

(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10月5日(05.10.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/169101 A1

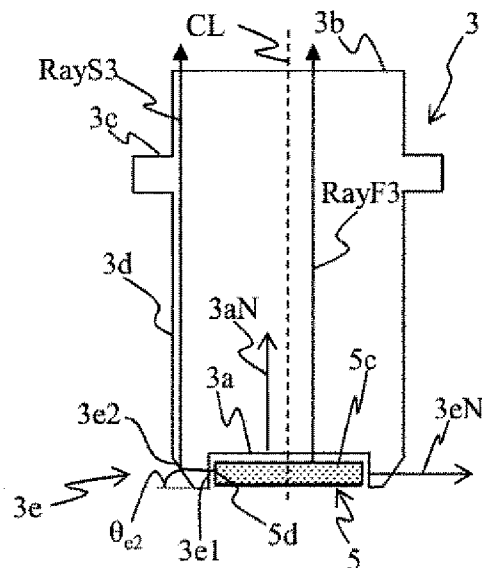
- (51) 国際特許分類:
H01J 37/244 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/003884
- (22) 国際出願日: 2017年2月3日(03.02.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-069943 2016年3月31日(31.03.2016) JP
- (71) 出願人: 株式会社 日立ハイテクノロジーズ
(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目
24番14号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 關口 好文(SEKIGUCHI Yoshifumi); 〒
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). 今村 伸(IM-
AMURA 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). 川野 源(KAWANO Hajime); 〒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). ホック
シャヘドウル(HOQUE Shahedul); 〒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: 戸田 裕二(TODA Yuji); 〒1008220 東京
都千代田区丸の内一丁目6番1号 株式会社日
立製作所内 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, 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.

[続葉有]

(54) Title: LIGHT GUIDE, DETECTOR PROVIDED WITH LIGHT GUIDE, AND CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE

(54) 発明の名称: ライトガイド、ライトガイドを備えた検出器、及び荷電粒子線装置

【図3】



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide: a light guide capable of highly efficiently guiding, to a light receiving element, light generated by a scintillator; a detector; and a charged particle beam device. In order to achieve the purpose, the present invention proposes a light guide (3) that guides, to a light receiving element, light generated by a scintillator. The light guide is provided with: a first surface (3a) facing a surface (5c) of a scintillator (5), said surface (5c) being on the reverse side of a charged particle beam input surface of the scintillator; a scintillator housing unit formed of a second surface (3e1) facing a scintillator surface (5d) different from the surface on the reverse side of the charged particle beam input surface; and a tilted surface (3e2) that reflects, toward the inside of the light guide, light inputted from the second surface.

(57) 要約: 本発明は、シンチレータにて発生する光を高効率に受光素子に導くことが可能なライトガイド、検出器、及び荷電粒子線装置の提供を目的とする。本発明では上記目的を達成するために、シンチレータより発生した光を受光素子に導くライトガイド(3)であって、シンチレータ(5)の荷電粒子入射面とは反対の面(5c)に対向する第1の面(3a)と、シンチレータの荷電粒子入射面の反対の面とは異なる面(5d)に対向する第2の面(3e1)から形成されるシンチレータ収容部と、第2の面から入射する光を、ライトガイド内部に向かって反射する傾斜面(3e2)を備えたライトガイドを提案する。

から入射する光を、ライトガイド内部に向かって反射する傾斜面(3e2)を備えたライトガイドを提案する。

WO 2017/169101 A1



(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))

明 細 書

発明の名称：

ライトガイド、ライトガイドを備えた検出器、及び荷電粒子線装置

技術分野

[0001] 本発明は、ライトガイド、ライトガイドを備えた検出器、及び荷電粒子線装置に係り、特に、光を高効率に受光素子に導くライトガイド、そのライトガイドを備えた検出器、及び荷電粒子線装置に関する。

背景技術

[0002] 試料に電子ビーム等の荷電粒子ビームを照射することによって得られる荷電粒子を検出する荷電粒子線装置には、荷電粒子を検出するための検出器が備えられている。例えば電子ビームを試料に走査することによって、試料から放出された電子を検出する場合、電子検出器に10kV程度の正電圧を印加することによって、電子を荷電粒子検出器のシンチレータに導く。電子の衝突によってシンチレータにて発生した光はライトガイドに導かれ、光電管などの受光素子によって電気信号に変換され、画像信号や波形信号となる。

[0003] 特許文献1には、シンチレータに取り付けられたライトガイドが説明されている。更に、特許文献1には、シンチレータから放出された光を、PMT (Photomultiplier Tube) に導くべく、ライトガイドに傾斜面を設ける構成が説明されている。特許文献2には、アクリル樹脂など透明度が高い材料を用いたライトガイドが記載されている。更に、引用文献2には、シンチレータで発生した光を、ライトガイドによって導光し、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に入射させる装置が示されている。また、ライトガイドに向かって高効率に光を導くため、電子の入射面とは反対側の面を、傾斜面としたシンチレータ構造が説明されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：USP 8, 895, 935

特許文献2：特開2014-67526号公報（対応米国特許公開公報US 2015/0214002）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 一方、シンチレータで発生する光は、ライトガイドによって受光素子に導かれるが、受光素子に至る過程で、ライトガイド壁面に衝突する光がある。衝突した光は、反射によって受光素子に向かうが、ライトガイド外部に突き抜けてしまう光もある。ライトガイド外への光の透過を抑制しつつ、受光素子に光を導くことができれば、荷電粒子線装置のSNを向上させることができる。特許文献1に開示のライトガイドによれば、シンチレータで発生した光を、当該ライトガイドのシンチレータ取り付け面とは反対側の斜面によって反射させることによって、シンチレータで発生した光をPMTに導くことができるが、上述のようにライトガイド壁面に衝突する光の中には、反射することなく突き抜けてしまうものがあり、高効率検出には限度がある。また、傾斜面に入射する光のできるだけ多くを反射できるように、シンチレータ取り付け面とは反対側の傾斜面と、取り付け面との相対角度を大きくすることが考えられるが、その場合、ライトガイドの電子顕微鏡等の光軸方向の寸法が大きくなり、真空室内の限られた空間内に配置する部材としては、不向きなものとなることが考えられる。

[0006] 特許文献2に開示の検出器構造によれば、シンチレータ側方から放出される光を受光素子に導くことができるが、シンチレータの荷電粒子の衝突面と反対側の面から、光が透過してしまうことがあり、やはり高効率検出には限度がある。

[0007] 以下に、シンチレータにて発生する光を高効率に受光素子に導くことを目的とするライトガイド、ライトガイドを備えた検出器、及び荷電粒子線装置を提案する。

課題を解決するための手段

[0008] 上記目的を達成するための一態様として、以下にシンチレータより発生した光を受光素子に導くライトガイドであって、前記シンチレータの荷電粒子入射面とは反対の面に対向する第1の面と、前記シンチレータの荷電粒子入射面の反対の面とは異なる面に対向する第2の面から形成されるシンチレータ収容部と、前記第2の面から入射する光を、前記ライトガイド内部に向かって反射する傾斜面を備えたライトガイドを提案する。

[0009] また、上記目的を達成するための他の一態様として、シンチレータと、当該シンチレータより発生した光を受光素子に導くライトガイドを備えた検出器であって、前記ライトガイドは、前記シンチレータの荷電粒子入射面とは反対の面に対向する第1の面と、前記シンチレータの荷電粒子入射面の反対の面とは異なる面に対向する第2の面から形成される凹部と、前記第2の面から入射する光を前記ライトガイド内部に向かって反射する傾斜面とを備え、当該凹部に前記シンチレータが収容される検出器を提案する。

[0010] 更に、上記目的を達成するための他の態様として、荷電粒子源から放出される荷電粒子ビームの照射に基づいて試料から放出される荷電粒子、及び試料から放出される荷電粒子が他部材に衝突することによって発生する荷電粒子の少なくとも一方を検出する検出器を備えた荷電粒子線装置であって、前記検出器はシンチレータと、当該シンチレータより発生した光を受光素子に導くライトガイドを有し、当該ライトガイドは、前記シンチレータの荷電粒子入射面とは反対の面に対向する第1の面と、前記シンチレータの荷電粒子入射面の反対の面とは異なる面に対向する第2の面から形成される凹部と、前記第2の面から入射する光を前記ライトガイド内部に向かって反射する傾斜面とを備え、当該凹部に前記シンチレータが収容される荷電粒子線装置を提案する。

発明の効果

[0011] 上記構成によれば、シンチレータにて発生した光を高効率に受光素子に導くことができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]電子顕微鏡の構造を示す図。

[図2]シンチレータ内の光の通過の軌跡の一例を示す図。

[図3]シンチレータの收容空間と側面プリズムを備えたライトガイドの一例を示す図。

[図4]側面プリズムの変形例を説明する図。

[図5]電子顕微鏡の構造を示す図。

[図6]屈曲部を備えたライトガイドの一例を示す図。

[図7]屈曲部と直線部を接続する傾斜部を備えたライトガイドの一例を説明する図。

[図8]屈曲部の断面形状を円の方程式を用いてフィッティングした例を示す図

[図9]ライトガイドの具体的な形状を説明する図。

[図10]ライトガイドの具体的な形状を説明する図。

[図11]ライトガイドの光入射面を種々の方向からみた図。

[図12]ライトガイドの具体的な形状を説明する図。

[図13]ライトガイドの具体的な形状を説明する図。

発明を実施するための形態

[0013] シンチレータを検出素子とする荷電粒子検知器において、シンチレータ内部で発光した光を高効率に受光素子に導くことによって、荷電粒子の高効率検出を実現することができる。一方、立体形状のシンチレータは、複数の面を持ち、光を反射する反射材が備わっていない全てのシンチレータの表面から出射するが、ライトガイドに面していないシンチレータ面から放出された光を導くことはできない。即ち、一部の表面から出射した光しか、ライトガイドに入射させることができていない。また、ライトガイドが直線でなく、屈曲部を有する場合には、光が屈曲部で漏れて受光素子に届かない。それゆえ、シンチレータから出射した光を十分に受光素子まで伝播させることができていない。つまり、ライトガイドを用いた光学系は、シンチレータから出射した光に対し、受光素子に到達する光の割合（光利用効率）が低いことが多い。

[0014] 以下に、光利用効率を向上させるライトガイドについて説明する。本実施例では、シンチレータを検出素子とする検出器を備え、シンチレータと受光素子間にライトガイドを備えた荷電粒子線装置について説明する。なお、以下に説明する実施例では、電子顕微鏡、特に走査電子顕微鏡の例について説明するが、これに限られることなく、以下に説明する実施例は、イオンビームを用いた走査イオン顕微鏡などの他の荷電粒子線装置への適用も可能である。また、走査電子顕微鏡を用いた半導体パターンの計測装置、検査装置、観察装置等にも適用可能である。

