(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
2014 年 4 月 3 日(03.04.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/050326 A1

(51) 国際特許分類:
H01J 37/244 (2006.01) *H01J 37/28* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/071611

(22) 国際出願日: 2013 年 8 月 9 日(09.08.2013)

(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 2012-210796 2012 年 9 月 25 日(25.09.2012) JP

(71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロジーズ(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 今村 伸(IMAMURA Shin); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 大嶋 卓(OHSHIMA Takashi); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目６番６号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 小瀬 洋一(OSE Yoichi); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). 平根 賢一(HIRANE Kenichi); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 磯野 道造(ISONO Michizo); 〒1020093 東京都千代田区平河町２丁目７番４号 砂防会館別館内 磯野国際特許商標事務所気付 Tokyo (JP).

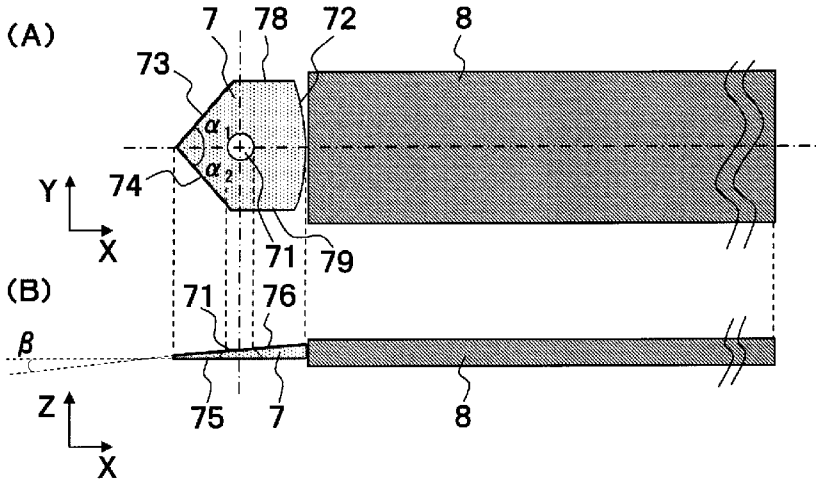
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,

[続葉有]

(54) **Title**: ELECTRON MICROSCOPE AND ELECTRON BEAM DETECTOR

(54) 発明の名称 : 電子顕微鏡および電子線検出器



(57) **Abstract**: An electron microscope is provided with a scintillator (7) and a light guide (8). The scintillator (7) has an index of refraction greater than the index of refraction of the light guide (8), and an end surface (72) joined to the light guide (8) is formed from a curved surface with a convex shape on the outside. The scintillator (7) is formed by a Y-Al-O based ceramic sintered body represented by the compositional formula $(Ln_{1-x}Ce_x)_3M_5O_{12}$ (wherein Ln represents at least one element selected from the group consisting of Y, Gd, La, and Lu, and M represents either or both of Al and Ga).

(57) 要約: シンチレータ（７）とライトガイド（８）を備えた電子顕微鏡において、シンチレータ（７）は、ライトガイド（８）の屈折率よりも大きな屈折率を有し、ライトガイド（８）に接合される端面（７２）が外側に凸状の曲面により形成されている。また、シンチレータ（７）は、組成式（$Ln_{1-x}Ce_x$）$_3M_5O_{12}$（ただし、Ｌｎは、Ｙ、Ｇｄ、ＬａおよびＬｕから選択される少なくとも一つの元素を表し、Ｍは、ＡｌおよびＧａから選択される少なくとも一つの元素を表す）で表されるＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体で形成されている。

WO 2014/050326 A1

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)）

明　細　書

発明の名称 ： 電子顕微鏡および電子線検出器

技術分野

[0001] 本発明は、電子顕微鏡およびその電子顕微鏡に用いられる電子線検出器に関する。

背景技術

[0002] 収束させた一次電子線を試料に照射する場合に、試料表面の観察対象領域を、その一次電子線で二次元的に走査し、一次電子線の照射位置から放出される信号電子を検出し、その検出信号を一次電子線の走査位置と同期してマッピング表示することにより、走査した観察対象領域の二次元画像を生成して表示する走査電子顕微鏡が広く知られている。

[0003] 試料表面から放出される信号電子は、そのエネルギーによって二次電子と反射電子に大別される。反射電子は、入射電子が試料内で弾性散乱と非弾性散乱を繰り返した後、再び試料表面から放出された電子を指す。従って、反射電子は、入射電子と同程度のエネルギーで発生量のピークを持つ。一方、二次電子は、反射電子が非弾性散乱を起こした際に発生する低エネルギー電子のうち、試料表面から放出されたものを指す。従って、二次電子は、数ｅＶ程度のエネルギーで発生量のピークを持つ。一般的には、５０ｅＶ未満のエネルギーの信号電子を二次電子と呼び、反射電子と区別している。

[0004] ところで、走査電子顕微鏡において、二次電子に基づく試料の観察像（二次電子像）と反射電子に基づく試料の観察像（反射電子像）とでは、それぞれ異なる情報を含んでいることが知られている。すなわち、二次電子像は、試料表面の凹凸や電位の情報を強調した観察像となるのに対し、反射電子像は、試料の組成や結晶方位の情報を強調した観察像となる。これは、二次電子の場合には、エネルギーが小さいので、その発生量が試料表面の形状や表面電位の影響を受け易いのに対し、反射電子の場合には、その発生量が試料の平均的な原子番号に依存するからである。また、同一組成の試料で、試料

表面の結晶方位が部分的に異なる場合や、結晶欠陥などを含んでいる場合に観察されるチャネリングコントラストも反射電子に由来することが知られている。

[0005] 走査電子顕微鏡には、試料表面の凹凸だけでなく、このような試料の組成を表すコントラストやチャネリングコントラストを、より鮮明に捉えることが求められてきた。すなわち、走査電子顕微鏡においては、反射電子に基づく試料の観察像を、高感度、高速、かつ、簡便に取得する方法が求められてきた。

[0006] 一般に、一次電子線を上部から試料に照射し、反射電子を検出するには、電子線検出器は、試料の直上部に配置される必要がある。その場合、従来、電子線検出器を小さくする必要性から、そのような電子線検出器としては、例えば、特許文献１に開示されているような単結晶からなるシンチレータが用いられてきた。

[0007] また、試料の組成を表すコントラストやチャネリングコントラストがより鮮明になる反射電子像を得ようとすれば、例えば、反射電子を二次電子からできるだけ分離して検出することによって、画像の低ノイズ化を図る必要がある。特許文献２－４には、反射電子と二次電子とを、エネルギーや軌道の相違に基づいて分離する方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開昭６１－１６４１７９号公報

特許文献2：特開平１１－２７３６０８号公報

特許文献3：特開昭５９－１９７８８１号公報

特許文献4：特開２０００－２９９０７８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、単結晶からなるシンチレータは、加工しにくく、形状成形

の自由度がない、高価であるなどの問題があった。また、反射電子と二次電子とをエネルギーや軌道の相違に基づいて分離するだけでは、検出される反射電子の収量が低下し、検出感度や応答速度に問題があった。

[0010] 以上のような従来技術の問題点に鑑み、本発明の目的は、反射電子検出の感度および応答速度を向上させることが可能な電子線検出器、および、その電子線検出器を適用した電子顕微鏡を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明に係る電子顕微鏡は、電子線の入射により蛍光を発する板状のシンチレータと、前記シンチレータの屈折率よりも小さな屈折率を有し、前記シンチレータで発光した蛍光を導光するライトガイドと、を備え、前記シンチレータは、端面の一部が外側に凸状の曲面で形成され、前記凸状の曲面の端面を介して前記ライトガイドに接合されていることを特徴とする。

[0012] さらに、前記シンチレータは、組成式（$Ln_{1-x}Ce_x)_3M_5O_{12}$（ただし、Lnは、Y、Gd、LaおよびLuから選択される少なくとも一つの元素を表し、Mは、AlおよびGaから選択される少なくとも一つの元素を表す）で表されるY－Al－O系セラミック焼結体で形成されていることを特徴とする。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、電子顕微鏡に用いられる電子線検出器の反射電子検出の感度および応答速度を向上させることが可能になる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の実施形態に係る電子顕微鏡の要部構成の例を示した。

[図2]Y－Al－O系セラミック焼結体の蛍光の発光強度および光透過率のCe組成比依存特性グラフの例を示した図。

[図3]本実施形態に係る電子顕微鏡で用いられるシンチレータおよびライトガイドの形状の例を示した図で、図３（Ａ）は上面図の例、図３（Ｂ）は側面図の例。

[図4]本発明の実施形態の第１の変形例に係るシンチレータの形状の例を示し

た図で、図４（Ａ）は上面図の例、図４（Ｂ）は側面図の例。

[図5]本発明の実施形態の第２の変形例に係るシンチレータの形状の例を示した図で、図５（Ａ）は上面図の例、図５（Ｂ）は側面図の例。

[図6]本発明の実施形態の第３の変形例に係るシンチレータの形状の例を示した図で、図６（Ａ）は上面図の例、図６（Ｂ）は、側面図の例。

[図7]本発明の実施形態の第４の変形例に係るシンチレータの形状の例を示した図で、図７（Ａ）は上面図の例、図７（Ｂ）は側面図の例。

[図8]本発明の実施形態の第５の変形例に係るシンチレータの形状の例を示した図で、図８（Ａ）は上面図の例、図８（Ｂ）は側面図の例。

[図9]本発明の実施形態の第６の変形例に係るシンチレータの電子入射面に形成する光反射用の金属膜の形状の例を示した図。

[図10]屈折率が大きい物質内から屈折率が小さい物質（真空を含む）へ光が出て行くとき、平坦な境界面および外側に凸状の境界面で全反射の仕方の相違を模式的に示した図。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

[0016] 図１は、本発明の実施形態に係る電子顕微鏡１００の要部構成の例を示した図である。図１に示すように、本発明の実施形態に係る電子顕微鏡１００の要部は、走査レンズ２、対物レンズ３、試料室４、シンチレータ７、ライトガイド８、光電変換素子９、増幅回路１０、表示装置１４などを含んで構成される。

