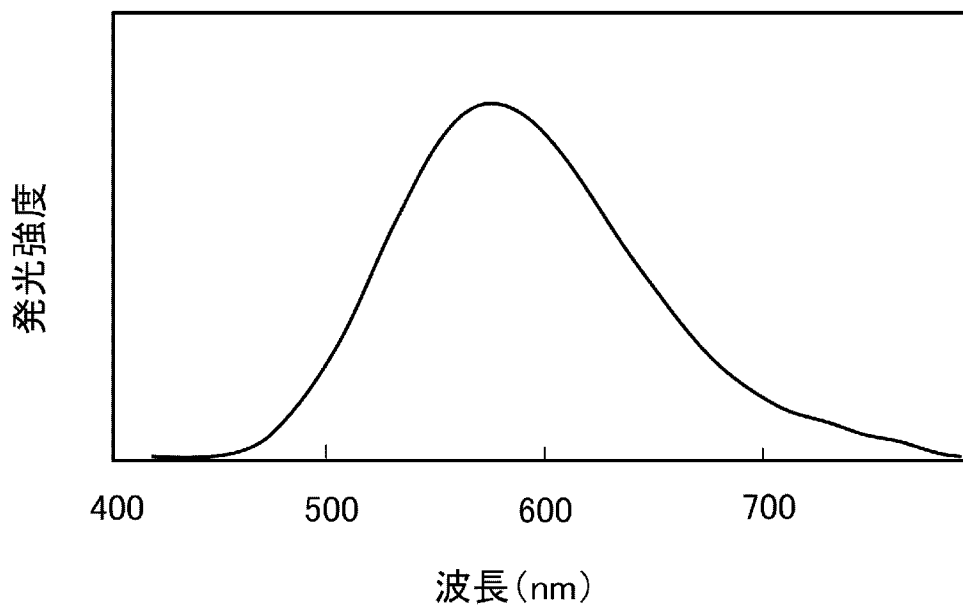
[図18]



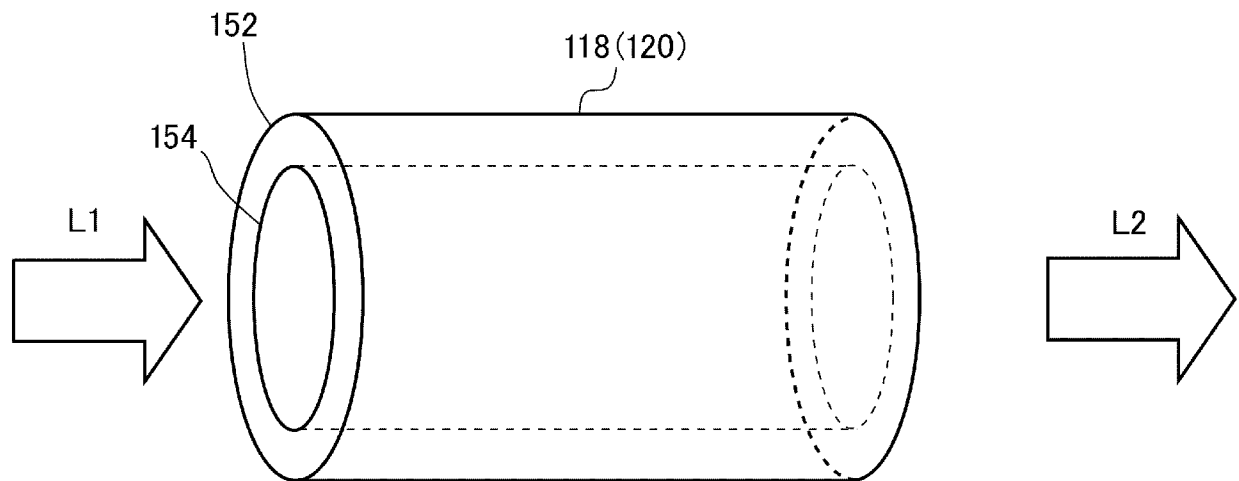
[図19]