[0015] 本明細書でのシンチレータとは、荷電粒子線を入射して発光する素子を指すものとする。本明細書におけるシンチレータは、実施例に示されたものに限定されず、様々な形状や構造をとることができる。

[0016] 《第1の実施形態》

図1は、電子顕微鏡1の基本構成を示す図である。図1は側面から電子顕微鏡を見た図であり、図2および図3はシンチレータ5およびライトガイド3の詳細図である。電子源2から放出された一次電子線100が試料50に照射され、二次電子や反射電子等の二次粒子101が放出される。二次粒子101は信号粒子制限板6に衝突してから、シンチレータ5に入射する。なお、信号粒子制限板6に衝突した後の粒子を三次粒子と呼ぶこともあるが、説明を簡略化するため、試料50から放出された二次粒子、及び試料から放出された二次粒子が信号粒子制限板6に衝突することによって発生する二次電子等を含めて二次粒子と呼ぶことにする。本実施形態では、円形の二次粒子入射面を持つシンチレータ5について説明する。本実施例では、二次粒子の入射面の大きさに対し、相対的に高さ方向の寸法が小さい円柱形状のシンチレータを例にとって説明する。シンチレータ5に二次粒子101が入射するとシンチレータ5で発光が起こる。シンチレータ5の発光は、ライトガイド3により導光され、受光素子4で電気信号に変換する。以下、シンチレータ5、ライトガイド3、受光素子4を合わせて検出系と呼ぶこともある。

[0017] 走査電子顕微鏡の場合、一次電子線（電子ビーム）の走査に同期して、受

光素子 4 で得られた信号がフレームメモリ等の記憶媒体に記憶される。電子線照射位置に対応した画像位置（画素）に、得られた信号量に応じた輝度の表示を行うことによって、走査領域のコントラスト像とすることができる。図 1 では、一次電子線 100 を試料に集束して照射するための電子光学系、すなわち偏向器やレンズ、絞り、対物レンズ等は図示を省略している。

[0018] 電子光学系を構成する電子光学鏡筒 60 の内部は、真空状態が保たれており、真空空間をビームが通過するように構成されている。また、試料 50 は、当該試料を少なくとも X-Y 方向（一次電子線の理想光軸を Z 方向とした場合）に移動させる試料ステージに載置され、試料 50 と試料ステージは試料室 61 に配置される。試料室 61 は、一般的には電子線照射の時には真空状態に保たれている。また、電子顕微鏡には図示しないが全体および各部品の動作を制御する制御部や、画像を表示する表示部、ユーザが電子顕微鏡の動作指示を入力する入力部等が備えられている。更に、試料ステージには、図示しない負電圧印加電源が接続されており、電子ビームに対する減速電界を形成することができる。電子ビームに対する減速電界は、試料から放出される二次粒子（二次電子や後方散乱電子）にとって、加速電界となるため、電子源 2 の方向に向かって二次粒子等は加速され、信号電子制限板 6 等に衝突する。

[0019] この電子顕微鏡は構成の一つの例であり、シンチレータ 5、ライトガイド 3、受光素子 4 を備えた電子顕微鏡であれば、他の構成でも適用が可能である。図 1 の例では、信号電子制限板 6 への二次粒子の衝突に基づいて発生する新たな二次粒子（三次粒子）を検出する例について説明しているが、信号電子制限板 6 の位置に、シンチレータを配置し、当該シンチレータで発生した光をライトガイドで受光素子に導くような構成とすることもできる。

[0020] また、二次粒子 101 には、透過電子、走査透過電子等も含まれる。また、簡単のため、検出器は 1 つのみ示しているが、複数の検出器を設けても良い。反射電子検出用検出器と二次電子検出用検出器を別々に設けてもよいし、方位角または仰角を弁別して検出するために複数の検出器を備えていても

よい。

[0021] 次に、図2を用いて、本実施形態のシンチレータ5を詳細に説明する。図2において、正面方向DFは、円柱状のシンチレータ5の底面（円柱の上下の底面を区別するために上底面5cと呼ぶことにする。）の法線に平行で二次粒子101が伝播してくる方向である。側面方向DSは正面方向DFに垂直な方向である。図は、円柱状のシンチレータ5を側面方向DSから見た図である。シンチレータ5は、入射した二次粒子101のエネルギーを光に変換して発光する発光部5aと、シンチレータ5に電圧を印加する伝導層5bから構成される。伝導層5bは発光部5a上に積層して形成された層であり、本実施形態ではAl層である。但し、シンチレータ5としては、発光部5aを有すれば良く、この構成に限らない。

[0022] 発光部5aの材料としては、半導体（GaN、Si、SiC）、セラミック蛍光体YAG（ $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ ）、YAP（ $YAlO_4:Ce$ ）、ガラスなどの基板に成膜して用いる粉体蛍光体 $Y_2SiO_5:Ce$ などがある。半導体シンチレータの例としては、InGaNとGaNを積層して量子井戸を形成した構造を光変換部とする半導体がある。InGaN層とGaN層は、荷電粒子の入射方向に向かって積層される。

[0023] シンチレータ5に入射した二次粒子101は伝導層5bを貫通して発光部5aで光に変換され、変換された光は発光部5aを伝播してシンチレータ5の外へ出射する。伝導層5bは光に対しては反射部材として機能するため、伝導層5bが無い全ての表面から光は出射する。

[0024] 光線例を図中にRayF1、RayF2、RayS1、RayS2として示した。RayF1、F2は正面方向DFに上底面5cから出射する例で、RayF2は伝導層5bで反射して出射する例である。RayS1、RayS2は側面方向DSに伝播して側面5dから出射する例である。RayS2は上底面5cで全反射し、伝導層5bで反射して側面5dから出射する例を示しており、発光部5a内を導光して側面5dから出射する例である。発光部5aは空気よりも屈折率が高いので、一部の光はシンチレータ5の表面で

全反射して導光する。

[0025] 側面 5 d から出射する光の総和（側面出射光量 I_s ）と、上底面 5 c から出射する光の総和（平面出射光量 I_p ）の比率は、シンチレータ 5 の内部構造に依存する。半導体、セラミック蛍光体材料のシンチレータを用いる場合や、粉体蛍光体を成膜した基板をシンチレータとして用い、基板からの光も取り出して活用する場合、一般に材料の屈折率は 1.5 よりも大きく、屈折率 1.5 のときのシンチレータ 5 表面での全反射角度は 40 度程度である。それゆえ、表面へ入射した光の約 75% 以上の光が全反射する。発光部 5 a 内部が、散乱が起こりやすい構造であると、乱反射して再度表面に到達して表面から出射することもあるが、上記シンチレータの場合、光散乱が起こり難い構成であるため、側面 5 d まで光が導光し、側面 5 d から多くの光が出射する。GaN を材料とするシンチレータ 5 の場合、シミュレーションによれば、円柱の高さが 0.5 mm、円の直径が 9 mm で、 $I_p : I_s = 1 : 1$ 程度である。また、発光部 5 a 内にピラミッド、円錐などのパターン構造や光の波長程度以下のパターン構造などを導入して、散乱により導光を抑制して、上底面 5 c からの平面出射光量 I_p を向上させる技術を導入しても、 $I_p : I_s = 7 : 3$ 程度である。したがって、側面出射光量 I_s もライトガイドで捉えて光の収量を向上させることは重要である。

[0026] 次に、図 3 を用いて、ライトガイド 3 に関して説明する。図 3 はライトガイド 3 の断面図であり、ライトガイド 3 は、中心線 CL に対して回転対称な形状である。ライトガイド 3 の材質としては、PMMA 樹脂、シクロオレフィンポリマー（COP）樹脂や、シリカ、石英などを用いれば良い。但し、本発明は材質に限定されない。

[0027] ライトガイドの円柱の側面 3 d には、電子光学鏡筒 60 内の真空と外側の大気を分離するための分離フランジ 3 c が設けられている。分離フランジ 3 c は電子顕微鏡 1 の構造に依存してある場合とない場合がある。本実施形態の場合、受光素子 4 を電子光学鏡筒 60 の外側に配置し、シンチレータ 5 を電子光学鏡筒 60 の内側に配置しているので、ライトガイド 3 に分離フラン

ジ 3 c が設けられている。

[0028] ライトガイド 3 の出射面 3 b は円形であり、受光素子 4 に対向して配置される面である。シンチレータ 5 の上底面 5 c に対向する面がライトガイド 3 の入射面 3 a (第 1 の面) である。入射面 3 a から入射した光は、一部はライトガイド 3 に吸収されるが、大部分は出射面 3 b に到達する。Ray F 3 は入射面 3 a からライトガイドに入射し、出射面 3 b から出射する光線例である。

[0029] シンチレータ 5 の側面 5 d に対向して配置される部位は、側面プリズム 3 e であり、側面プリズム 3 e は、シンチレータ 5 の側面 5 d に対向し、側面 5 d からの光を入射する側面プリズム入射面 3 e 1 (第 2 の面) を有する。側面プリズム入射面 3 e 1 は、ライトガイド 3 の入射面 3 a とは異なる方向に面方向を有する側壁面である。

[0030] さらに、ライトガイド 3 の入射面 3 a と側面プリズム入射面 3 e 1 はシンチレータ 5 を囲む収容空間を形成している。シンチレータ 5 からの光を全て取り込むためには、収容空間はシンチレータ 5 の光が出射する表面の全てに対向するように形成されていることが好ましい。但し、当該収容空間は、シンチレータ 5 の光が出射する表面の一部にしか対向する面が形成されていない構成であっても、側壁面を有すれば光利用効率を向上するという効果を奏する。

[0031] 側面プリズム 3 e は、側面プリズム入射面 3 e 1 から入射した光を、出射面 3 b に光が向かうように反射する反射面 3 e 2 (傾斜面) を有する。反射面 3 e 2 は、側面プリズム入射面 3 e 1 を包囲するように形成されている。Ray S 3 は入射面 3 e 1 から側面プリズム 3 e に入射し、反射面 3 e 2 で全反射して出射面 3 b から出射する光線例である。本実施形態では反射面 3 e 2 が側面プリズム入射面 3 e 1 の法線方向 3 e N と所定の角度 θ_2 を有することで、側面プリズム入射面 3 e 1 の法線方向 3 e N に入射した光を全反射できるようにした構成である。

[0032] なお、全反射は反射面 3 e 2 への光の入射角度が臨界角 θ_c よりも大きい場

合にのみ起きる。入射光は法線方向 $3eN$ 以外の角度の光も有し、より多くの光を反射するためには、反射面 $3e2$ の表面に反射部材を付与した方が良い。反射部材としては、アルミニウム、銀、多層反射膜などがある。