[0017] さらに、試料室４内には、試料５を保持する図示しない試料台や、その試料台を移動させて試料５の観察対象領域を定める図示しない試料台移動機構などが設けられており、観察時には、試料５は、試料室４内の対物レンズ３の直下部に配置される。また、このとき、シンチレータ７は、対物レンズ３と試料５の間に配置される。

[0018] 以上のように構成された電子顕微鏡１００では、図示しない電子銃から出射された一次電子線１が、試料５の観察対象領域を走査するために走査レン

ズ２により偏向され、対物レンズ３で焦点が合わせられて、試料５の表面に照射される。このとき、シンチレータ７の中央部の一次電子線１が通過する近傍の位置には、電子通過孔７１が設けられており、一次電子線１は、この電子通過孔７１を通過し、試料５の表面に照射される。

[0019] 試料５に一次電子線１が照射されると、試料５の表面からは、反射電子６や図示しない二次電子などが放出され、反射電子６は、シンチレータ７へ下面側から入射する。なお、本明細書では、以下、シンチレータ７の下面を、電子入射面７５という。

[0020] ここで、対物レンズ３は、例えば、セミインレンズ型であるとする。その場合には、図示しない二次電子は、対物レンズ３の強磁場によって、一次電子線１の光軸に沿って巻き上げられ、電子通過孔７１を下から上へ通過し、さらに、対物レンズ３の中に引き込まれるので、シンチレータ７への入射量は、わずかである。

[0021] 反射電子６がシンチレータ７に入射すると、蛍光体であるシンチレータ７は、蛍光を発する。シンチレータ７が発した蛍光は、ライトガイド８によって導光され、光電子増倍管や半導体の受光素子などからなる光電変換素子９へ入射され、光電変換素子９によって電気信号に変換される。こうして電気信号に変換された反射電子の量に対応する信号（反射電子検出信号）は、増幅回路１０で増幅され、表示装置１４へ送信される。

[0022] なお、本明細書では、シンチレータ７と、ライトガイド８と、光電変換素子９と増幅回路１０と、からなる部分を電子線検出器１２という（ただし、増幅回路１０を電子線検出器１２に含めないとしてもよい）。

[0023] さて、本実施形態では、シンチレータ７の材料として、Ｃｅを付活剤とするＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体を用いる。Ｃｅを付活剤とするＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体とは、組成式（$Ln_{1-x}Ce_x)_3M_5O_{12}$で表される物質を焼結して得られるセラミック焼結体をいう。ここで、Ｌｎは、Ｙ、Ｇｄ、ＬａおよびＬｕのうち少なくとも一つの元素を表し、Ｍは、ＡｌおよびＧａのうち少なくとも一つの元素を表すものとする。また、本実施形態では

、Ｃｅの組成比ｘは、０．００２≦ｘ≦０．０２５の範囲にあるものとするが、その根拠については、別途、図面を参照して説明する。

[0024] 以上のようなＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体は、原料となる酸化物粉体を混合し、適切な形状に押し固め、適切な温度、例えば、摂氏１４００度～１６００度の温度で一定の時間保持する、などの方法により製作することができる。また、原料には、溶液沈降により得た極微粒子などを用いることも可能である。

[0025] なお、シンチレータ７の材料として、従来一般的に用いられている単結晶材料は、融液からの引き上げなどの方法で製作されるため、製作に手間がかかり、高価となる上に、大きさや形状が限定されてしまう。すなわち、引き上げによる結晶成長で製作される単結晶材料は、円筒状の形状となり、また、その直径を大きくしようとすると、装置コストが増大するという問題がさらに生じる。それゆえ、単結晶材料の場合には、シンチレータ７の形状は、一般的に周囲が丸い円板状にならざるを得ない。しかしながら、円板状のシンチレータ７の場合には、発光した蛍光が全方向に出てしまうため、光量の損失が大きく、ライトガイド８への入射量を大きくすることができないという問題が生じる。

[0026] 当然ながら、単結晶材料でも方形のシンチレータ７を製作することは可能である。しかしながら、その場合には、それほど大きくない円板から方形の板を切り出すことになり、周辺部が捨てられるので、材料ロスが大きくなり、材料の費用がかさむことになる。

[0027] それに対し、Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体を用いたシンチレータ７は、材料の粉体を適切な形状に押し固めて焼結すればよいだけなので、比較的安価に製作できる。また、セラミックとしての形状は、粉体を押し固めたときの形状によってほぼ決定されるため、シンチレータ７の大きさや形状を設計する上で、大きな自由度が得られる。従って、シンチレータ７の形状を工夫することにより、シンチレータ７における光量の損失を低減し、ライトガイド８への入射光量を増大させることなどが可能になる。

[0028] また、Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体は、多結晶であり、基本的に様々な結晶方位を有する微結晶の集合体であるため、焼結体全体として、結晶異方性の特徴が現れることはない。従って、全体で同一の結晶方位を有する単結晶材料とは異なり、結晶方位を考慮しなくて済む分、製作コストも低減される。

[0029] 図２は、Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体の蛍光の発光強度および光透過率のＣｅ組成比依存特性グラフの例を示した図である。図２において、グラフの横軸はＣｅ組成比ｘ、左の縦軸は蛍光発光強度、右の縦軸は光透過率を表し、また、太い実線の曲線は、蛍光の発光強度の測定値、太い点線の曲線は、光透過率を表す。

[0030] ここで、発光強度の測定値は、Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体の薄板（２０ｍｍ角、厚さ２ｍｍ）に、１０ｋＶで加速した電子線を照射したときに得られたものである。ただし、図２では、その測定値は、従来、一般に用いられている単結晶シンチレータの発光強度を１００としたときの相対値で表されている。

なお、このような発光強度のＣｅ組成比ｘに対する依存特性は、１０ｋＶで加速した電子線に限らず、様々なエネルギーを有する電子線についても、ほぼ同様の傾向を示す。

[0031] また、光透過率の測定値は、Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体の薄板（２０ｍｍ角、厚さ２ｍｍ）に、波長が５００～６５０ｎｍの範囲の光で、とくに５５０ｎｍ前後の光を入射した場合に得られたものである。なお、本実施形態で用いるＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体は、電子線の照射により、波長が５００～６５０ｎｍの範囲の蛍光を発する。

[0032] 以上、図２のグラフによれば、Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体は、Ｃｅの組成比ｘが０．００２～０．０２５の範囲において、従来の単結晶シンチレータを上回る発光強度を示すことがわかる。

[0033] また、光透過率は、Ｃｅ組成比ｘが０．０２以下の場合、概ね８０％以上の値を示し、Ｃｅ組成比ｘが０．０２を超えると、その値は８０％を割り込

むが、それでも、Ｃｅ組成比ｘが０．０２５以下の範囲では、６０％より大きい値を示す。従って、Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体の光透過性は、Ｃｅの組成比ｘが０．０２５以下の範囲で良好であるといえる。

[0034] なお、図２のグラフにおける発光強度および光透過率のデータは、Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体が組成式（$Y_{1-x}Ce_x$）$_3Al_5O_{12}$で表される物質の場合に取得されたものであるが、組成式が（$Ln_{1-x}Ce_x$）$_3M_5O_{12}$で表され、ＬｎがＹ、Ｇｄ、ＬａおよびＬｕのうち少なくとも一つの元素で、かつ、ＭがＡｌおよびＧａのうち少なくとも一つの元素である場合には、概ね同様のデータが得られる。

[0035] そこで、本実施形態では、前記したように、組成式（$Ln_{1-x}Ce_x$）$_3M_5O_{12}$で表されるＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体（ただし、ＬｎがＹ、Ｇｄ、ＬａおよびＬｕのうち少なくとも一つの元素で、かつ、ＭがＡｌおよびＧａのうち少なくとも一つの元素）で、Ｃｅの組成比ｘが０．００２≦ｘ≦０．０２５の範囲にあるものを、シンチレータ７の材料として用いる。

[0036] また、ライトガイド８の材料としては、アクリル樹脂、ポリカーボネート樹脂、板ガラス、石英ガラスなど、透明度が高い材料を用いる。また、光ファイバのような、曲線にできる導光体を用いてもよい。また、シンチレータ７とライトガイド８との間は、間隙としてもよく、あるいは、透明樹脂、オプティカルセメント、マッチングオイルなどの接合材料を介在させて接合してもよい。

[0037] 以上の通り、本実施形態で用いられるシンチレータ７は、蛍光の発光強度が大きく、また、光透過性も良好であることから、シンチレータ７およびライトガイド８を含んでなる電子線検出器１２は、高感度で応答速度が速いなどの性能を得ることができる。

[0038] 図３は、本実施形態に係る電子顕微鏡１００で用いられるシンチレータ７およびライトガイド８の形状の例を示した図で、図３（Ａ）は上面図の例、図３（Ｂ）は側面図の例である。ただし、図３（Ａ）、（Ｂ）において、ライトガイド８の形状は、シンチレータ７に接続される近傍の形状のみが示さ

れている。

[0039] なお、図３（Ａ）では、便宜上、ライトガイド８の長さ方向をＸ軸とし、ライトガイド８の幅方向をＹ軸とする。また、図３（Ｂ）では、便宜上、ライトガイド８の長さ方向をＸ軸とし、ライトガイド８およびシンチレータ７の厚さ方向をＺ軸とする。なお、このことは、図４以下の図面でも同様である。

[0040] 図３（Ａ）、（Ｂ）に示すように、シンチレータ７は、その中央部に一次電子線１などを通過させるための電子通過孔７１が形成されているほか、次のような形状の特徴を有している。

[0041] まず、第１の特徴は、シンチレータ７の端部の端面のうち、ライトガイド８と接合される端面７２が外側に凸状の曲面で形成されていることである。このとき、シンチレータ７とライトガイド８とは、間隙（つまり、空気または真空の層）をもって接合してもよく、あるいは、その間隙に、透明樹脂、オプティカルセメント、マッチングオイルなどの接合材料を詰め込んで接合してもよい。