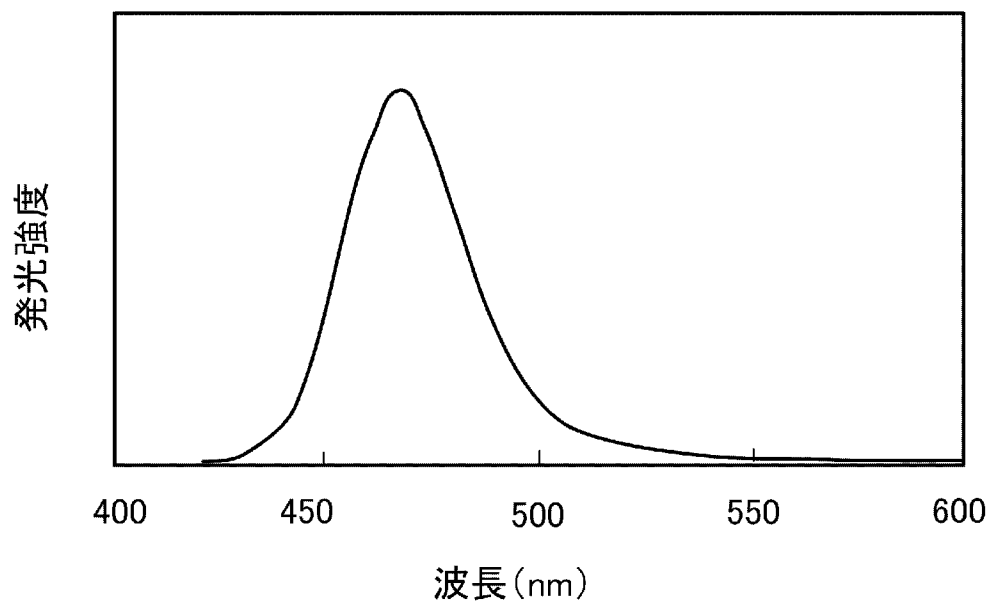
[図20]



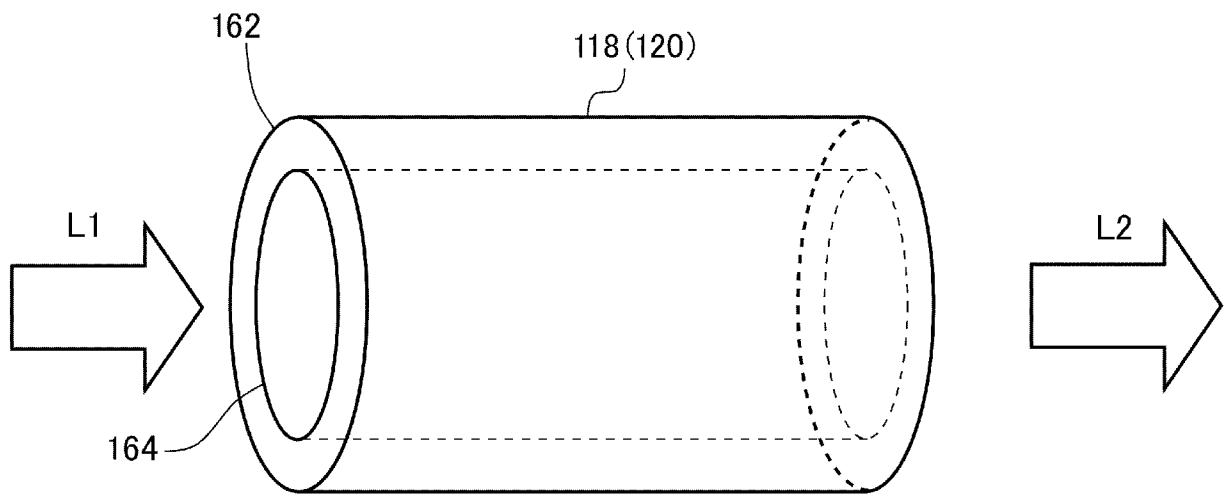
[図21]