[0033] 角度 θ_{e2} に関しては、出射面 $3b$ の方向に反射するという観点では、 20 度よりも大きくした方が良く、 70 度よりも小さい方が良い。但し、角度の上限は、ライトガイド 3 の形状に依存し、例えば、曲がったライトガイド 3 の場合は別の値となる。角度 θ_{e2} を適切に設定することで、反射光を出射面 $3b$ に向けて伝搬させることが可能となるため、光利用効率を向上するという効果を奏する。

[0034] また、入射面 $3a$ の法線方向 $3aN$ に反射する角度 θ_{e2} は、ライトガイド 3 の形状に依存せず、 45 度 ± 15 度の範囲が良い。入射面 $3a$ の法線方向 $3aN$ に向かう光の多くは、ライトガイド 3 の出射面以外から漏れることなく、ライトガイド 3 を導光することが可能であるので、光利用効率を向上するという効果を奏する。

[0035] 側面プリズム $3e$ は、シンチレータ 5 の側面 $5d$ からの出射光もライトガイド 3 に入射させ、反射面 $3e2$ で出射面 $3b$ に向けて反射し、受光素子 4 に向けて、より多くの光を伝搬させることができるので、光利用効率を向上するという効果を奏する。また、通常、シンチレータは、入射面に直交する方向の面（側面）の厚み方向の寸法が、荷電粒子の入射面の面方向の寸法より十分に小さい。よって、上底面 $5c$ から放出される光を、プリズム等を用いた反射を行うことなく、ライトガイドの中心線 CL の方向（ライトガイドの光路方向）に導くように構成すると共に、シンチレータ側面から放出された光を、側面プリズムを用いた反射を伴って、ライトガイド光路方向に導くように構成する。即ち、ライトガイド 3 にシンチレータ 5 の収容空間を形成する場合、側面プリズム入射面 $3e1$ の高さ方向の寸法を、入射面 $3a$ より小さく構成すると共に、シンチレータ 5 の側面 $5d$ と、ライトガイド 3 の側面プリズム入射面 $3e1$ 、及びシンチレータの上底面 $5c$ と、ライトガイド 3 の入射面 $3a$ をそれぞれ対向させるように配置する。

[0036] 以上のような構成によれば、ライトガイド内で反射により伝播方向を変える光の量を少なくしつつ、シンチレータの各面から放出される光を高効率に検出素子に導くことが可能となる。

[0037] 次に、図4を用いて反射面3e2の変形例に関して説明する。図4は側面プリズム3e付近を拡大した断面図である。

[0038] 図4(a)は、反射面3e2の表面に反射部材3e2Rを貼りつけた例である。反射部材3e2Rを設けることで、反射面3e2で全反射できず貫通してしまう光も反射することが可能となり、光利用効率が向上する。光線Ray S4は、反射部材3e2Rが無い場合には、反射面3e2を透過して損失となる光であるが、反射部材3e2Rがある場合は反射して出射面3bに向かって導光する。反射部材は、貼り付ける以外にも蒸着など様々な方法の取り付け方があり、本実施形態は取り付け方に限定されない。ここで、本実施形態では、反射部材を用いてライトガイド全体を覆わずに、ライトガイドの一部（反射面）にのみ貼りつけている。一般の反射材は反射時に光の一部を吸収するので、光が複数回反射するライトガイドの側面3dには貼りつけない。反射材として金属を用いた場合の吸収率は、5～15%程度である。側面3dは光吸収が起きない全反射にて導光させることが重要である。

[0039] 図4(b)は、反射面3e2の形状が、直線ではなく折れ線の場合を示している。複数回の反射により光の伝播方向を変えている。一例として、光線例Ray S5を図示した。

[0040] 図4(c)は、反射面3e2の形状が、直線ではなく曲線の場合を示している。複数回の反射により光の伝播方向を変えている。一例として、光線例Ray S6を図示した。曲線の形状は、円、楕円、放物線、双曲線など様々な形状が考えられる。また、曲線だけに限らず、曲線と折れ線または曲線と直線の組み合わせでも良い。反射面3e2の形状としては、光が出射面3bに向かって伝搬するように反射する形状であれば、光利用効率を向上するという効果を奏する。

[0041] 《第2の実施形態》

図5、6は第2の実施形態を説明するための図である。第1の実施形態と同じ個所、または、同じ機能を有する箇所に関しては説明を省略する。また、図中で同じ符号の箇所は、同様の機能を有する箇所である。図5(a)は、側面から電子顕微鏡を見た図で、図5(b)は、図5(a)の矢印Aの方向から電子顕微鏡1を見た図である。点線Bと出射面の中心を含む平面を平面S1とした場合に、図6(a)は、平面S1におけるライトガイド3の断面図である。また、平面S1は入射面3aの中心も含む面である。

[0042] 図5に例示するような電子顕微鏡には、図1で例示したような信号粒子制限板がなく、二次粒子101は直接シンチレータ5に入射する。また、図1の例と比較すると、ライトガイド形状が異なる。本実施形態のライトガイド3は、入射面3aと出射面3bが対向していない（シンチレータの入射面の法線方向に、シンチレータの出射面がない）ため、ライトガイド3には屈曲部3fが設けられている。

[0043] なお、簡単のため、検出系は1つのみ示しているが、複数の検出系を設けても良いし、信号粒子制限板がある別の検出系を設けてもよい。本実施形態では図示していないが、信号粒子制限板がある別の検出系が、図示されている検出系より試料50に近い側に設けられている。

[0044] 本実施形態の電子光学系は、電子源2から放出された一次電子線100は試料50に向かって直進するが、二次粒子101はシンチレータ5に向かって曲がることのできる光学系を有する。二次粒子101が直接シンチレータ5に入射するので、試料50から直進してきた二次粒子101を高感度に検出することが可能である。

[0045] 図5(b)で示すようにライトガイド3は屈曲部3fを有し、光も屈曲部3fを反射しながら出射面3bに向かって導光し、受光素子4に到達する。図6(a)を用いて断面形状を詳細に説明する。断面形状は大きく、3つの部位からなる。屈曲部3f1、3f2と、屈曲部よりなだらかに形状が変化する傾斜部3g1、3g2と、直線部3h1、3h2の3つの部位である。

[0046] 直線部3hの形状は出射面3bを底面（半径 r_a の円、図6(b)参照）と

する円柱である。直線部 3 h には、分離フランジ 3 c が設けられている。直線部 3 h に分離フランジ 3 c を設けることで、電子光学鏡筒 6 0 の側壁などに垂直に分離フランジ 3 c を押し当てることができ、大気が真空中に流入することを抑制する構成となっている。

[0047] 傾斜部 3 g の形状は、屈曲部 3 f と直線部 3 h を接続する形状である。断面形状 3 g 1、3 g 2 は緩やかに変化する曲線である。断面形状は曲線に限らず、直線、折れ線、曲線と直線、曲線と折れ線の組み合わせなどでも良い。

[0048] 屈曲部の断面形状 3 f 1、3 f 2 は、本実施形態では、中心角が 60 度から 89 度の間にある円弧である。なお、当該断面形状は、円弧からずれた曲線などでも良いし、一部は円弧または曲線で、その他は直線または折れ線でも良い。屈曲部は屈曲部の表面からライトガイドの外に漏れる光の量を低減するために複雑な形状をしている。入射面 3 a は、図 6 (c) に示す形状で、点 D および E に断面形状 3 f 1 および 3 f 2 がそれぞれ接続する。点線 F を境に左半分が円 3 a 1、右半分が楕円 3 a 2 となっている。円の半径は r_a で、楕円の短軸、長軸の $1/2$ の長さは、それぞれ r_a と r_b である ($r_a < r_b$)。点線 F と、点 D と E が結ぶ線分との交点に略対向する位置にシンチレータ 5 の中心が配置される。

[0049] 平面 S 1 に垂直で点線 C を含む面を平面 S 2 とした場合に、平面 S 2 におけるライトガイド 3 の断面形状は出射面 3 b と同じ円である。屈曲部 3 f の形状は、当該円と入射面 3 a の形状を、断面形状 3 f 1、3 f 2 を輪郭として繋いだ形状である。例えば、一般的な 3D CAD (three-dimensional computer aided design system) を用いて、当該円と入射面 3 a の形状を、断面形状 3 f 1、3 f 2 を輪郭としてロフトすることで屈曲部の形状が作成できる。図 6 (d) は本実施形態のライトガイド 3 の斜視図である。符号 3 i は、ライトガイド 3 とシンチレータ 5 を固定するための部位を示す。

[0050] 図 7 を用いて、屈曲部の形状をより詳細に説明する。図 7 (a) は屈曲部

3 f で光が漏れる要因を説明するための平面 S 1 における断面図である。この例では、図 6 で示したライトガイドのように傾斜部 3 g が存在しない。入射面 3 a と出射面 3 b の形状は図 6 (b) に示す円で、屈曲部の断面形状 3 f 1、3 f 2 は中心角 90 度、入射面 3 a を始点する円弧である。屈曲部 3 f と出射面 3 b は直線部 3 h で繋がれている。入射面 3 a と出射面 3 b を繋げる最も簡単なライトガイド形状である。

[0051] 3 本の光線例を用いて代表的な光が漏れる光線経路を説明する。光線 Ray F 5 は、屈曲部の断面 3 f 1 に到達し、到達点の面の法線 3 N 1 との角度が全反射の臨界角よりも小さいために、面を透過する例である。入射面 3 a の法線と入射面 3 a を出射するときの光線の角度が、図の角度より大きい光線は全て屈曲部 3 f を透過して損失となる。

[0052] 光線 Ray F 6 (他の光線と見分けるために点線で示す。) は、屈曲部の断面 3 f 2 で、入射面 3 a の法線方向に全反射して、屈曲部の断面 3 f 1 に到達し、到達点の面の法線 3 N 2 との角度が全反射の臨界角よりも小さいために、面を透過する例である。屈曲部の断面 3 f 2 に近い位置から出射する光は、屈曲部の断面 3 f 2 で反射して同様の光線経路でライトガイド 3 から漏れる。

[0053] 光線 Ray F 7 は、入射面 3 a の法線から出射面 3 b の方へ傾いて、入射面 3 a から出射した光線が、直線部の断面 3 h 1 に到達して、到達点の面の法線 3 N 3 との角度が全反射の臨界角よりも小さいために、面を透過する例である。入射面 3 a の法線と略平行な法線を持つ面に到達した光は、当該面を透過する確率が高い。透過率はフレネルの透過率に従う。

[0054] 図 6 (a) に示したライトガイド 3 は、これら光漏れを抑制する形状となっている。図 7 (b) に示すライトガイドは、図 6 (a) に示したライトガイド 3 であり、当該図を用いて、光漏れ抑制効果を説明する。図 7 (b) のライトガイド 3 の主な特徴は、図 7 (a) に比べて屈曲部の断面 3 f 1 の曲率半径が大きい点と、入射面 3 a の形状が図 6 (c) に示した長軸が出射面の方向にある楕円を含む形状である点である。屈曲部の断面 3 f 1 の曲率半