[0042] また、第２の特徴は、シンチレータ７の、ライトガイド８と接合される端部とは反対側の端部の端面が、Ｚ軸にほぼ平行で、かつ、Ｘ軸とそれぞれ角度α_1および角度α_2を成す２つの端面７３，７４で形成されていることである。なお、角度α_1と角度α_2は、同じ値であっても異なる値であってもよい。ただし、$\alpha_1+\alpha_2<180$度であるとする。

[0043] また、第３の特徴は、シンチレータ７の電子入射面７５（シンチレータ７の下面）に対向するシンチレータ７の上面７６が、電子入射面７５に対し、傾斜角βを成して傾斜していることである。この場合、シンチレータ７の厚さは、ライトガイド８に対向する端面７２に近いほうが大きく（厚く）、端面７２から遠ざかるほど小さく（薄く）なる。

[0044] さらに、以上のような形状の特徴を有するシンチレータ７の表面のうち、ライトガイド８に接合される端面７２以外の表面には、光反射膜として作用する金属膜が形成される。この場合、この金属膜の材料は、光を反射し、そ

の反射率が大きいものであれば、どのような金属であってもよいが、一般的には、ＡＩが用いられる。なお、ＡＩ膜などの金属膜は、真空蒸着などを用いて形成することができる。

[0045] シンチレータ７を、以上のような特徴を有する形状にし、さらに、ライトガイド８に接合される端面７２以外の表面にＡＩ膜などの金属膜を形成したのは、いずれも、シンチレータ７の中で発生する蛍光をできるだけ多く、ライトガイド８へ入射させるようにすることを意図したものである。以下、シンチレータ７の形状や金属膜の作用および効果について、順次説明する。

[0046] シンチレータ７の表面に形成されたＡＩ膜などの金属膜は、光反射膜として作用し、シンチレータ７の中で発生した蛍光の外部への散逸を防止する。つまり、ＡＩ膜などの金属膜は、シンチレータ７の中で発生した蛍光の光量の損失を抑制するという効果がある。また、シンチレータ７の表面に形成された金属膜を電子顕微鏡１００の筐体などに導通させることで、シンチレータ７のチャージアップを防止し、シンチレータ７に入射する反射電子６に基づく検出信号のＳ／Ｎ（Signal to Noise Ratio）を向上させるなどの効果も期待することができる。

[0047] ここで、シンチレータ７の表面に形成する金属膜のうち、電子入射面７５（シンチレータ７の下面）に形成する金属膜の膜厚は、反射電子６の入射を妨げない膜厚とする必要がある。つまり、その金属膜の膜厚は、光を十分に反射させるとともに、反射電子６の入射を許容する程度の厚さであることが求められる。さらに、その膜厚は、５０ｅＶ以下のエネルギーを有する二次電子を遮蔽する厚さであることが求められる。

[0048] 以上のような条件を満たす金属膜の膜厚は、金属膜がＡＩ膜である場合、１００ｎｍ以下、５０ｎｍ程度であることが望ましい。本実施形態では、シンチレータ７の電子入射面７５には、膜厚５０ｎｍを目標とするＡＩ膜を形成した。

[0049] また、シンチレータ７の表面に形成された金属膜のうち、電子入射面７５以外の表面に形成された金属膜では、反射電子６の入射を考慮する必要がな

い。従って、その膜厚は厚いほうがよい。そのほうが光の反射率が向上し、シンチレータ７の中で発生した蛍光の外部への散逸量を低減することができる。

[0050] なお、金属膜がＡｌ膜である場合、その膜厚は、１００ｎｍ以上であるのが好ましい。本実施形態では、シンチレータ７の表面のうち、ライトガイド８に接合される端面７２および電子入射面７５を除く表面に、膜厚２００ｎｍを目標とするＡｌ膜を形成した。

[0051] 次に、以上のように構成されたシンチレータ７に電子入射面７５側から反射電子６が入射すると、シンチレータ７の中で蛍光が発生する。シンチレータ７の中で発生した蛍光は、直接またはシンチレータ７の表面に形成された金属膜に多重反射されて、ライトガイド８に接合された端面７２に到達する。

[0052] 前記したように、本実施形態では、シンチレータ７の上面７６が電子入射面７５に対して、傾斜角βを成して傾斜しており（第３の特徴）、また、シンチレータ７がライトガイド８に接合される端部と反対側の端部の端面７３および端面７４が、Ｘ軸に対して、それぞれ、角度α_1および角度α_2を成して傾斜している（第２の特徴）。従って、シンチレータ７の中で発生した蛍光は、ライトガイド８に接合された端面７２側の方向に反射され易くなるので、平均的に少ない回数の多重反射により端面７２に到達することができる。

[0053] 多重反射の回数が少ないことは、蛍光がライトガイド８側の端面７２に到達するまでの所要距離が短くなることを意味し、その分、蛍光の端面７２への到達時間が短縮され、また、蛍光の減衰量も低減されることになる。その結果、このシンチレータ７を用いた電子線検出器１２の応答速度が速くなり、感度が向上する。

[0054] なお、本発明の発明者らの種々の検討によれば、シンチレータ７端部の端面７３および端面７４がＸ軸と成す角度α_1および角度α_2が３０度$\leqq\alpha_1$，$\alpha_2<$９０度であるとき、蛍光を効果的に端面７２へ導光することができること

がわかった。また、同様に、シンチレータ７の上面７６が電子入射面７５と成す傾斜角βが０度＜β≦６０度であるとき、蛍光を効果的に端面７２へ導光することができることがわかった。

[0055] 以上のようにして、シンチレータ７の中で発生した蛍光は、金属膜が形成されていない端面７２へ到達すると、シンチレータ７を出て、ライトガイド８へ入射する。この場合、できるだけ多くの量の蛍光がライトガイド８へ入射されるようにする必要がある。その目的のために、本実施形態では、シンチレータ７の端面７２を外側に凸状の曲面で形成する。このことは、シンチレータ７の材料であるＣｅを付活剤とするＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体の屈折率が大きいことと関係している。

[0056] 例えば、Ｃｅを付活剤とするＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体の屈折率は、１．８程度である。一方、ライトガイド８の材料として用いられる一般的な透明樹脂やガラスなどの屈折率は、１．４～１．６程度であり、また、一般的なオプティカルセメントや接着用の樹脂など屈折率は、１．６以下である。また、空気や真空の屈折率は、ほぼ１である。

[0057] 従って、シンチレータ７内で発光した蛍光は、屈折率が大きい物質から屈折率が小さい物質の中に入射することになる。その場合、シンチレータ７内で発光した蛍光がある角度以上の角度をなしてシンチレータ７から出て行こうとすると全反射という現象が生じ、シンチレータ７の外へ出て行くことができない。

[0058] ちなみに、光が屈折率１．８の物質（シンチレータ７）から空気中または真空中（屈折率がほぼ１．０）へ出て行く場合には、全反射の臨界角は、約３４度である。従って、シンチレータ７の中で発生した蛍光は、シンチレータ７の空気または真空との境界面（端面７２）に対し入射角が３４度程度よりも大きい角度で入射する場合、全反射を生じ、シンチレータ７の外へ出ることができない。なお、光が屈折率１．８のシンチレータ７から屈折率１．６の接着用の樹脂などに出て行く場合には、その全反射の臨界角は、約６３度である。

[0059] つまり、シンチレータ７の屈折率は、ライトガイド８の屈折率よりも大きいので、シンチレータ７とライトガイド８とを接合した場合、その境界面で全反射が生じ、ライトガイド８への入射光の光量に損失が生じることになる。そこで、本実施形態では、シンチレータ７の端面７２を外側に凸状の曲面で形成することにより、境界面での全反射を生じにくくし、境界面での光量の損失を低減するようにした。以下、シンチレータ７の端面７２を外側に凸状の曲面で形成することにより、境界面での全反射を生じにくくなる理由について説明する。

[0060] 図１０は、屈折率が大きい物質内から屈折率が小さい物質（真空を含む）へ光が出て行くとき、平坦な境界面および外側に凸状の境界面で全反射の仕方の相違を模式的に示した図である。図１０において、下部領域の物質（シンチレータ７）は、屈折率が大きく、上部領域の物質は、屈折率が小さいものとし、下部領域と上部領域とは、平坦な（平面状の）境界面Ｍ１、または、下部領域側から見て外側に凸状の曲面の境界面Ｍ２で分けられているものとする。

[0061] まず、平坦な境界面Ｍ１での全反射について説明する。屈折率が大きい下部領域（シンチレータ７）内のある点Ｐから発した光線のうち、点Ｐから境界面Ｍ１上の点Ｑに到る光線の入射角θ１が全反射の臨界角であった場合には、その光線は、屈折率が小さい上部領域へ出ることはない。ここで、入射角θ１とは、光線ＰＱと、点Ｑを通り境界面Ｍ１に垂直な直線Ｖ１とがなす角である。

[0062] 一方、上部領域と下部領域の境界が外側に凸状の曲面の境界面Ｍ２である場合には、点Ｐから境界面Ｍ１に相当する面上の点Ｑに到る光線は、点Ｒで境界面Ｍ２と交わる。このとき、光線ＰＲの境界面Ｍ２に対する入射角θ２は、点Ｒにおける境界面Ｍ２の接平面Ｈ２に垂直で点Ｒを通る直線Ｖ２に対し、光線ＰＲがなす角である。ここで、θ１とθ２とを比較すると、θ２は、θ１よりも境界面Ｍ１と接平面Ｈとが成す角δθの分だけ小さいことが分かる。すなわち、θ２＝θ１－δθとなる。

[0063] このことは、ある点Ｐから発した光線で境界が平坦な境界面Ｍ１の場合には全反射するような光線であっても、境界が外側に凸状の曲面の境界面Ｍ２の場合には全反射しないことを意味する。つまり、シンチレータ７のライトガイド８に接合される端面７２の形状が外側に凸状の曲面の場合には、平坦面の形状である場合よりも、シンチレータ７内の蛍光がより多くシンチレータ７の外へ出て行くことになる。つまり、シンチレータ７の中から出てくる光量が多くなる。