150

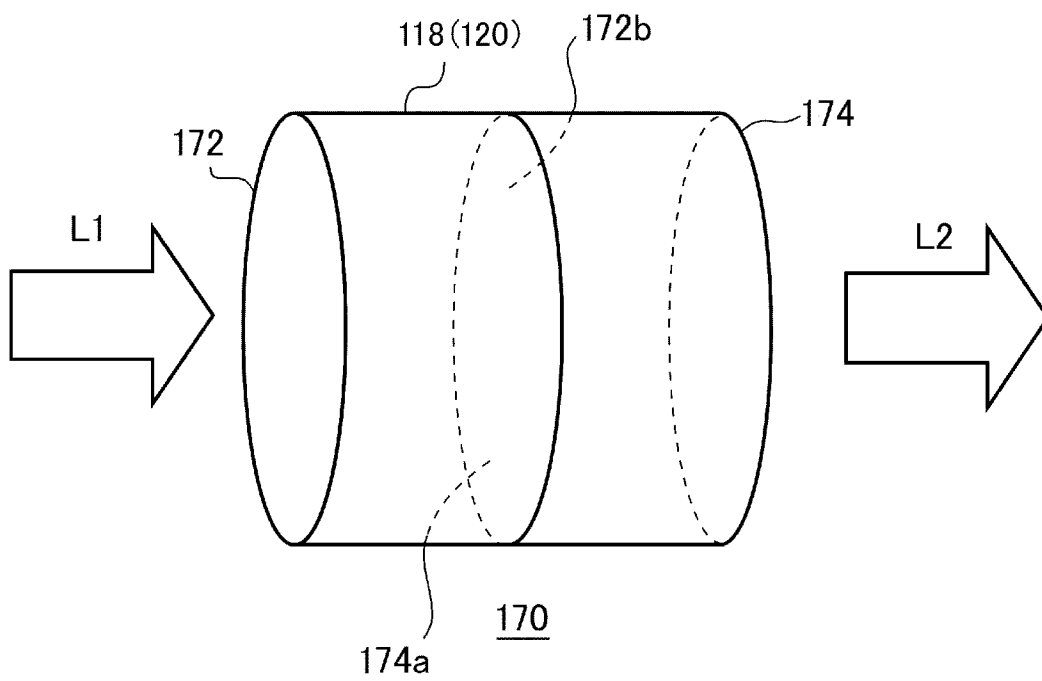
[図22]



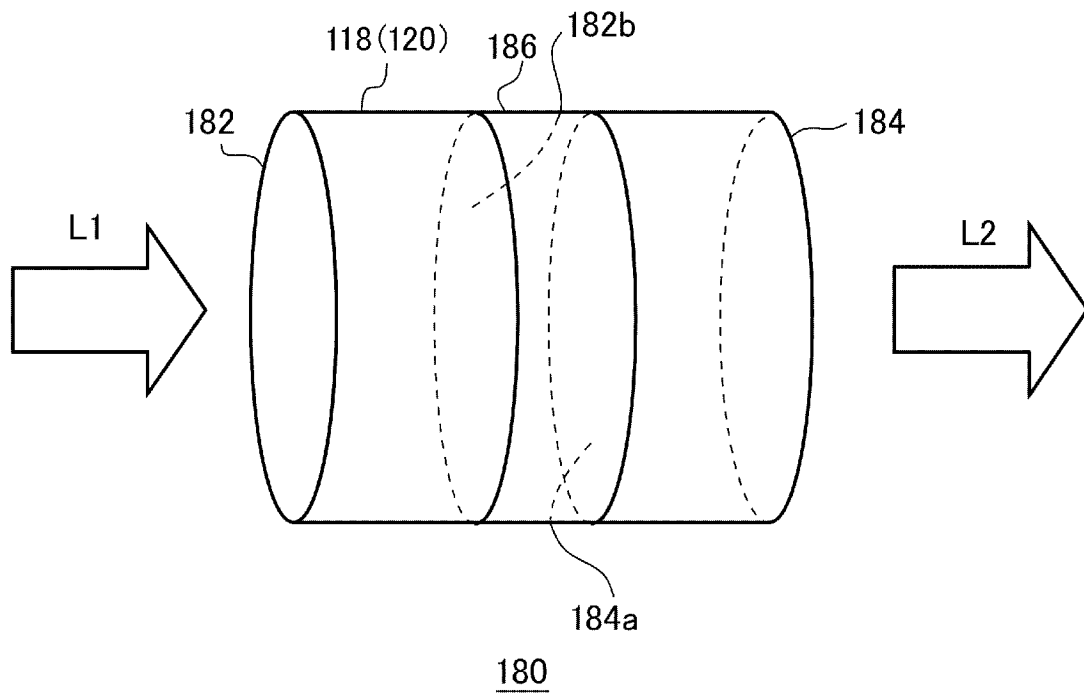
[図23]