径が大きいがゆえに、入射面 3 a と出射面 3 b との間の領域以外にも、光を出射面 3 b に案内するライトガイド 3 の表面が存在する構成である。入射面 3 a と出射面 3 b との間の領域とは、図 7 (b) において、矢印 D A で示される領域である。矢印が指す点線は領域を示すための補助線で、図中下側の点線は入射面 3 a の端部と一致し、上側の点線は出射面 3 b の端部と一致する。図 7 (a) に示す傾斜部のないライトガイドは、当該領域以外には、光を出射面 3 b に案内するライトガイド 3 の表面が存在しない。なお、分離フランジ 3 c などの固定部位は、光を出射面 3 b に案内する表面ではない。

[0055] 屈曲部の断面 3 f 1 の曲率半径が大きいと、屈曲部で全反射が起きやすくなる。光線 R a y F 8 は、光線 R a y F 5 と同じ角度で入射面 3 a から出射する光線であるが、屈曲部の断面 3 f 1 への入射角度は、光線 R a y F 5 の場合よりも大きく、全反射する。曲率半径が大きいので、円弧へ光が入射する位置の法線 3 N 4 が入射面 3 a の法線から大きく傾いた位置に入射する。それゆえ、屈曲部で全反射する光の量が増え、ライトガイドの光利用効率が向上する。

[0056] 光線 R a y F 10 は、光線 R a y F 7 と同じ角度で入射面 3 a から出射する光線である。曲率半径が大きいので、光線 R a y F 10 は終点付近の屈曲部の断面 3 f 1 に入射し、全反射して導光する。終点付近の屈曲部の断面 3 f 1 の法線 3 N 6 は、入射面 3 a から出射面 3 b とは反対方向に傾いているので、法線 3 N 6 と入射光線との角度は大きくなり、全反射し易くなる。全反射しない場合でもフレネル反射率は向上するので、反射する光の量が増え、ライトガイドの光利用効率が向上する。

[0057] シンチレータ 5 が直径 9 mm の円柱の場合に、入射面 3 a を直径 10 mm の円とし、屈曲部の断面 3 f 1 および 3 f 2 の曲率半径を、それぞれ 15 mm、5 mm から 18 mm、8 mm に変更することで、光利用効率が 37% 向上することを光線追跡計算により確認した。

[0058] 光線 R a y F 9 は、光線 R a y F 6 と同じ角度で入射面 3 a から出射する光線である。入射面 3 a の一部を長軸が出射面の方向にある楕円とし、屈曲

部の断面 3 f 2 を出射面 3 b 側に移動することで、光線 Ray F 9 は、断面 3 f 2 で反射すること無く傾斜部の断面 3 g 1 に到達することが可能となる。光線 Ray F 9 は、断面 3 g 1 で必ずしも全反射はしないが、光線 Ray F 6 の場合に比べて、断面 3 g 1 の入射点において、光線 Ray F 9 と法線 3 N 5 との角度が大きくなるので、フレネル反射率は大きくなり、導光する光の量が増え、光利用効率が向上する。

[0059] ここで、入射面 3 a の楕円部の形状に関して説明する。例えば、シンチレータ 5 の半径が 4.5 mm の場合、図 6 (c) において、 r_a と r_b は、それぞれ 4.5 mm、5.5 mm とすると、入射面 3 a を直径 9 mm の円とした場合に比較して、光利用効率が数%向上することを光線追跡計算により確認した。本実施形態では、入射面 3 a の一部を楕円とし、形状を出射面側に長くすることで断面 3 f 2 を出射面側に移動して光利用効率を向上させたが、入射面 3 a の一部を楕円とすることには限定されず、形状を出射面側に長くすれば良い。別の言い方をすれば、シンチレータ 5 の中心から入射面 3 a の端部までの距離が、出射面方向とそれとは反対方向で異なり、出射面方向の距離が長ければ良い。

[0060] 次に、屈曲部 3 f の一部または全部を円弧とする場合の形状に関して、図 7 (c)、(d) を用いて説明する。屈曲部の断面形状 3 f 1 は本実施形態の円弧の形状である。断面形状 3 f 1 C (点線で示す) は、円弧の中心 CP 1 が入射面 3 a を含む平面 SP (点線で示す) 内に存在し、断面形状 3 f 1 C の入射面 3 a から立ち上がる接線が入射面の法線 3 a N と平行の場合の断面形状である。断面形状 3 f 1 C は、図 7 (a) に示す傾斜部のないライトガイドを構成する場合の屈曲部の形状であり、屈曲部として最も簡単な形状と言える。

[0061] 断面形状 3 f 1 は、円弧の中心 CP 2 が平面 SP 内には存在しない構成であり、入射面 3 a より下側 (ライトガイド 3 から離れる方向) にある。さらに、断面形状 3 f 1 の入射面 3 a から立ち上がる接線 3 f 1 T と入射面の法線 3 a N は所定の角度 θ_t を持つ形状である。角度 θ_t は 2 度から 10 度程度

の範囲であることが光利用効率向上の観点で望ましい。図7（b）に示したライトガイド3の角度 θ_t は2.5度である。また、中心CP2と平面SPの距離は1mmである。当該距離は0.3mmから5mm程度の範囲内にあることが望ましい。

[0062] ライトガイド3の表面をあるラインで分割し、外側曲面と内側曲面とした場合に、断面形状3f1は、入射面3aの端部を始点とした外側曲面に含まれ、断面形状3f2は内側曲面に含まれる。上述した構成は、当該外側曲面と入射面3aとの接点において、入射面の法線3aNより、当該外側曲面は前記入射面側に傾いた接線を有する構成である。

[0063] 光線RayF11は入射面の法線3aNと平行方向に入射面3aの略中心から屈曲部へ出射する光線である。なお、シンチレータ5から発光する光強度は、一般に当該方向および位置の強度が最も大きい。符号3f1N、3f1CNは、それぞれ断面3f1および3f1Cと光線RayF11の交点における法線を示す。角度 θ_1 、 θ_2 は、法線3f1Nと光線RayF11および3f1CNと光線RayF11がそれぞれ成す角度である。図7（d）は、角度 θ_1 、 θ_2 を比較するための図であり、光線RayF11と各断面の交点を一致させた図である。この図から分かるように角度 θ_1 の方が角度 θ_2 よりも大きくなる。したがって、断面3f1の方が光線RayF11の当該断面への入射角度が大きくなるので、ライトガイド3に入射する光束のうち全反射する光束の割合が増え、さらに、フレネル反射率が大きくなるので、光漏れが低減され光利用効率が向上する。

[0064] つまり、断面形状3f1の一部（望ましくは、RayF11が入射する部位）が円弧であって、円弧の中心CP2が入射面3aを含む平面SP内には存在しない構成である場合に光利用効率は向上する。また、断面形状3f1の入射面3aから立ち上がる接線3f1Tと入射面の法線3aNが所定の角度 θ_t を持つ形状である場合に光利用効率は向上する。

[0065] 傾斜部の断面形状3g1と断面形状3g2は、本実施形態のように略平行とすることが望ましい。なぜならば、図7（b）に示すように、出射面3b

に向けてライトガイドの高さが小さくなる場合、断面形状 3 g 1 への入射角度は、断面形状 3 g 1 へ光が入射する度に小さくなるが、断面形状 3 g 2 への入射角度は、断面形状 3 g 2 へ光が入射する度に大きくなるので（ライトガイドの高さが大きくなる場合、現象が逆になる。）、入射角度が補償される。それゆえ、最初に傾斜部 3 g に入射したときの入射角度が導光途中で大きくは変化せず、全反射角度より入射角度が小さくなり光漏れが起こるのを抑制するという効果を奏する。

[0066] 本実施形態では、屈曲部の断面形状 3 f 1、3 f 2 を円弧としたが、これに限定されず、円の方程式からずれた曲線でも折れ線でも良い。但し、屈曲部の外側の断面形状 3 f 1 は、円、楕円、放物線の方程式を用いて部分的にはフィッティングされる形状であることが望ましい。

[0067] 図 8 のグラフを用いて、屈曲部の断面形状 3 f 1 を円の方程式を用いてフィッティングした例を説明する。参考のためグラフ中に入射面 3 a の位置を記入した。本グラフにおいて、断面形状 3 f 1 は、図 6、図 7 に記載のライトガイドの断面形状とは、反対向きで記載されている。横軸は入射面に平行な位置座標 [mm] を表し、縦軸は入射面の法線に平行な方向の位置座標 [mm] を示す。点線は屈曲部の断面形状 3 f 1 の一例であり、完全な円弧とはなっていない。実線 3 f 1 F は点線を円の方程式でフィッティングした結果である。点線と実線は、入射面 3 a の端部付近を除いて良く一致している。このフィッティング結果を用いて円弧の中心 P 1 等を求めれば良い。

[0068] 本実施形態では、入射面 3 a および出射面 3 b の形状として、円、一部円と楕円等を用いたが、本発明はこれに限定されない。たとえば、シンチレータ 5 が四角形の角柱であれば、入射面を四角としても良く、受光素子の形状が四角であれば出射面を四角にしても良く、さまざまな形状が考えられる。また、例えば出射面と平行な面の断面形状は、円などに限定されるものではなく、四角や六角など様々な形状が考えられる。

[0069] 《第 3 の実施形態》

図 9 は第 3 の実施形態を説明するための図である。第 1 の実施形態と同じ

個所、または、同じ機能を有する箇所に関しては説明を省略する。また、図中で同じ符号の箇所は、同様の機能を有する箇所である。第1の実施形態と異なる箇所は、屈曲部3fを有するライトガイド3に側面プリズム3eを設けた点である。図9は、屈曲部3fと側面プリズム3eに着目した断面図である。なお、本実施形態のライトガイド3の形状は、側面プリズム3eが付与されている部位以外は、第2の実施形態で図6(b)を用いて説明したライトガイドと同じである。

[0070] 図9(a)は、入射面3aのシンチレータ5が対向していない部位に側面プリズム3eを設置した例である。当該部位は入射面3aの楕円の長軸方向先端部で、もともと光はほとんど入射しない位置であり、かつ、入射面3a以降のライトガイド形状に影響を与えないので、導光にも影響を与えない。したがって、当該位置に側面プリズム3eを設置する場合、入射面3a以降のライトガイド形状と側面プリズム3eを独立に最適化することが可能となる。

[0071] 側面プリズム3eを設置することで光利用効率を向上するという効果を奏する。なお、側面プリズム3eの変形は、第1の実施形態において図4を用いて説明したように様々な変形が可能である。特に、反射面3e2の表面に反射部材を付与することで効果的に光利用効率を向上することが可能となる。符号RayS7は光線例である。