[0064] 発明者らの解析では、シンチレータ７の屈折率を１．８で外側が空気または真空の間隙がある場合、端面７２の湾曲率を５％以上にすると、全反射が生ずるケースが非常に小さくなることが分かった。従って、端面７２の湾曲率は、５％以上にすることが好ましく、端面７２の湾曲率を５％以上にすると、シンチレータ７からの蛍光の取り出し量を増加させることができる。

[0065] ここで、曲面Ｓ（図示省略）の湾曲率ｃとは、曲面Ｓ上の点Ｐ（図示省略）から曲面Ｓに沿って距離ｄだけ離れた曲面Ｓ上の他の点を点Ｑ（図示省略）とし、点Ｐで曲面Ｓに接する平面を接平面Ｈとした場合、点Ｑと接平面Ｈの距離がΔｄであるとき、ｃ＝Δｄ／ｄで求められる数値をいう。

[0066] なお、図３（Ａ）では、シンチレータ７の端面７２以外の端部の端面（端面７３、端面７４，端面７２と端面７３とをつなぐ端面７８、および、端面７２と端面７４とをつなぐ端面７９）は、直線（平面）状に描かれているが、湾曲率が５％未満であれば、外側に凸状または内側に凹状の曲面であってもよい。ただし、これらの端面に反射用の金属膜が形成されていたとしても、全反射のし易さのことを考慮すれば、これらの端面は、内側に凹状の曲面であるほうが好ましい。

[0067] また、本実施形態では、図３（Ａ）に示されているように、ライトガイド８の端部でシンチレータ７の端面７２が接合される端部の幅（Ｙ方向）は、シンチレータ７の端面７２部分の幅よりも大きいものとする。また、図３（Ｂ）に示されているように、ライトガイド８の端部でシンチレータ７の端面７２が接合される端部の厚さ（Ｚ方向）は、シンチレータ７の端面７２部分

の厚さよりも大きいものとする。

[0068] このように、蛍光を出す側のシンチレータ７の端面７２の大きさよりも、蛍光を受ける側のライトガイド８の端部の端面の大きさを大きくすることにより、シンチレータ７の端面７２から出射される蛍光をできるだけ多くライトガイド８へ入射させることができる。つまり、シンチレータ７とライトガイド８との接続部における光量の損失を少なくすることができる。

[0069] また、図３（Ａ）に示されているように、シンチレータ７の端面７２が外側に凸状の曲面であれば、端面７２に対向するライトガイド８の端部の端面は、平坦面であってもよく、あるいは、端面７２に沿って、内側に凹んだ面であってもよい。また、これら両者の端面の間は、間隙のままであってもよく、あるいは、透明樹脂、オプティカルセメント、マッチングオイルなどの接合材料が詰められていてもよい。なお、接合材料が詰められる場合、その接合材料の屈折率をライトガイド８の屈折率と同じにすると、接合材料とライトガイド８との境界での全反射などの問題が生じないので、光量の損失の問題も生じなくなる。

[0070] また、図３（Ａ）では、シンチレータ７は、中央部に電子通過孔７１が形成されたものになっているが、電子通過孔７１は必須ではない。電子通過孔７１をなくし、電子顕微鏡１００において、シンチレータ７を一次電子線１の光軸に交わらない傍の位置に設けることも可能である。

[0071] 以上説明したように、本実施形態では、シンチレータ７は、その中で発生した蛍光のうちできるだけ多くの蛍光がライトガイド８へ入射可能な構造となっているので、ライトガイド８へ入射する光量が増大する。つまり、シンチレータ７を含んで構成された電子線検出器１２の電子検出の感度を向上させることができる。

[0072] 以上に説明した本実施形態の作用および効果の要点を以下に整理して示す。

[0073] まず、本実施形態では、シンチレータ７の材料として、$(Y_{1-x}Ce_x)_3Al_5O_{12}$など、Ｃｅを付活剤とするＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体を用い、

さらに、そのＣｅの組成比ｘを０．００２≦ｘ≦０．０２５としたことにより、発光強度を増大させることができ、良好な光透過を得ることができる（図２参照）。その結果、シンチレータ７では、より多くの光量の蛍光が発生するとともに、より多くの光量を、ライトガイド８へ導光することができるので、シンチレータ７を含んで構成された電子線検出器１２の電子検出の感度を向上させることができる。

[0074] また、Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体を用いたシンチレータ７は、粉体の材料を押し固めて焼結することにより成形されるので、その成形コストが安価であり、成形する形状の自由度が大きい。従って、シンチレータ７の形状を設計する上での自由度が増加する。そこで、本実施形態では、シンチレータ７の形状を次のような形状にした。

[0075] シンチレータ７の上面７６を電子入射面７５に対して傾斜角βを成すように傾斜させるとともに、シンチレータ７がライトガイド８と接続される端部と反対側の端部の端面７３，７４を、Ｘ軸に対してそれぞれ角度α_1，α_2で傾斜させるようにした（図３（Ａ）、（Ｂ）参照）。さらに、シンチレータ７の上面７６、下面（電子入射面７５）、および、端面７２以外の端面７３，７４，７８，７９には、Ａｌ膜などの光反射膜を形成した。

[0076] このように構成されたシンチレータ７の中で発生した蛍光は、ライトガイド８に接合される端面７２の方向に反射され易くなるので、平均的に少ない回数の多重反射により端面７２に到達することができる。その結果、シンチレータ７の中で発生した蛍光がライトガイド８に対向する端面７２に到達するまでの距離および時間が短縮され、シンチレータ７の中での蛍光の減衰量が低減する。従って、シンチレータ７を含んで構成された電子線検出器１２の応答速度が速くなり、感度が向上する。

[0077] また、シンチレータ７のライトガイド８に接合される端面７２を外側に凸状の曲面で形成したことにより（図３（Ａ）参照）、シンチレータ７の中で発生した蛍光が端面７２で全反射する量が減少するので、端面７２を介してライトガイド８側へ取り出すことのできる蛍光の量を増加させることができ

る。従って、シンチレータ７を含んで構成された電子線検出器１２の電子検出の感度を向上させることができる。

[0078] 以上の通り、本実施形態によれば、電子顕微鏡１００に用いられる電子線検出器１２の反射電子検出の感度および応答速度を向上させることができ、かつ、その製作コストを低減することができる。

[0079] 以上に説明した実施形態よれば、シンチレータ７の材料としてＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体を用いることにより、シンチレータ７の形状の自由度が増加した。従って、シンチレータ７の形状としては、さらに各種形状を考案することができる。以下では、シンチレータ７の形状の可能な変形例について説明する。

[0080] なお、以下の変形例では、いずれの場合にも、組成式が$(Ln_{1-x}Ce_x)_3M_5O_{12}$で表されるＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体をシンチレータ７の材料として用いるものとする。ここで、Ｌｎは、Ｙ、Ｇｄ、ＬａおよびＬｕのうち少なくとも一つの元素を表し、Ｍは、ＡｌおよびＧａのうち少なくとも一つの元素を表し、Ｃｅの組成比ｘは、０．００２≦ｘ≦０．０２５であるとする。

[0081] （第１の変形例）

図４は、本発明の実施形態の第１の変形例に係るシンチレータ７ａの形状の例を示した図で、図４（Ａ）は上面図の例、図４（Ｂ）は側面図の例である。図４（Ａ）、（Ｂ）に示すように、シンチレータ７ａの形状は、図３（Ａ）、（Ｂ）に示したシンチレータの形状と一部を除きほとんど同じである。以下、形状が相違する部分についてのみ説明する。

[0082] この第１の変形例では、シンチレータ７ａの上面７６は、電子入射面７５に対し傾斜するのではなく互いに平行であるとしている。また、ライトガイド８の端部に接合されるシンチレータ７ａの端部の端面７２ａは、外側に凸状の曲面ではなく、平坦な面であるとしている。すなわち、端面７２ａおよび端面７２ａに対向して接するライトガイド８の端部の端面は、Ｘ軸に垂直な平面である。

[0083] また、光反射膜として形成される金属膜は、前記した実施形態の場合と同様に形成される。そして、シンチレータ７ａの端面７２ａとライトガイド８との間は、間隙が設けられるか、あるいは、透明樹脂、オプティカルセメント、マッチングオイルなどの接合材料を介在させて接合される。

[0084] 以上のようなシンチレータ７ａを用いて製作した電子線検出器１２および電子顕微鏡１００は、反射電子の検出感度が高く、応答が速いという良好な特性が得られた。これは、前記した実施形態におけるシンチレータ７の特徴のうち、シンチレータ７ａがＣｅを付活剤とするＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体で形成されているという特徴、および、シンチレータ７ａがライトガイド８と接続される端部と反対側の端部の端面が、Ｚ軸にほぼ平行で、かつ、Ｘ軸と角度α_1，α_2を成す２つの端面７３，７４で形成されているという特徴を、なお有していることに基づく効果に他ならない。

[0085] 従って、この第１の変形例でも、程度の差はあれ、前記した実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0086]（第２の変形例）

図５は、本発明の実施形態の第２の変形例に係るシンチレータ７ｂの形状の例を示した図で、図５（Ａ）は上面図の例、図５（Ｂ）は側面図の例である。図５（Ａ）、（Ｂ）に示すように、シンチレータ７ｂの上面形状は、正方形または長方形状であり、ライトガイド８の端部に接するシンチレータ７ｂの端部の端面７２ｂ、および、シンチレータ７ｂの端面７２ｂと反対側の端部の端面７７は、互いに平行で、Ｘ軸に垂直な平面である。

[0087] また、光反射膜として形成される金属膜は、前記した実施形態の場合と同様に形成される。そして、シンチレータ７ｂの端面７２ｂとライトガイド８との間は、間隙が設けられるか、あるいは、透明樹脂、オプティカルセメント、マッチングオイルなどの接合材料を介在させて接合される。