160

[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/010261

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L33/50(2010.01)i, F21V5/00(2015.01)i, G02B5/20(2006.01)i, H01S5/022
(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L33/50, F21V5/00, G02B5/20, H01S5/022

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 Y A	JP 2013-207049 A (NEC Corp.), 07 October 2013 (07.10.2013), paragraphs [0015], [0021]; fig. 1 (Family: none)	1, 4, 6, 9, 11, 13-14, 17 12, 15, 18 3, 8, 16, 20-25
X Y	JP 2005-33211 A (Agilent Technologies Inc.), 03 February 2005 (03.02.2005), paragraphs [0011] to [0016]; fig. 2 & US 2005/0006659 A1 paragraphs [0014] to [0019]; fig. 2	1, 4, 6, 9, 19 2, 7, 11-15, 17, 26
X Y	JP 4-1615 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 07 January 1992 (07.01.1992), page 3, lower right column, line 10 to page 4, lower left column, line 10; fig. 1 (Family: none)	1-2, 4-7, 9-10 11-15, 17-18

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"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 07 June 2017 (07.06.17)	Date of mailing of the international search report 20 June 2017 (20.06.17)
--	---

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

International application No.

PCT/JP2017/010261

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2015-166787 A (Casio Computer Co., Ltd.), 24 September 2015 (24.09.2015), paragraphs [0048] to [0049]; fig. 5 & US 2015/0252978 A1 paragraphs [0059] to [0060]; fig. 5 & CN 104898362 A	2, 7, 15
Y	JP 2016-27613 A (Nippon Electric Glass Co., Ltd.), 18 February 2016 (18.02.2016), paragraph [0057] & EP 3147955 A1 paragraph [0057] & TW 201608005 A & CN 106030835 A	11-12, 14-15, 17-18
Y	JP 2014-140015 A (Panasonic Corp.), 31 July 2014 (31.07.2014), fig. 14 & US 2014/0167599 A1 fig. 14 & EP 2747157 A2 & CN 103883974 A	26

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L33/50(2010.01)i, F21V5/00(2015.01)i, G02B5/20(2006.01)i, H01S5/022(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L33/50, F21V5/00, G02B5/20, H01S5/022

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2013-207049 A（日本電気株式会社）2013.10.07, 段落 [0015]、[0021]、図1（ファミリーなし）	1,4,6,9,11,13-14,17
Y		12,15,18
A		3,8,16,20-25

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07.06.2017

国際調査報告の発送日

20.06.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

中山 佳美

20

3911

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2005-33211 A (アジレント・テクノロジーズ・インク) 2005.02.03, 段落 [0011] - [0016]、図2 & US 2005/0006659 A1 段落 [0014] - [0019]、図2	1,4,6,9,19 2,7,11-15,17, 26
X Y	JP 4-1615 A (富士写真フイルム株式会社) 1992.01.07, 第3頁右下欄第10行目-第4頁第左下欄第10行目、第1図 (ファミリーなし)	1-2,4-7,9-10 11-15,17-18
Y	JP 2015-166787 A (カシオ計算機株式会社) 2015.09.24, 段落 [0048] - [0049]、図5 & US 2015/0252978 A1 段落 [0059] - [0060]、図5 & CN 104898362 A	2,7,15
Y	JP 2016-27613 A (日本電気硝子株式会社) 2016.02.18, 段落 [0057] & EP 3147955 A1 段落 [0057] & TW 201608005 A & CN 106030835 A	11-12,14-15,17 -18
Y	JP 2014-140015 A (パナソニック株式会社) 2014.07.31, 図14 & US 2014/0167599 A1 図14 & EP 2747157 A2 & CN 103883974 A	26