[0072] 図9(b)は、外側の屈曲部3f1にも側面プリズム3eoを設置した例で、外側の側面プリズム3eoは光の伝播方向を略180度回転して出射面側に反射する必要があるので、反射面を2つ以上有する構成となる。つまり、側面プリズム3eoは、光を2回以上反射する反射面形状を有する。図9(b)は、シンチレータ5の側面5dに対向し、側面5dからの光を入射する側面プリズム入射面3eo1を有し、反射面3eo2で略入射面3aの法線方向に光を反射し、反射面3eo3で略出射面3bの方向に光を反射している例である。このような構成とすることで、光利用効率を向上するという効果を奏する。但し、外側の側面プリズム3eoの場合は、断面形状3f1

に変更を加えるので、導光に影響を与える。それゆえ、側面プリズム 3 e o の影響で大きな光漏れが発生し、全体としての光利用効率が低下しないように形状を小さくすることが好ましい。また、例えば、反射面 3 e o 3 を、断面形状 3 f 1 の一部として、点線で示す断面形状 3 f 1' のように、入射面 3 a と略同位置まで連続的な形状とすることが好ましい。符号 Ray S 8 は光線例である。

[0073] 図 9 (b) の変形例を、図 10 を用いて説明する。図 10 (a) は屈曲部 3 f と側面プリズム 3 e に着目した断面図である。本変形例と図 9 (b) の形状で異なる点は、外側の側面プリズム 3 e o と屈曲部 3 f 間に空隙を設けた構成である。前述したように、断面形状 3 f 1 に変更を加えると導光に影響を与えるので、影響を与えないように空隙を設けている。入射面 3 a から入射した光は、断面形状 3 f 1 と 3 f 2 で反射して導光し、側面プリズム入射面 3 e 1、3 e o 1 から入射した光は、側面プリズム 3 e、3 e o で反射して導光する構成である。

[0074] 図 10 (b) は、側面プリズム 3 e o をより詳細に説明する断面図である。光はシンチレータと対向する面 3 e o 1 から入射し、反射面 3 e o 2、3 で反射して、屈曲部 3 f と対向する側面プリズム出射面 3 e o 4 から出射して、屈曲部 3 f に入射する。反射面 3 e o 2、3 e o 3 としては、第 1 の実施形態において図 4 を用いて説明したように様々な変形が可能である。例えば、反射面 3 e o 2 と反射面 3 e o 3 を連続的な曲面としても良い。その際には、当該曲面に、略入射面 3 a の法線方向に光を反射し、その後で略出射面 3 b の方向に光を反射する機能があれば良い。また、反射面 3 e o 2、3 e o 3 にアルミニウムなどの反射部材を付与すると、効果的に光利用効率を向上できる。

[0075] なお、側面プリズム出射面 3 e o 4 と屈曲部 3 f 間を全て空隙として示しているが、一部は結合していても良い。例えば、側面プリズム出射面 3 e o 4 の入射面 3 a に近い位置は屈曲部 3 f と結合していても良い。なぜならば、結合部が小さければ入射面 3 a から入射した光の導光への影響は小さいた

めである。

[0076] 外側の側面プリズム 3 e o とライトガイド 3 は一体としても良いが、空隙を設けるため、別体として、側面プリズム 3 e o をライトガイド 3 に取り付けても良い。

[0077] 図 10 (c) は、入射面 3 a が見える方向からの斜視図である。図中矢印 a の方向 (入射面 3 a の法線方向) からライトガイド 3 を見た図が図 11 (a) である。図中矢印 b の方向から見た図が図 11 (b) で、図中矢印 c の方向から見た図が図 11 (c) である。図 11 (a) を見ると、シンチレータ 5 (点線で図示) に沿って側面プリズム 3 e、3 e o が配置されていることが分かる。入射面 3 a と外側の側面プリズム 3 e o との間に空隙 A I R がある。

[0078] 本変形例の構成とすることで、側面プリズム 3 e o を備えることによる入射面 3 a からの入射光の導光への影響をなくしつつ、光利用効率を向上させるという効果を奏する。

[0079] 次に別の変形例に関して平面 S 1 における断面を示す図 12 を用いて説明する。本変形例は、屈曲部 3 f の断面形状において曲線が 1 つの場合である。入射面 3 a から入射した光の一部は、光線例 R a y F 12 のように断面形状 3 f 1 で反射して直線部 3 h に入射して導光する。側面プリズム入射面 3 e o 1 から入射した光の一部は、光線例 R a y S 9 のように、反射面 3 e o 2 で反射して、屈曲部 3 f の曲面と連続的に繋がっている反射面 3 e o 3 で反射して、出射面 3 b に向かって導光する。側壁面 3 e 1' から入射した光は、光線例 R a y S 10 のように出射面 3 b に向かって導光する。本変形例は、入射面 3 a に対向した曲面と、入射面 3 a、側面プリズム入射面 3 e o 1 と側壁面 3 e 1' に囲まれた収容空間と、側面プリズム 3 e o 1 を設けることで、シンチレータ 5 から出射する全方位の光をライトガイド 3 に取り込み、導光させることが可能となり、光利用効率を向上するという効果を奏する。なお、本変形例の収容空間は、シンチレータ 5 の光を出射する全ての面に対向して、光が入射する面を有しているが、シンチレータ 5 の光を出射す

る面の一部に対向して、光が入射する面を有することでも光利用効率を向上するという効果を奏する。

[0080] 次に別の変形例に関して平面S1における断面を示す図13を用いて説明する。本変形例は、ある断面において、受光素子4が左右両側に配置され、両側に光を伝播させるために、ライトガイド3がシンチレータ5に対向する位置で二股に分かれる形状である。本変形例では、シンチレータ5の中心を通る中心線CL1に対して断面3f1は左右対称な形状である。左右対称とすることで、入射面3aから入射した光の伝搬方向を回転する角度を小さく（略90度内と）することが可能となる。一般に、光の伝播方向を回転する角度が大きくなるほど、受光素子4に届くように光を反射させることが難しくなり、ライトガイド3から漏れる光が多くなる。それゆえ、屈曲部の断面3f1を中心線CL1に対して、左右対称とすることで、光利用効率が向上するという効果を奏する。シンチレータ5の両側の側面5dに対向して、側面プリズム入射面3e1が配置される構成である。左右それぞれの受光素子4に入射する光線例を、RayS11、RayS12として記載した。何れも、側面プリズム入射面3e1から入射し、反射面3e2で反射した後で、断面形状3f2、3f1で順次反射して、直線部3h2で反射して、出射面3bから受光素子4に入射する例である。受光素子4が左右両側に配置される構成であっても、側面プリズムを有する構成により、光利用効率を向上させることが可能となる。本構成は、側面プリズム3eにより、180度伝播方向を回転させられる光線が無い、もしくは、ほとんど無い。したがって、光の伝搬方向を回転する角度が小さいので、光利用効率が向上するという効果を奏する。また、図9（b）において示した外側の屈曲部3f1に設置される側面プリズム3eoが無いので、外側の屈曲部3f1と側面プリズム3eを別々に最適化でき、光利用効率が向上するという効果を奏する。図13には直線部の断面3h1と屈曲部の断面3f1の間に傾斜部が存在しないが、屈曲部の断面3f1の曲率半径を大きくして光利用効率を高め、傾斜部を有する構成としても良い。

[0081] 以上より、本構成のように、ある断面で見た場合に両側に受光素子 4 を設ける構成は、光利用効率が向上するという効果を奏する。また、反射面 3 e 2 は、第 1 から第 3 の実施形態 3 で説明した様々な形状を取ることができる。なお、シンチレータ 5 をドーナツ状の形状として、中心線 C L 1 に沿って、1 次電子線 1 0 0 など、粒子を貫通させる場合に、ライトガイド 5 も中心線 C L 1 に沿って貫通穴を設けても良い。当該貫通穴は、円、四角など様々な形状が考えられる。以上、第 1 の実施形態から第 3 の実施形態まで説明したが、それぞれで記載した事項は適宜組み合わせても良く、組み合わせることにより大きな効果を奏することもある。

[0082] 上記構成によれば、光利用効率を向上させることが可能となる。

符号の説明

- [0083] 1 電子顕微鏡
2 電子源
3 ライトガイド
4 受光素子
5 シンチレータ
6 信号粒子制限板
5 0 試料
6 0 電子光学鏡筒
6 1 試料室
1 0 0 一次電子線
1 0 1 二次粒子

請求の範囲

- [請求項1] シンチレータより発生した光を受光素子に導くライトガイドにおいて、
- 前記シンチレータの荷電粒子入射面とは反対の面に対向する第1の面と、前記シンチレータの荷電粒子入射面の反対の面とは異なる面に対向する第2の面から形成されるシンチレータ収容部と、前記第2の面から入射する光を、前記ライトガイド内部に向かって反射する傾斜面を備えたことを特徴とするライトガイド。
- [請求項2] 請求項1において、
- 前記第1の面は、前記第2の面より大きいことを特徴とするライトガイド。
- [請求項3] 請求項1において、
- 前記傾斜面には、反射部材が設けられていることを特徴とするライトガイド。
- [請求項4] 請求項1において、
- 前記傾斜面は、複数の異なる方向に向いた面、或いは曲面で形成されることを特徴とするライトガイド。
- [請求項5] 請求項1において、
- 前記シンチレータは、前記第1の面、及び第2の面から入射した光を異なる方向に案内する屈曲部を備えていることを特徴とするライトガイド。
- [請求項6] 請求項5において、
- 前記受光素子に対向した位置に形成される出射面と、当該出射面に前記光を案内する直線部と、当該直線部と、前記屈曲部との間に形成される傾斜部とを備えたことを特徴とするライトガイド。
- [請求項7] 請求項5において、
- 前記屈曲部の外側に位置する前記傾斜面は、前記屈曲部の内側に位置する前記傾斜面に対し、相対的に入射光と出射光の相対角が狭くな

るように形成されていることを特徴とするライトガイド。

[請求項8] シンチレータと、当該シンチレータより発生した光を受光素子に導くライトガイドを備えた検出器において、

前記ライトガイドは、前記シンチレータの荷電粒子入射面とは反対の面に対向する第1の面と、前記シンチレータの荷電粒子入射面の反対の面とは異なる面に対向する第2の面から形成される凹部と、前記第2の面から入射する光を前記ライトガイド内部に向かって反射する傾斜面とを備え、当該凹部に前記シンチレータが収容されることを特徴とする検出器。

[請求項9] 荷電粒子源から放出される荷電粒子ビームの照射に基づいて試料から放出される荷電粒子、及び試料から放出される荷電粒子が他部材に衝突することによって発生する荷電粒子の少なくとも一方を検出する検出器を備えた荷電粒子線装置において、