[0088] 以上のようなシンチレータ７ｂを用いて製作した電子線検出器１２および電子顕微鏡１００は、反射電子の検出感度が高く、応答が速いという良好な特性が得られた。これは、第２の変形例において、シンチレータ７ｂの端部

の端面７７が、シンチレータ７ｂの中で発生した蛍光をライトガイド８側の端面７２ｂへ反射する作用を有し、さらに、シンチレータ７ｂが、Ｃｅを付活剤とするＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体で形成されていることに基づく効果に他ならない。

[0089] 従って、この第２の変形例でも、程度の差はあれ、前記した実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0090] （第３の変形例）

図６は、本発明の実施形態の第３の変形例に係るシンチレータ７ｃの形状の例を示した図で、図６（Ａ）は上面図の例、図６（Ｂ）は側面図の例である。図６（Ａ）、（Ｂ）に示すように、シンチレータ７ｃの上面形状は、台形状の四辺形であり、ライトガイド８の端部に接するシンチレータ７ｃの端部の端面７２ｃ、および、シンチレータ７ｃの端面７２ｃとその反対側の端部の端面７７は、互いに平行で、Ｘ軸に垂直な平面である。また、シンチレータ７ｃの端面７２ｃと端面７７とをそれぞれつなぐ端面７８および端面７９は、Ｘ軸に対し傾斜し、シンチレータ７ｃのＹ方向の幅は、端面７２ｃ側で大きく、端面７７側で小さくなるように成形されている。つまり、端面７８と端面７９との離間距離は、端面７２ｃから遠ざかるに従って小さくなる。また、シンチレータ７ｃの上面７６は、電子入射面７５に対し傾斜し、シンチレータ７ｃのＺ方向の厚さは、端面７２ｃ側で厚く、端面７７側で薄くなるように成形されている。

[0091] また、光反射膜として形成される金属膜は、前記した実施形態の場合と同様に形成される。そして、シンチレータ７ｃの端面７２ｃとライトガイド８との間は、間隙が設けられるか、あるいは、透明樹脂、オプティカルセメント、マッチングオイルなどの接合材料を介在させて接合される。

[0092] 以上のようなシンチレータ７ｃを用いて製作した電子線検出器１２および電子顕微鏡１００は、反射電子の検出感度が高く、応答が速いという良好な特性が得られた。これは、第３の変形例において、シンチレータ７ｃの端部の電子入射面７５、上面７６、端面７７、端面７８および端面７９が、シン

チレータ７ｃの中で発生した蛍光を少ない回数の多重反射でライトガイド８側の端面７２ｃへ導光する作用を有し、また、シンチレータ７ｃが、Ｃｅを付活剤とするＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体で形成されていることに基づく効果に他ならない。

[0093] 従って、この第３の変形例でも、程度の差はあれ、前記した実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0094] （第４の変形例）

図７は、本発明の実施形態の第４の変形例に係るシンチレータ７ｄの形状の例を示した図で、図７（Ａ）は上面図の例、図７（Ｂ）は側面図の例である。図７（Ａ）、（Ｂ）に示すように、シンチレータ７ｄの形状は、第１の変形例のシンチレータ７ａの形状と第２の変形例のシンチレータ７ｂの形状とを折衷した形状となっている。すなわち、シンチレータ７ｄの端面７２ｄと反対側の端部の端面は、端面７３、端面７４および端面７７の３つの端面により構成されている。

[0095] ここで、端面７７は、端面７２ｄとほぼ平行になるように形成され、また、端面７３および端面７４は、それぞれＸ軸と角度α_1，α_2（図示省略）を成すように形成される。なお、角度α_1，α_2については、前記実施形態（図３参照）の場合と同様に、３０度≦α_1，α_2＜９０度であるとする。

[0096] また、光反射膜として形成される金属膜は、前記した実施形態の場合と同様に形成される。そして、シンチレータ７ｄの端面７２ｄとライトガイド８との間は、間隙が設けられるか、あるいは、透明樹脂、オプティカルセメント、マッチングオイルなどの接合材料を介在させて接合される。

[0097] 以上のようなシンチレータ７ｄを用いて製作した電子線検出器１２および電子顕微鏡１００は、反射電子の検出感度が高く、応答が速いという良好な特性が得られた。これは、第４の変形例において、シンチレータ７ｄの端部の端面７３、端面７４および端面７７が、シンチレータ７ｄの中で発生した蛍光をライトガイド８側の端面７２ｄへ反射する作用を有し、さらに、シンチレータ７ｄが、Ｃｅを付活剤とするＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体で形

成されていることに基づく効果に他ならない。

[0098] 従って、この第４の変形例でも、程度の差はあれ、前記した実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0099] なお、この変形例では、端面７７は、端面７２ｄとほぼ平行に形成されるとしているが、必ずしも平行である必要はない。ただし、端面７７が端面７３および端面７４とそれぞれ成す角は、いずれも１８０度未満であるとする。これは、端面７３、端面７７および端面７４が外側に凸状の多面体の一部であることを意味している。

[0100] （第５の変形例）

図８は、本発明の実施形態の第５の変形例に係るシンチレータ７ｅ，７ｅ’の形状の例を示した図で、図８（Ａ）は上面図の例、図８（Ｂ）は側面図の例である。図８（Ａ）、（Ｂ）に示すように、第５の変形例に係るシンチレータ７ｅ，７ｅ’の形状は、第１の変形例のシンチレータ７ａが、上下（Ｙ方向）２つに分割された形状をしている。そして、分割された２つのシンチレータ７ｅ，７ｅ’は、それぞれ異なるライトガイド８，８’に接続されている。

[0101] なお、この変形例では、シンチレータ７ｅ，７ｅ’がそれぞれライトガイド８，８’と接する端部の端面７２ｅ，７２ｅ’は、外側に凸状の面ではなく、平坦な面であるとしているが、外側に凸状の面であってもよい。

[0102] また、光反射膜として形成される金属膜は、前記した実施形態の場合と同様に形成されるのに加え、分割されたシンチレータ７ｅ，７ｅ’の境界の端面にも、光反射用の金属膜が形成される。また、シンチレータ７ｅ，７ｅ’の端面７２ｅ，７２ｅ’と、ライトガイド８，８’との間は、それぞれ間隙が設けられるか、あるいは、透明樹脂、オプティカルセメント、マッチングオイルなどの接合材料を介在させて接合される。

[0103] 以上のようなシンチレータ７ｅ，７ｅ’を用いて製作した電子線検出器１２および電子顕微鏡１００は、反射電子の検出感度が高く、応答が速いという良好な特性が得られた。これは、第５の変形例のシンチレータ７ｅ，７ｅ

’それぞれにおいて、Ｘ軸に対し傾斜した端面７３，７４、電子入射面７５，７５’に対して傾斜角βを成して傾斜した上面７６，７６’が、シンチレータ７ｅ，７ｅ’の中で発生した蛍光を、ライトガイド８，８’側の端面７２ｅ，７２ｅ’へ反射する作用を有し、さらに、シンチレータ７ｅ，７ｅ’が、Ｃｅを付活剤とするＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体で形成されていることに基づく効果に他ならない。

[0104] 従って、この第５の変形例でも、程度の差はあれ、前記した実施形態と同様の効果を得ることができる。

[0105] さらに、本変形例では、２つのシンチレータ７ｅ，７ｅ’は、それぞれ異なるライトガイド８，８’を介して、それぞれ異なる光電変換素子９（図１参照）に接続されている。これは、本変形例に係る電子顕微鏡１００が互いに独立した２つの電子線検出器１２を備えていることを意味する。従って、その電子顕微鏡１００では、２種類の観察画像を得ることができる。例えば、試料５を傾斜させて観察したときなどには、試料５の表面の凹凸の様子に応じて、反射電子６の放出され具合に偏りが生じるので、この２種類の観察画像により、その偏りの相違に基づく観察画像の相違を観察することが可能になる。

[0106] なお、本変形例では、シンチレータ７を２分割したが、２分割に限定されず、４分割や６分割など、３分割以上に分割してもよい。また、シンチレータ７を複数個に分割するとき、それぞれ分割されたシンチレータ７，７’は、互いに対称性を有する形状でなくてもよい。

[0107] （第６の変形例）

図９は、本発明の実施形態の第６の変形例に係るシンチレータ７ｆの電子入射面７５に形成する光反射用の金属膜の形状の例を示した図である。なお、シンチレータ７ｆそのものの形状は、前記した実施形態のシンチレータ７と同じであるとする。従って、シンチレータ７ｆのほぼ中央には、電子通過孔７１が形成されている。

[0108] 本変形例では、電子入射面７５上の電子通過孔７１と同心円の円内の領域

７５ａには、反射電子６の入射を妨げない厚さの金属膜を形成し、その同心円の外側の領域７５ｂには、反射電子６の入射を遮蔽する厚さの金属膜を形成する。また、シンチレータ７ｆの電子入射面７５と、ライトガイド８に接する端部の端面７２とを除く他の面は、反射電子６の入射を遮蔽する厚さの金属膜を形成する。

[0109] なお、金属膜がＡｌ膜の場合、反射電子６の入射を妨げない膜厚は、１００ｎｍ以下、好ましくは５０ｎｍ程度の膜厚であり、反射電子６の入射を遮蔽する膜厚は、１００ｎｍを超える膜厚、好ましくは、２００ｎｍ程度の膜厚である。

[0110] よって、本変形例では、反射電子６のシンチレータ７ｆへの入射は、電子入射面７５の領域７５ａの部分に限定されるので、反射電子６の検出の等方性が確保される。一般に、試料５からの反射電子の放出に偏りがある場合などには、その放出量を等方的に捕らえないと、放出される反射電子の量を正確に検出できない。従って、前記した実施形態やその変形例では、シンチレータ７の電子入射面７５の形状に、回転対称性がないので、放出される反射電子の量を正確に検出できないという問題が生じるが、本変形例のシンチレータ７ｆでは、その問題が生じない。すなわち、本変形例では、前記した実施形態と同様の効果が得られるのに加え、反射電子６の等方的な検出が可能になるという効果が得られる。

[0111] なお、本発明は、以上に説明した実施形態やその変形例に限定されるものでなく、さらに様々な変形例が含まれる。例えば、前記の実施形態は、本発明を分かりやすく説明するために、詳細に説明したものであり、必ずしも説明したすべての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態や変形例の構成の一部を他の実施形態や変形例の構成の一部で置き換えることが可能であり、さらに、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成の一部または全部を加えることも可能である。

符号の説明

[0112] １ 一次電子線

２　　走査レンズ

３　　対物レンズ

４　　試料室

５　　試料

６　　反射電子

７，７ａ，７ｂ，７ｃ，７ｄ，７ｅ，７ｅ’，７ｆ　シンチレータ

８，８’　ライトガイド

９　　光電変換素子

１０　増幅回路

１２　電子線検出器

１４　表示装置

７１　電子通過孔

７５　電子入射面

１００　電子顕微鏡

請求の範囲

[請求項1] 電子線の入射により蛍光を発する板状のシンチレータと、

前記シンチレータの屈折率よりも小さな屈折率を有し、前記シンチレータで発光した蛍光を導光するライトガイドと、

を備え、

前記シンチレータは、

端面の一部が外側に凸状の曲面で形成され、前記凸状の曲面の端面を介して前記ライトガイドに接合されていること

を特徴とする電子顕微鏡。

[請求項2] 前記シンチレータと前記ライトガイドとは、前記シンチレータの屈折率よりも小さな屈折率を有する物質層を介して接合されていること

を特徴とする請求項１に記載の電子顕微鏡。

[請求項3] 前記シンチレータの端面のうち、前記ライトガイドが接合される端面以外の端面は、平面または前記シンチレータの内側に凹状の曲面であること

を特徴とする請求項１に記載の電子顕微鏡。

[請求項4] 前記シンチレータの端面のうち、前記ライトガイドが接合される端面にそれぞれ接続し、互いに対向する２つの端面の離間距離は、前記ライトガイドが接合される端面から遠ざかるに従って小さくなること

を特徴とする請求項１に記載の電子顕微鏡。

[請求項5] 前記ライトガイドが接合される前記シンチレータの端面にそれぞれ接続し、互いに対向する前記シンチレータの上面および下面の離間距離は、前記ライトガイドが接合される端面から遠ざかるに従って小さくなること

を特徴とする請求項１に記載の電子顕微鏡。

[請求項6] 前記シンチレータの端面のうち、前記ライトガイドが接合される端面と反対側に位置する端面は、互いに１８０度以下の角度を成して接続される複数の平面または前記シンチレータの内側に凹状の曲面で構

成されること

を特徴とする請求項１に記載の電子顕微鏡。

[請求項7] 前記シンチレータの上面および下面の表面には光反射膜が形成され、前記上面に形成される光反射膜の膜厚は、電子線の入射面となる前記下面に形成される光反射膜の膜厚よりも厚いこと

を特徴とする請求項１に記載の電子顕微鏡。

[請求項8] 前記シンチレータは、複数部分に分割されており、その分割された前記シンチレータのそれぞれの部分には、それぞれ独立したライトガイドが接続されていること

を特徴とする請求項１に記載の電子顕微鏡。

[請求項9] 前記シンチレータは、組成式（$Ln_{1-x}Ce_x)_3M_5O_{12}$（ただし、Ｌｎは、Ｙ、Ｇｄ、ＬａおよびＬｕから選択される少なくとも一つの元素を表し、Ｍは、ＡｌおよびＧａから選択される少なくとも一つの元素を表す）で表されるＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体で形成されていること

を特徴とする請求項１に記載の電子顕微鏡。

[請求項10] 前記Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体におけるＣｅの組成比ｘは、０．００２≦ｘ≦０．０２５であること

を特徴とする請求項９に記載の電子顕微鏡。

[請求項11] 電子線の入射により蛍光を発する板状のシンチレータを備え、

前記シンチレータは、組成式（$Ln_{1-x}Ce_x)_3M_5O_{12}$（ただし、Ｌｎは、Ｙ、Ｇｄ、ＬａおよびＬｕから選択される少なくとも一つの元素を表し、Ｍは、ＡｌおよびＧａから選択される少なくとも一つの元素を表す）で表されるＹ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体で形成され、

前記Ｙ－Ａｌ－Ｏ系セラミック焼結体におけるＣｅの組成比ｘは、０．００２≦ｘ≦０．０２５であること

を特徴とする電子顕微鏡。

[請求項12] 電子線の入射により蛍光を発する板状のシンチレータと、

前記シンチレータの屈折率よりも小さな屈折率を有し、前記シンチレータで発光した蛍光を導光するライトガイドと、

を備え、

前記シンチレータは、

前記ライトガイド側の端部が外側に凸状の曲面により形成され、前記ライトガイドに、前記凸状の曲面を介して接合されていること

を特徴とする電子線検出器。

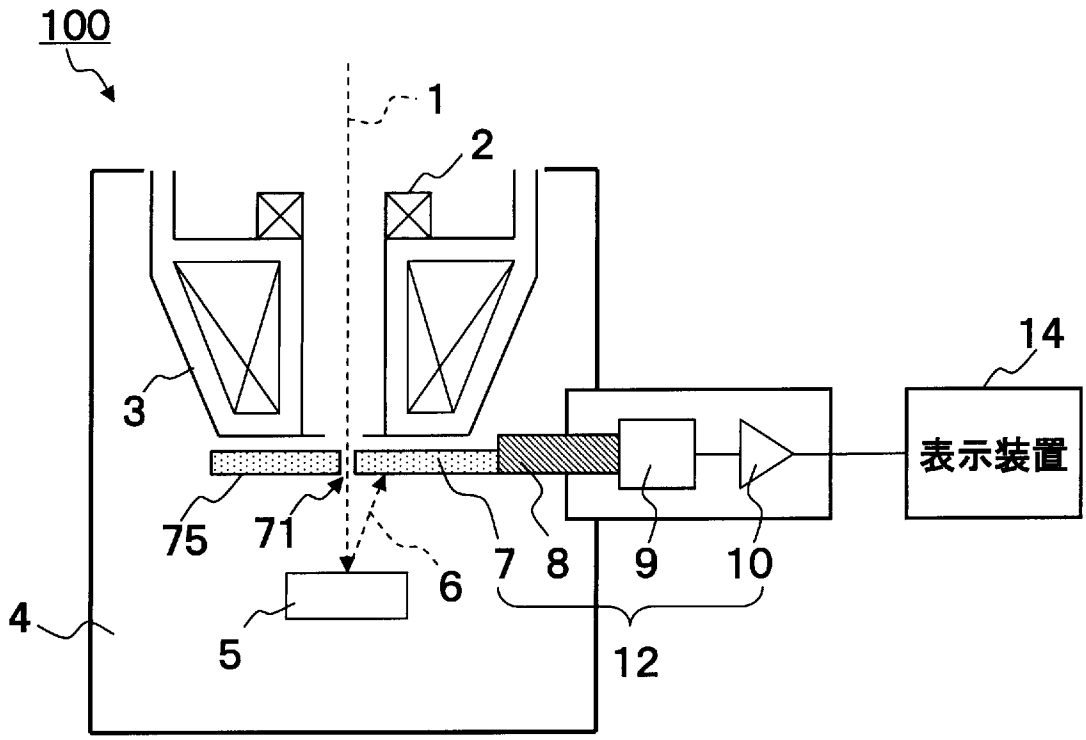
[請求項13] 電子線の入射により蛍光を発する板状のシンチレータを備え、

前記シンチレータは、組成式（$Ln_{1-x}Ce_x)_3M_5O_{12}$（ただし、Lnは、Y、Gd、LaおよびLuから選択される少なくとも一つの元素を表し、Mは、AlおよびGaから選択される少なくとも一つの元素を表す）で表されるY－Al－O系セラミック焼結体で形成され、

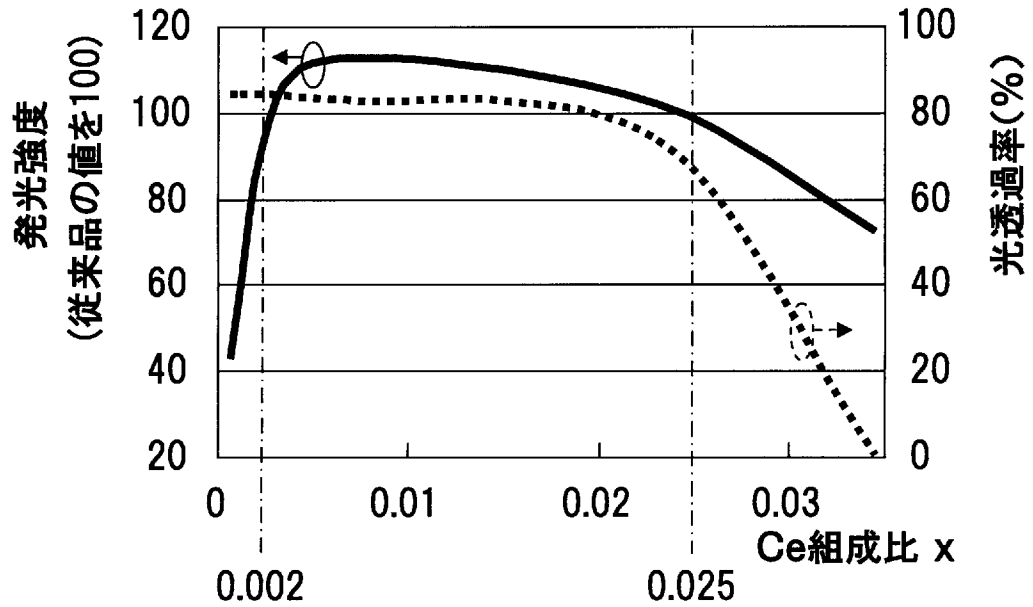
前記Y－Al－O系セラミック焼結体におけるCeの組成比xは、0.002≦x≦0.025であること