前記検出器はシンチレータと、当該シンチレータより発生した光を受光素子に導くライトガイドを有し、当該ライトガイドは、前記シンチレータの荷電粒子入射面とは反対の面に対向する第1の面と、前記シンチレータの荷電粒子入射面の反対の面とは異なる面に対向する第2の面から形成される凹部と、前記第2の面から入射する光を前記ライトガイド内部に向かって反射する傾斜面とを備え、当該凹部に前記シンチレータが収容されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項10] 光の入射面と、当該入射面から入射した光を出射する出射面と、前記入射面から入射した光を前記出射面に案内する表面を備えたライトガイドを備えた荷電粒子線装置であって、

前記表面は、前記入射面端を始点とした外側曲面を有し、

当該外側曲面と前記入射面との接点において、前記入射面の法線より、当該外側曲面は前記入射面側に傾いた接線を有するライトガイドを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項11] 請求項10において、

前記入射面と当該入射面とは異なる方向に面方向を有する側壁面からなるシンチレータ収容空間と、前記側壁面から入射した光を反射する反射面が形成されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項12]

請求項11において、

前記反射面は、光を2回以上反射する形状であることを特徴とするライトガイドを備えた荷電粒子線装置。

[請求項13]

請求項10において、

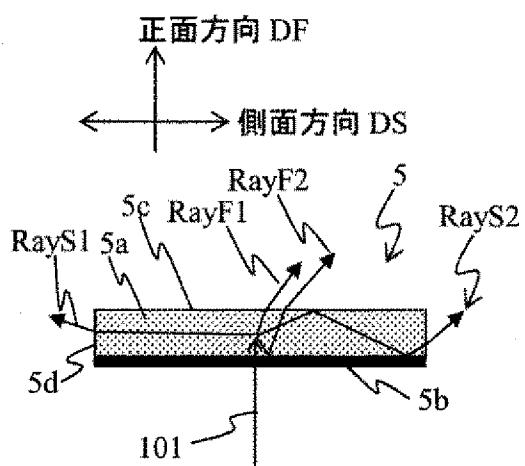
前記入射面と出射面との間のライトガイドの一部に曲面を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項14]

請求項10において、

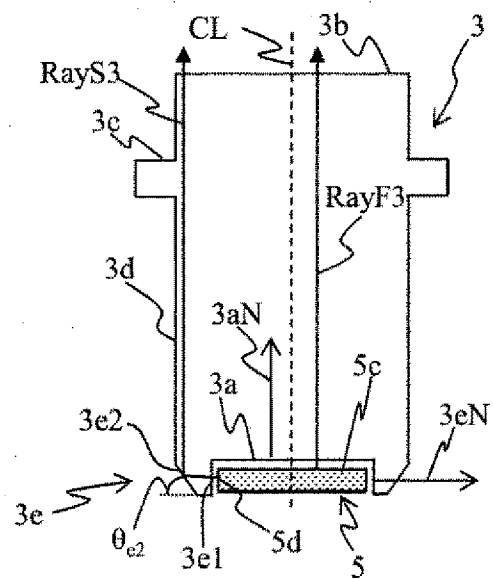
前記外側曲面は、円の方程式で近似できる部位を有し、当該円の中心は前記入射面と平行な面内にないことを特徴とする荷電粒子線装置。

【图1】



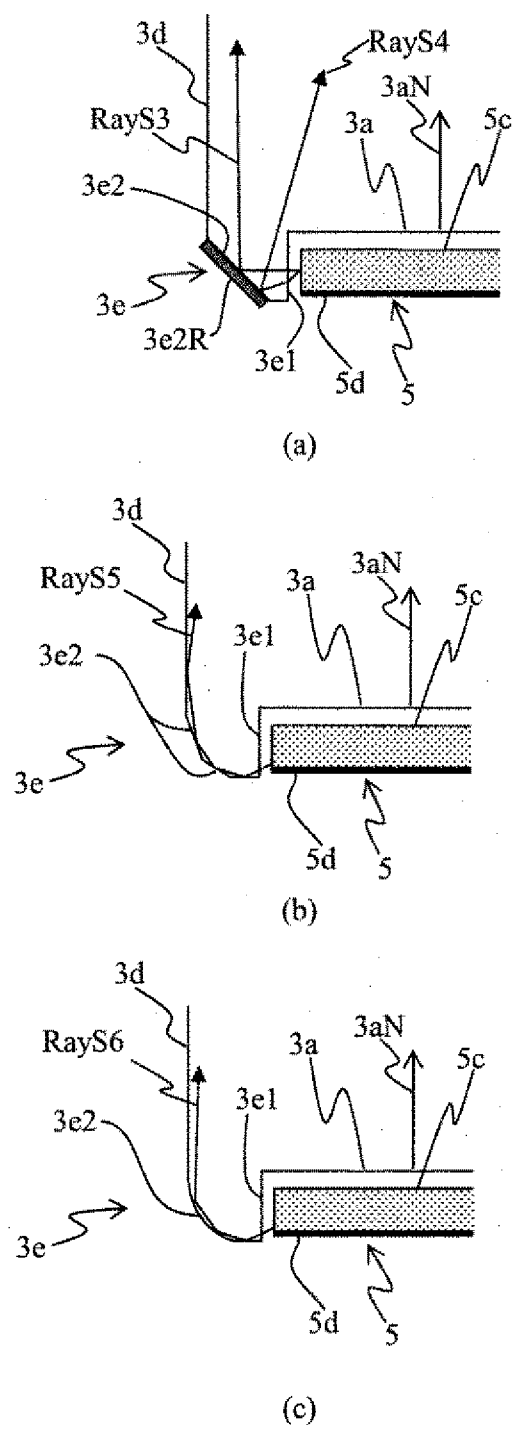
[図3]

【图3】



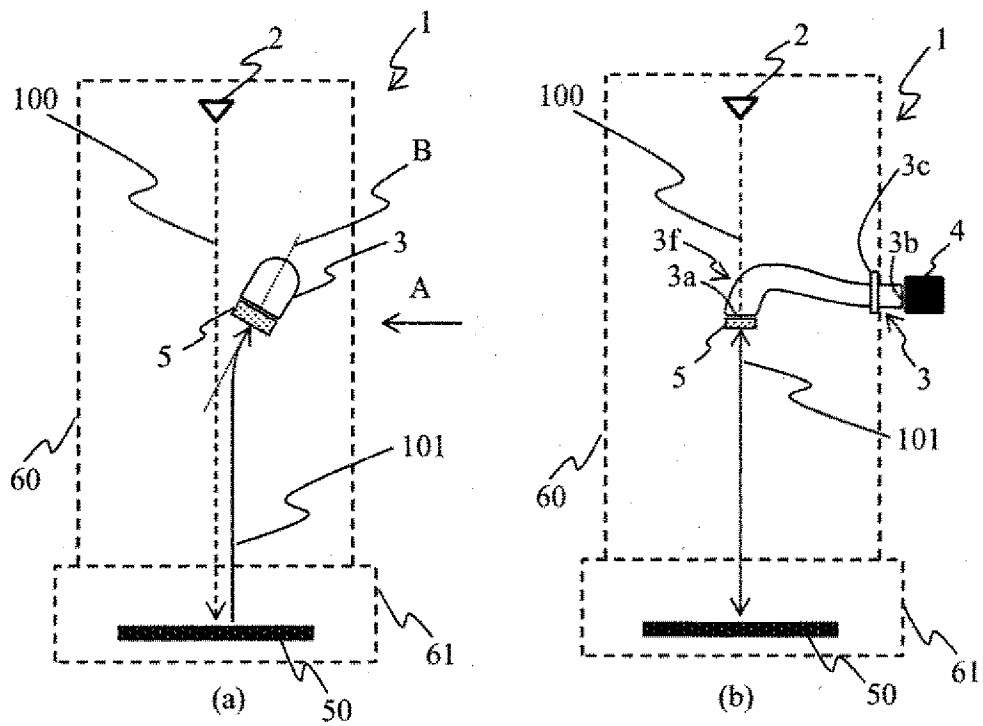
[図4]

【図4】



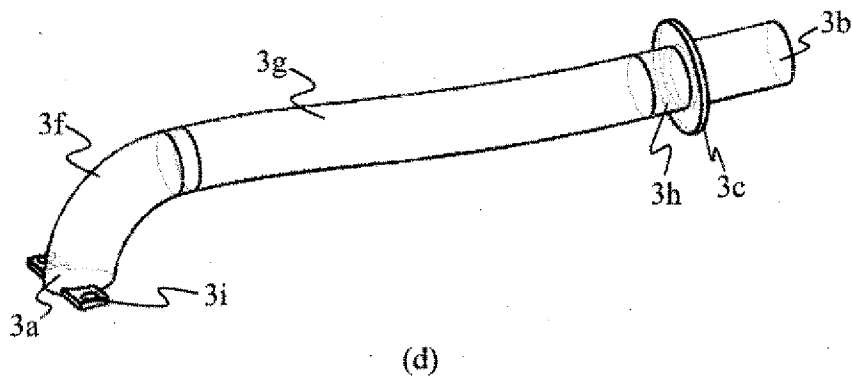
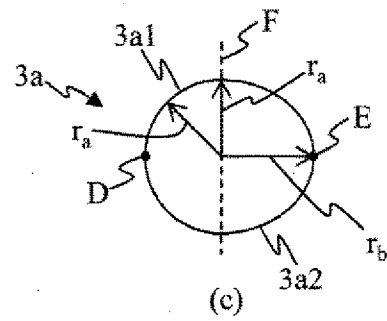
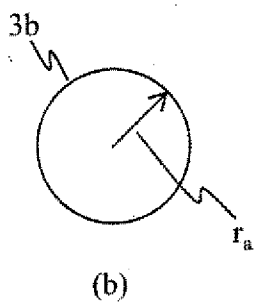
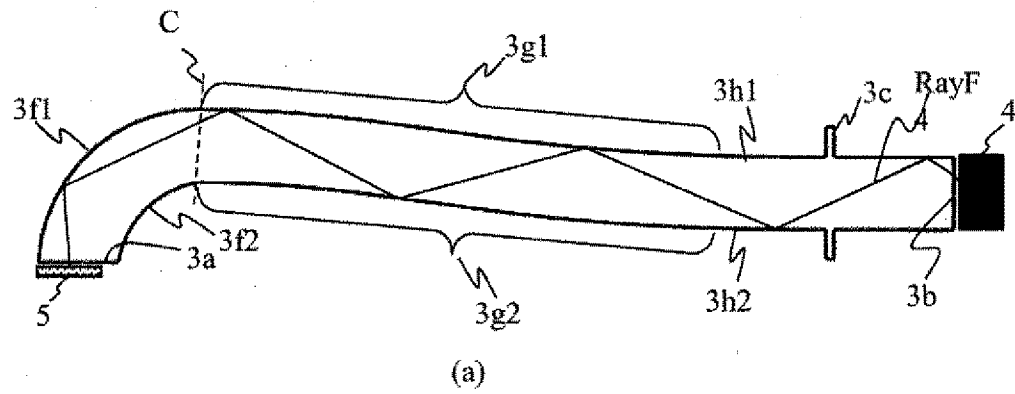
[図5]