を特徴とする電子線検出器。

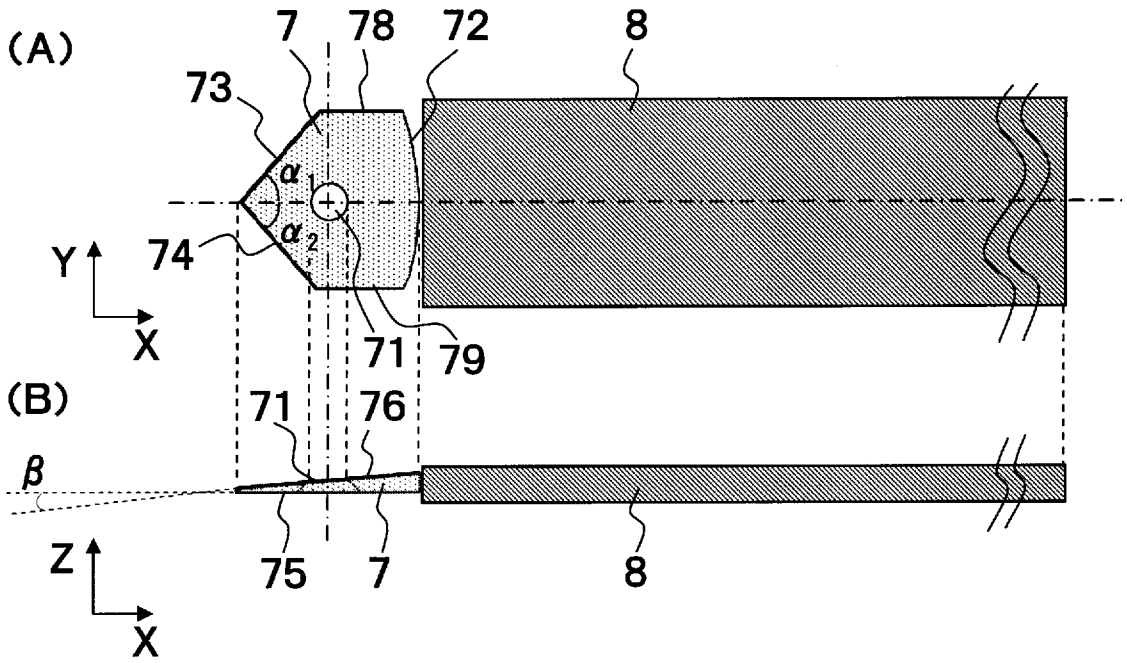
[図1]


100
1
2
3
14
表示装置
75
71
6
7
8
9
10
4
5
12

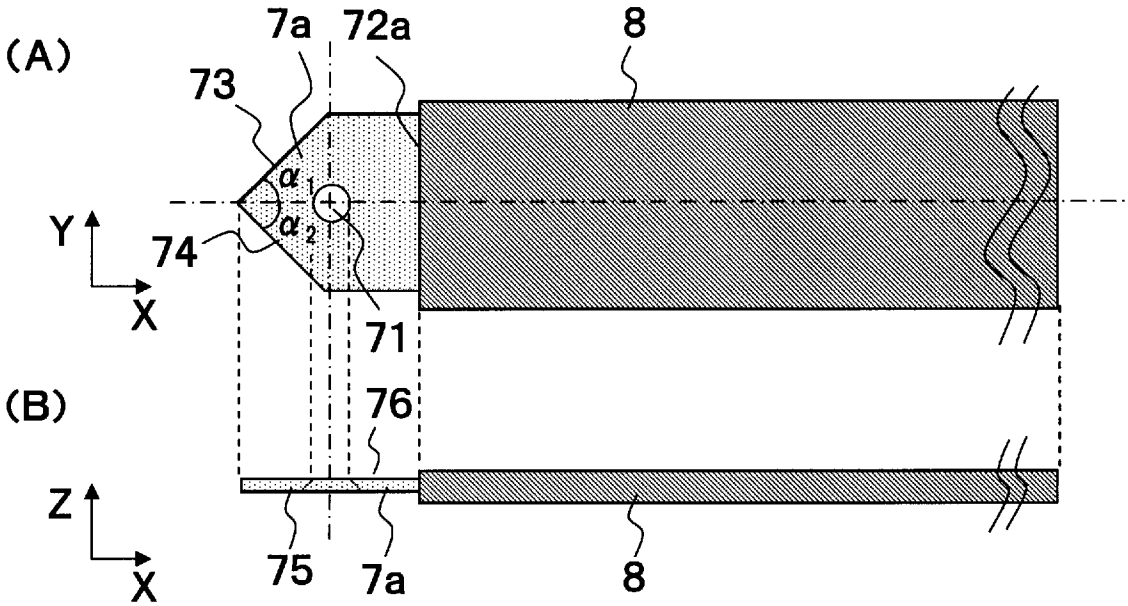
[図2]


発光強度
(従来品の値を100)
光透過率(%)
120
100
80
60
40
20
0
0.01
0.02
0.03
Ce組成比 x
0.002
0.025

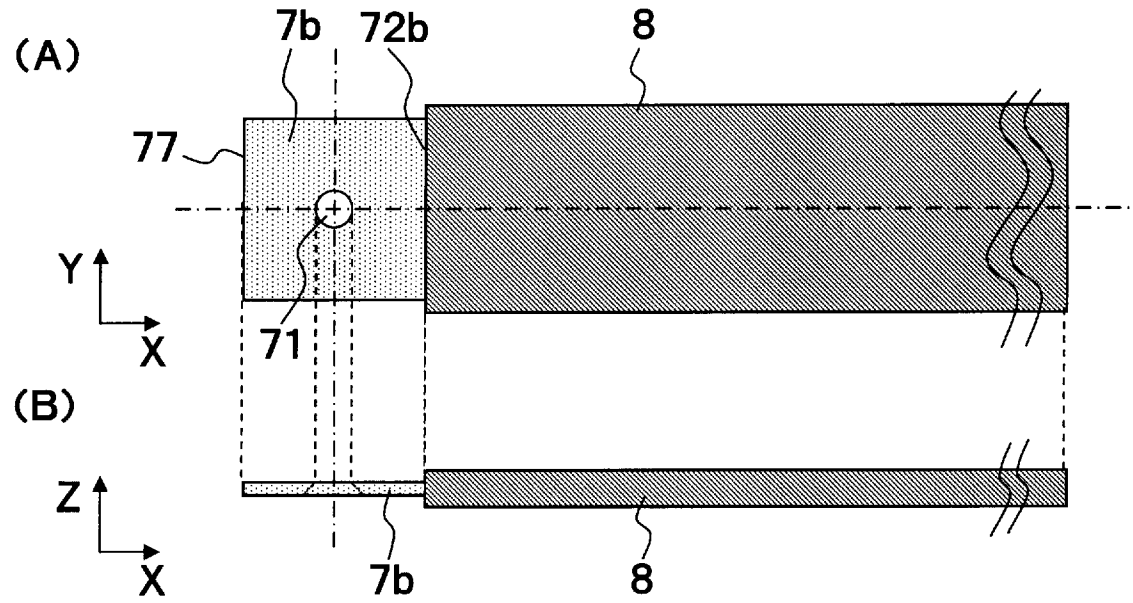
[図3]


(A)
7
78
72
8
73
α1
α2
74
Y
X
71
79
(B)
71
76
β
Z
X
75
7
8

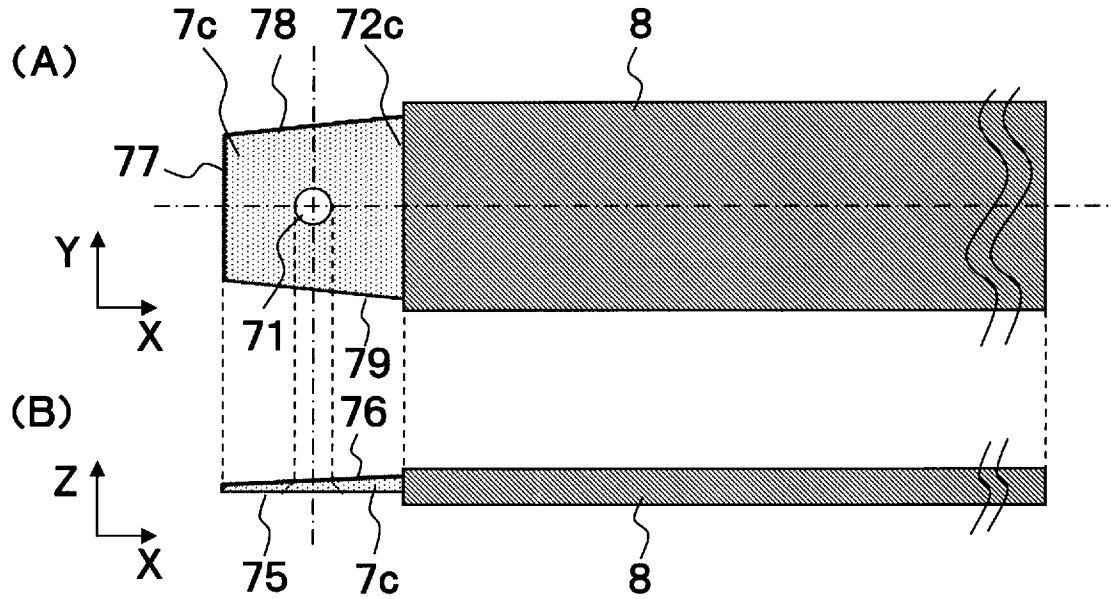
[図4]