【図5】



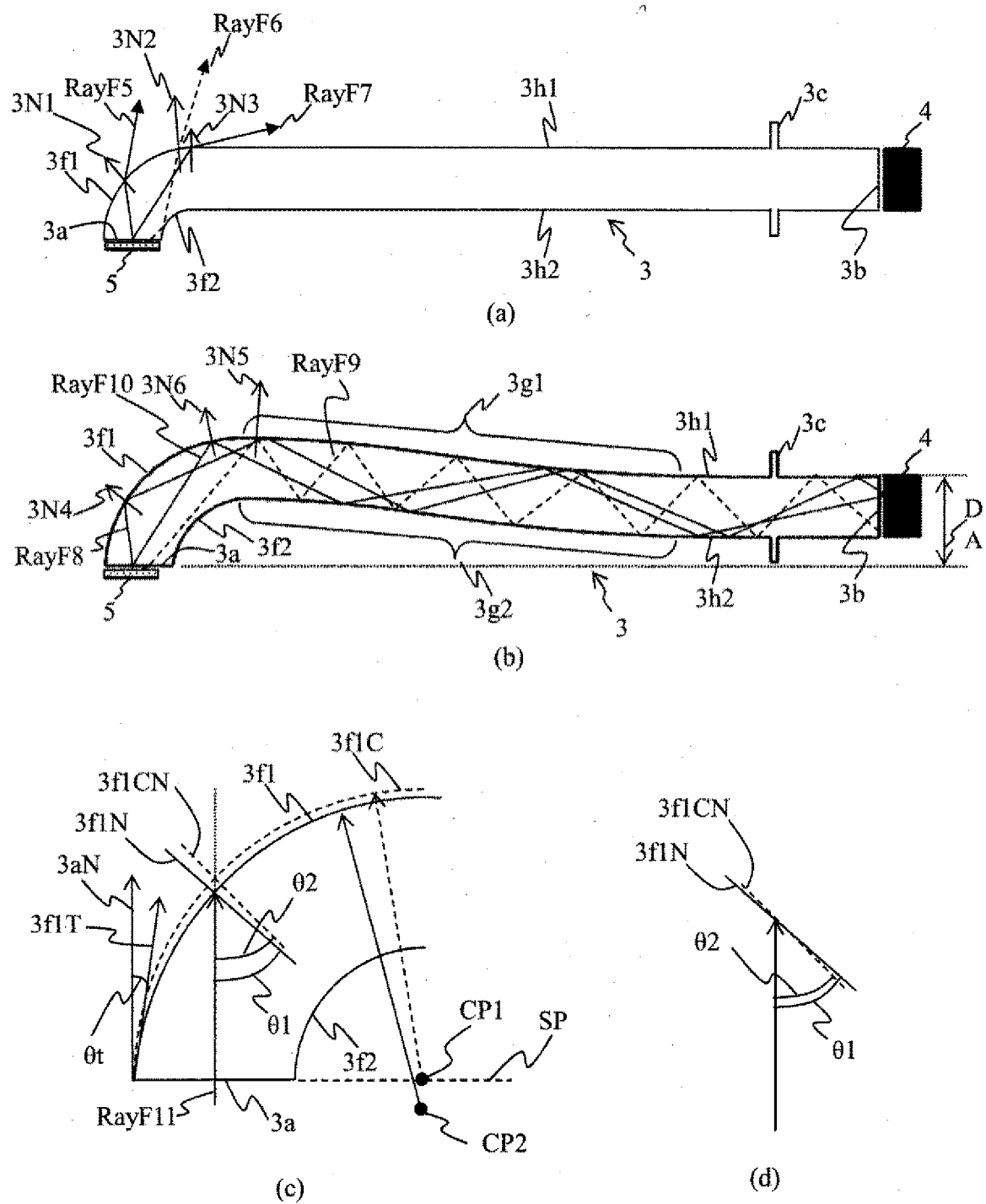
[図6]

【図6】



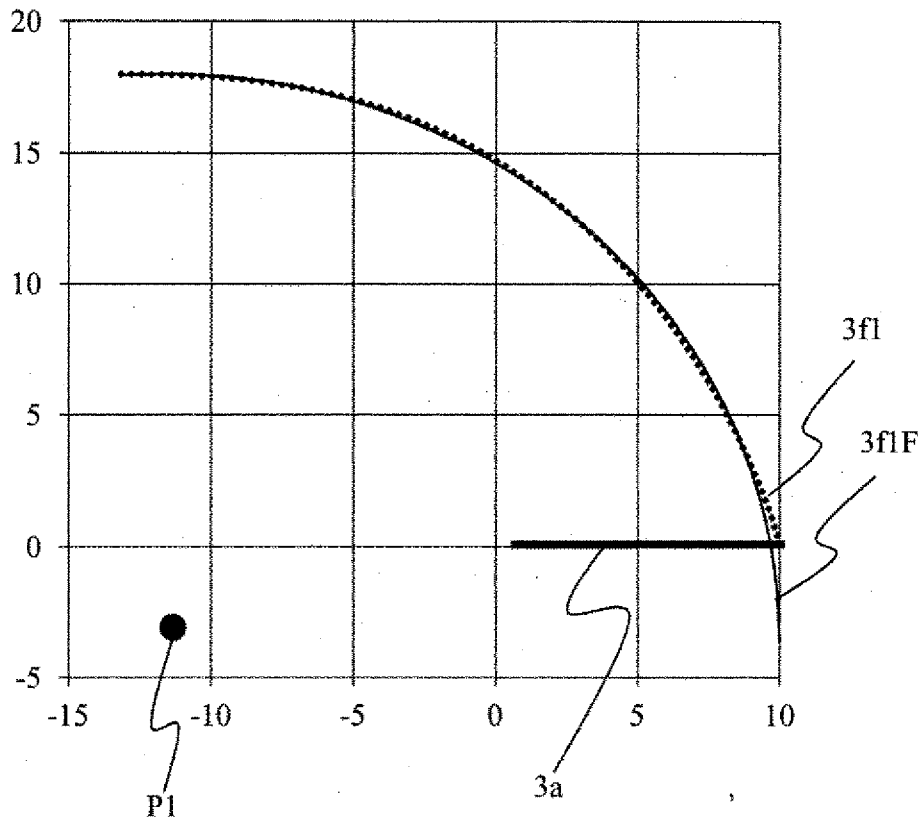
[図7]

【図7】



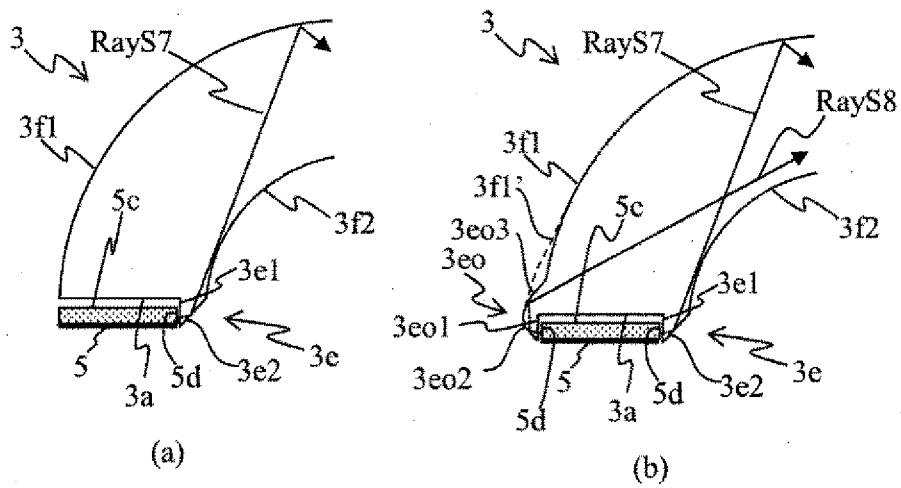
[図8]

【図8】



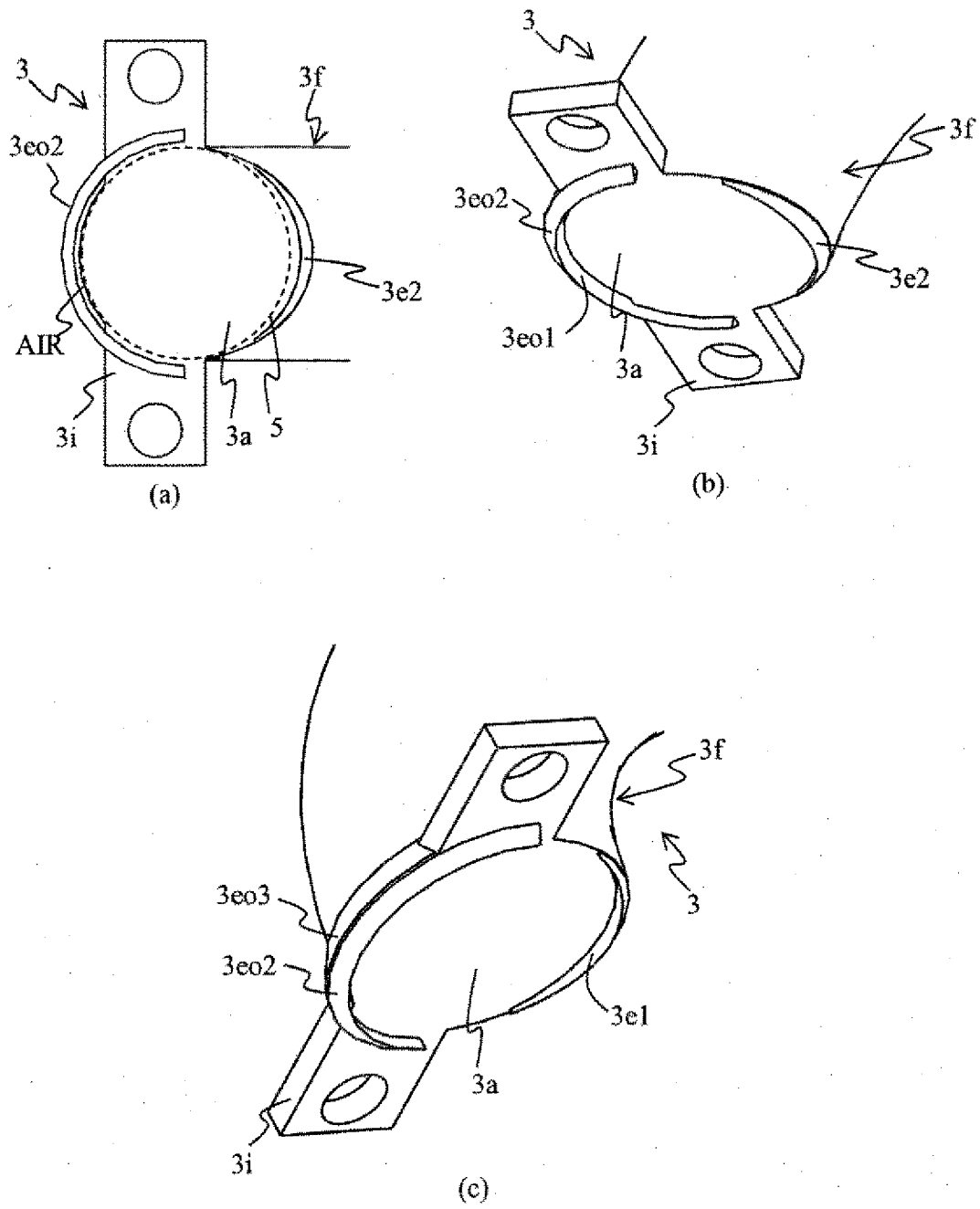
[図9]