(A)
7a
72a
8
73
α1
α2
74
Y
X
71
(B)
76
Z
X
75
7a
8

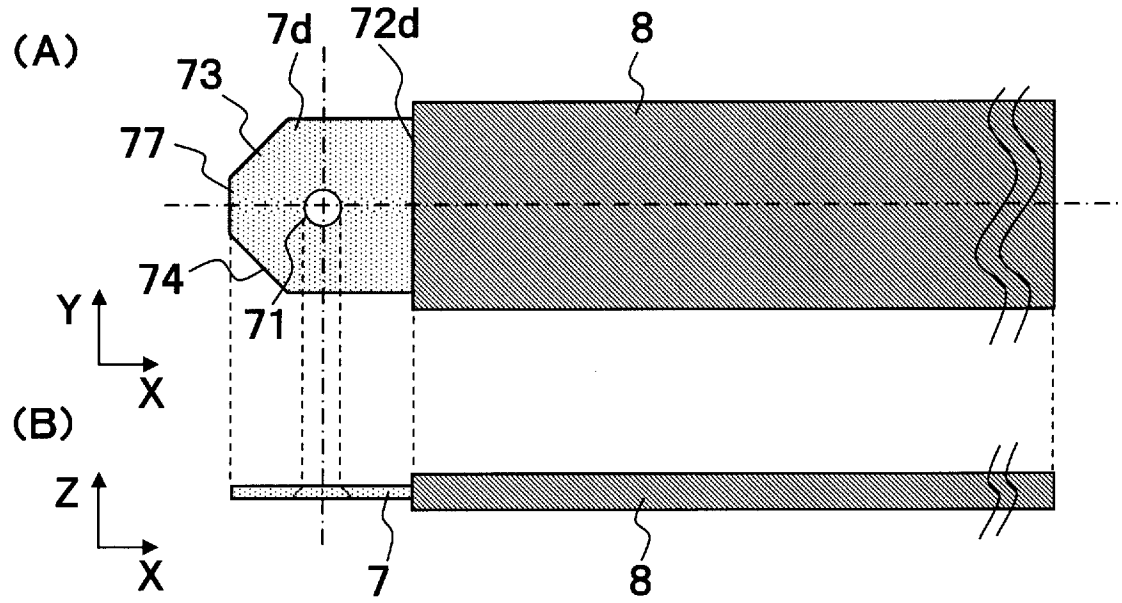
[図5]



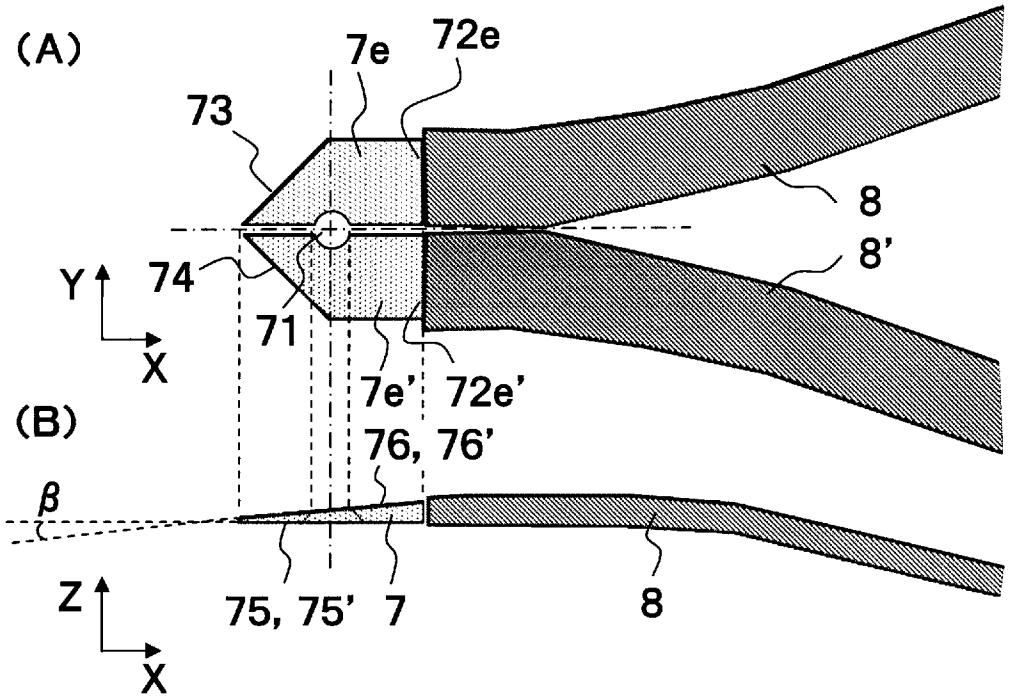
[図6]



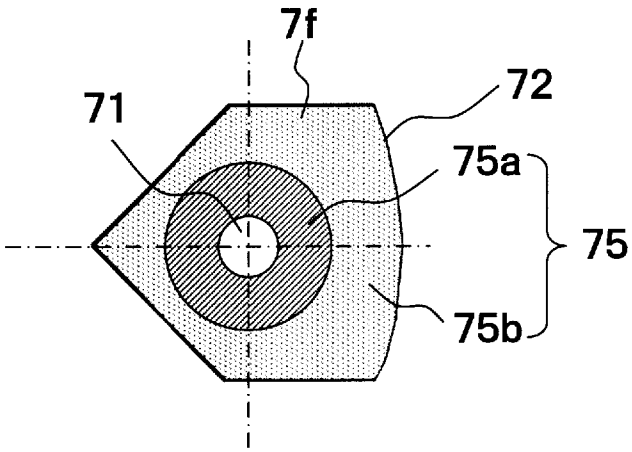
[図7]


(A)
7d
72d
8
73
77
74
71
Y
X
(B)
Z
X
7
8

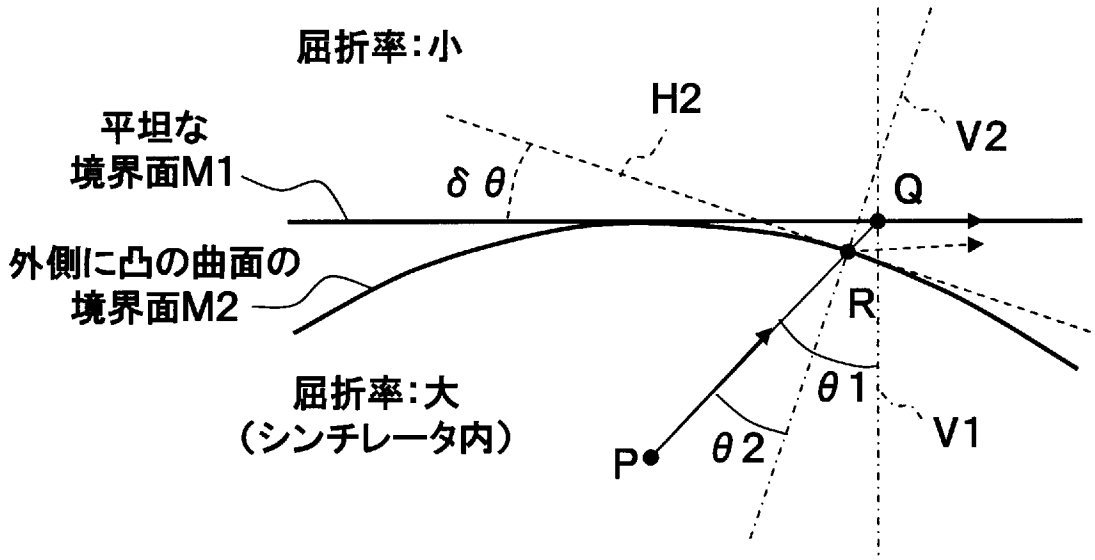
[図8]


(A)
7e
72e
73
8
8'
74
Y
X
71
7e'
72e'
(B)
76, 76'
β
Z
X
75, 75'
7
8

[図9]


7f
71
72
75a
75
75b

[図10]


屈折率:小
H2
V2
平坦な
境界面M1
δθ
Q
外側に凸の曲面の
境界面M2
R
θ1
屈折率:大
(シンチレータ内)
P
θ2
V1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/071611

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01J37/244(2006.01)i, *H01J37/28*(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)
H01J37/244, H01J37/28

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 1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 11-273608 A (Hitachi, Ltd., Hitachi Science Systems Ltd.), 08 October 1999 (08.10.1999), paragraphs [0006] to [0009]; fig. 3 (Family: none)	1-2,8-13 3-7
Y A	JP 2012-180399 A (Furukawa Co., Ltd., Tohoku University), 20 September 2012 (20.09.2012), paragraph [0063] (Family: none)	1-2,8-13 3-7
Y A	JP 2012-13460 A (Horiba, Ltd.), 19 January 2012 (19.01.2012), paragraph [0023] (Family: none)	2 1,3-13

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

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
13 September, 2013 (13.09.13)	24 September, 2013 (24.09.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/071611

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2012-500447 A (Advantest Corp.), 05 January 2012 (05.01.2012), paragraphs [0031] to [0057]; fig. 3 & US 2011/0139984 A1 & WO 2010/021012 A1	8 1-7,9-13
A	JP 2-118485 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 02 May 1990 (02.05.1990), entire text; all drawings & US 5012103 A & GB 2224353 A	1-13

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／０７１６１１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01J37/244(2006.01)i, H01J37/28(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.　H01J37/244, H01J37/28

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	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３年

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

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y A	JP 11-273608 A (株式会社日立製作所, 株式会社日立サイエンスシステムズ) 1999.10.08, 【0006】－【0009】, 図３（ファミリーなし）	1-2, 8-13 3-7
Y A	JP 2012-180399 A (古河機械金属株式会社, 国立大学法人東北大学) 2012.09.20, 【0063】（ファミリーなし）	1-2, 8-13 3-7

☑　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	国際調査報告の発送日
１３．０９．２０１３	２４．０９．２０１３

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｇ　５０６１
桐畑　幸▲廣▼

電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２２６

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2012-13460 A (株式会社堀場製作所) 2012.01.19,	2
A	【0023】（ファミリーなし）	1, 3-13
Y	JP 2012-500447 A (株式会社アドバンテスト) 2012.01.05,	8
A	【0031】－【0057】, 図3 & US 2011/0139984 A1 & WO 2010/021012 A1	1-7, 9-13
A	JP 2-118485 A (浜松ホトニクス株式会社) 1990.05.02, 全文全図 & US 5012103 A & GB 2224353 A	1-13