【図9】



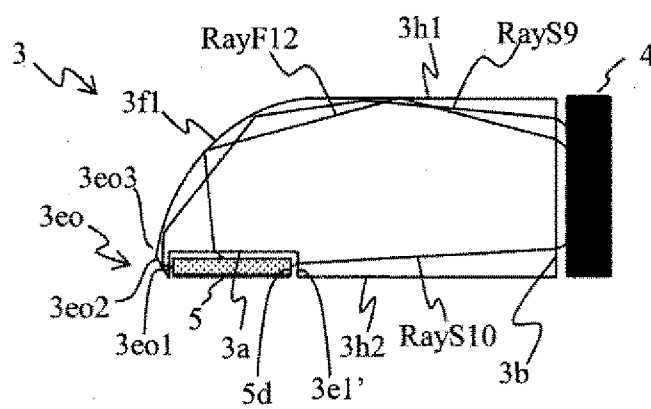
[図11]

【図11】



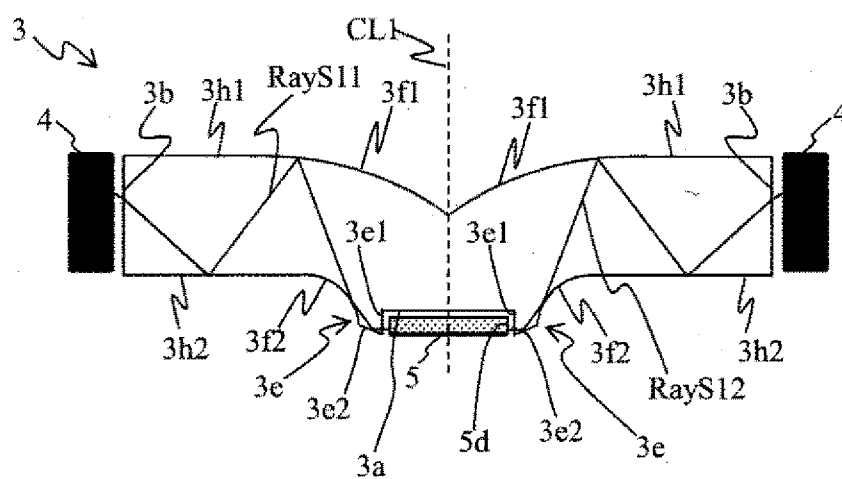
[図12]

【図12】



[図13]

【図13】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/003884

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J37/244(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, G01T1/20

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	US 2013/0234032 A1 (WANG Zhibin, et al.), 12 September 2013 (12.09.2013), paragraphs [0050] to [0052]; fig. 6 to 7 & TW 201338003 A	1-5, 7-9

☐ 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

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"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
16 May 2017 (16.05.17)

Date of mailing of the international search report
30 May 2017 (30.05.17)

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/JP2017/003884

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-5 and 7-9

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/003884

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

Document 1: US 2013/0234032 A1 (WANG Zhibin, et al.), 2013.09.12, paragraphs [0050] to [0052]; fig. 6 to 7 & TW 201338003 A

(Invention 1) claims 1-5 and 7-9

Document 1 has set forth the invention of a light guide that is provided with "a scintillator housing section formed of a first surface facing a scintillator surface on the reverse side of the charged particle input surface, and a second surface facing a surface different from the scintillator surface on the reverse side of the charged particle input surface" (See paragraphs [0050]-[0052], Figs. 6-7).

Furthermore, since the outer surface of the light guide is covered with an aluminum reflecting film, it can be considered that the invention is provided with "a surface that reflects light toward the inside of the light guide, said light having been inputted from the second surface".

Moreover, since the outer surface shape of the light guide is quadratic, it is considered that the light guide is provided with a "sloped surface".

Furthermore, it may be considered that the light guide having the quadratic outer surface is provided with a "bent section".

Claims 1-5 and 8-9 have no special technical feature, since these claims lack novelty in the light of the document 1.

However, claim 7, i.e., a dependent claim of claim 1, has a special technical feature wherein "the sloped surface positioned outside of the bent section is formed such that, with respect to the sloped surface positioned inside of the bent section, the relative angles of input light and output light are relatively small".

Consequently, claims 1-5 and 7-9 are classified into Invention 1. (Invention 2) claim 6

Though claim 6 is a dependent claim of claim 1 classified as the invention of the invention group 1, the feature of "being provided with an output surface formed at a position facing a light receiving element, a straight line section that guides light to the output surface, and a sloped section formed between the straight line section and a bent section", said feature being the technical feature added to claim 1, has a low technical relationship with the feature of "being provided with a scintillator housing section formed of a first surface facing a scintillator surface on the reverse side of the charged particle input surface, and a second surface facing a surface different from the scintillator surface on the reverse side of the charged particle input surface, and a sloped surface that reflects light toward the inside of the light guide, said light having been inputted from the second surface", said feature being the technical feature of claim 1.

Therefore, it is not considered that claim 6 has an inventive relationship with claim 1.

In addition, claim 6 has no relationship such that said claim 6 is substantially same as or equivalent to any claim classified into Invention 1.

Consequently, claim 6 cannot be classified into Invention 1.

Since claim 6 has a special technical feature of "being provided with an output surface formed at a position facing a light receiving element, a straight line section that guides light to the output surface, and a sloped section formed between the straight line section and a bent section", the claim is classified as the invention of the invention group 2.

(Continued to next extra sheet)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/003884

(Invention 3) claims 10-14

It is not considered that claims 10-14 have a technical feature same as or corresponding to claims 1-5 and 7-9 classified into Invention 1 or claim 6 classified into Invention 2.

Therefore, claims 10-14 cannot be classified into either Invention 1 or Invention 2.

Since claims 10-14 have a special technical feature wherein "at a contact point where the outer bent surface and the input surface of the light guide are in contact with each other, the outer bent surface has a tangent line tilted further toward the input surface side than the tangent line of the input surface", the claims are classified as the inventions of the invention group 3.

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

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, G01T1/20

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	US 2013/0234032 A1 (WANG Zhibin, et al.) 2013.09.12, [0050]-[0052], Figs.6-7 & TW 201338003 A	1-5, 7-9

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

16.05.2017

国際調査報告の発送日

30.05.2017

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)

鳥居 祐樹

2G

4070

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T 規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。
特別ページ参照

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

請求項 1－5, 7－9

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

第Ⅲ欄続き

文献 1 : US 2013/0234032 A1 (WANG Zhibin, et al.) 2013.09.12, [0050]-[0052], Figs. 6-7 & TW 201338003 A

(発明 1) 請求項 1-5, 7-9

文献 1 には、「シンチレータの荷電粒子入射面とは反対の面に対向する第 1 の面と、前記シンチレータの荷電粒子入射面の反対の面とは異なる面に対向する第 2 の面から形成されるシンチレータ収容部」を備えたライトガイドの発明が記載されている ([0050]-[0052], Figs. 6-7 参照)。また、ライトガイドの外表面はアルミニウムの反射膜で覆われているから、「前記第 2 の面から入射する光を、ライトガイド内部に向かって反射する面を」備えているということもできる。さらに、ライトガイドの外表面形状は二次曲面形状であるから、ライトガイドは「傾斜面」を備えていると認められる。また、外表面が二次曲面形状であるライトガイドは、「屈曲部」を備えているということもできる。

したがって、請求項 1-5, 8-9 は、文献 1 により新規性が欠如しているため、特別な技術的特徴を有しない。しかしながら、請求項 1 の従属請求項である請求項 7 は、「前記屈曲部の外側に位置する前記傾斜面は、前記屈曲部の内側に位置する前記傾斜面に対し、相対的に入射光と出射光の相対角が狭くなるように形成されている」という特別な技術的特徴を有している。したがって、請求項 1-5, 7-9 を発明 1 に区分する。

(発明 2) 請求項 6

請求項 6 は、発明 1 に区分された請求項 1 の従属請求項であるが、請求項 1 に対して追加された技術的特徴である「受光素子に対向した位置に形成される出射面と、当該出射面に光を案内する直線部と、当該直線部と、屈曲部との間に形成される傾斜部とを備えること」は、請求項 1 の技術的特徴である「シンチレータの荷電粒子入射面とは反対の面に対向する第 1 の面と、前記シンチレータの荷電粒子入射面の反対の面とは異なる面に対向する第 2 の面から形成されるシンチレータ収容部と、前記第 2 の面から入射する光を、ライトガイド内部に向かって反射する傾斜面を備えること」と、技術的関連性が低い。このため、請求項 6 が請求項 1 に対して発明の連関性を有しているとは認められない。

さらに、請求項 6 は、発明 1 に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一又はそれに準ずる関係にはない。

したがって、請求項 6 は発明 1 に区分できない。

そして、請求項 6 は、「受光素子に対向した位置に形成される出射面と、当該出射面に光を案内する直線部と、当該直線部と、屈曲部との間に形成される傾斜部とを備える」という特別な技術的特徴を有しているので、発明 2 に区分する。

(発明 3) 請求項 10-14

請求項 10-14 は、発明 1 に区分された請求項 1-5, 7-9 又は発明 2 に区分された請求項 6 と、同一の又は対応する技術的特徴を有しているとはいえない。

したがって、請求項 10-14 は発明 1 及び発明 2 のいずれにも区分できない。

そして、請求項 10-14 は、「ライトガイドの当該外側曲面と入射面との接点において、前記入射面の法線より、当該外側曲面は前記入射面側に傾いた接線を有する」という特別な技術的特徴を有しているので、発明 3 に区分する。