

(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
2012 年 10 月 4 日(04.10.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/133796 A1

- (51) 国際特許分類:
G21K 4/00 (2006.01) G01T 3/06 (2006.01)
G01T 1/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/058621
- (22) 国際出願日: 2012 年 3 月 30 日(30.03.2012)
- (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 2011-079426 2011 年 3 月 31 日(31.03.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 国立
大学法人北海道大学(NATIONAL UNIVERSITY
CORPORATION HOKKAIDO UNIVERSITY) [JP/JP];
〒0600808 北海道札幌市北区北 8 条西 5 丁目
Hokkaido (JP). 独立行政法人日本原子力研究開発
機構(JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY) [JP/JP];
〒3191184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 4 9
Ibaraki (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 金子 純一
(KANEKO Junichi). 樋口 幹雄(HIGUCHI Mikio).
嶋岡 毅紘(SHIMAOKA Takehiro). 坪田 陽一
(TSUBOTA Youichi). 井崎 賢二(IZAKI Kenji)
[JP/JP]; 〒3191184 茨城県那珂郡東海村大字村松

4 番地 3 3 独立行政法人日本原子力研究開発
機構 東海研究開発センター核燃料サイクル工
学研究所内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 佐川 慎悟, 外(SAGAWA Shingo et al.); 〒
0600042 北海道札幌市中央区大通西 5 丁目 1 1
番 1 号 電通恒産札幌ビル 3 階 佐川慎悟国際
特許事務所 Hokkaido (JP).

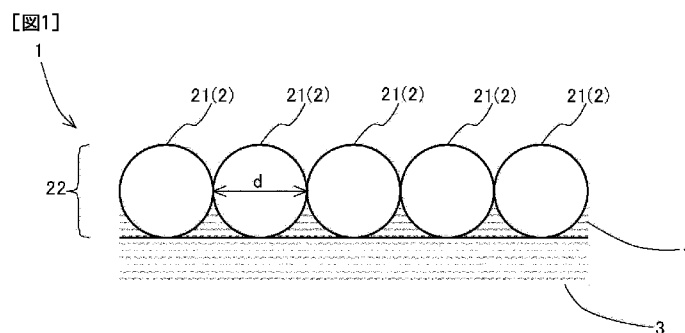
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,
JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, 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, MD, RU, TJ, TM), ユー
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),

[続葉有]

(54) Title: SCINTILLATOR PLATE, RADIATION MEASURING APPARATUS, RADIATION IMAGING APPARATUS, AND SCINTILLATOR PLATE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: シンチレータプレート、放射線計測装置、放射線イメージング装置およびシンチレータプレート製造方法



(57) Abstract: [Problem] To provide a scintillator plate capable of improving the accuracy of radiation detection, and expanding the surface area for practical use while suppressing manufacturing costs, and also provide a radiation measuring apparatus, a radiation imaging apparatus, and a scintillator plate manufacturing method. [Solution] A scintillator plate (1) includes a scintillator (2) that generates scintillation light when excited by incident radiation. The scintillator plate (1) includes a scintillator layer (22) covered with scintillator powder (21) having an average particle diameter equal to or greater than the range of the radiation within the scintillator (2) when the radiation to be measured is either alpha rays, electron beams, or ion beams.

(57) 要約: 【課題】 放射線の検出精度を向上させるとともに、製造コストを抑えつつ実用的な大面積化を可能にすることができるシンチレータプレート、放射線計測装置、放射線イメージング装置およびシンチレータプレート製造方法を提供する。 【解決手段】 入射する放射線により励起されてシンチレーション光を発するシンチレータ 2 を有するシンチレータプレート 1 であって、測定対象となる前記放射線が α 線、電子線およびイオンビームのいずれかである場合、前記シンチレータ 2 内における前記放射線の飛程以上の平均粒径からなるシンチレータ粉末 21 を敷き詰めたシンチレータ層 22 を有する。



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

規則 4.17 に規定する申立て:

- 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則 4.17(v))

明 細 書

発明の名称：

シンチレータプレート、放射線計測装置、放射線イメージング装置および
シンチレータプレート製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、放射線によって励起されてシンチレーション光を発するシンチレータプレート、放射線計測装置、放射線イメージング装置およびシンチレータプレート製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、プルトニウム汚染を監視するためにダストモニターの α 線を測定する装置として非常に優れたエネルギー分解能を有するSi半導体検出器が幅広く使用されている。しかし、Si半導体検出器は、空気中の水分によって電極が腐食し易いという問題がある。また、電気ノイズを拾い易く誤報を発令するトラブルが発生していた。

[0003] そこで、本願発明者である井崎らは、上述のようなSi半導体検出器の問題点を改善すべく、特許第4061367号公報において、 α 線の測定装置として、ZnS(Ag)シンチレータの粒径を $5\mu\text{m}$ とし、厚さ $10\text{mg}/\text{cm}^2$ となるように多層状に満遍なく充填させたZnS(Ag)シンチレーション検出器を提案している（特許文献1）。

[0004] また、シンチレーション検出器は、核医学画像診断法における陽電子放射断層撮影（PET：Positron Emission Tomography）装置等に用いられている。

[0005] 例えば、特開2006-199727号公報では、陽電子放射断層撮影装置に用いられるX線の検出器として、セリウム活性化ランタノイドケイ酸塩の単結晶からなるシンチレータを用いた放射線検出器が提案されている（特許文献2）。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特許第4 0 6 1 3 6 7 号公報

特許文献2：特開2 0 0 6 - 1 9 9 7 2 7 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、特許文献1に記載された発明では、 α 線により発光したシンチレーション光がシンチレータ粒子の表面において反射や拡散を繰り返し、シンチレーション光が当該シンチレーション光を受信する光電子増倍管等に十分に伝わらないという問題があった。そのため、Si半導体検出器と比較した場合、 α 線に対する波高弁別性能が低く、改善の余地があった。すなわち、特許文献1に記載された発明では、 α 線の検出は可能であるが、プルトニウムやラドン子孫核種等の複数の核種から発生した、それぞれエネルギーの異なる α 線同士を弁別できるほどのエネルギー弁別性能を有していなかった。

[0008] また、特許文献2に記載された発明のような、シンチレータの単結晶を用いる放射線検出器の場合、単結晶の大型化には限界があるし、単結晶から厚さの薄い大面積のシンチレータプレートを作製することは難しく、コスト的にも実用化できる状況にない。また、単結晶によるシンチレータは、上述の通り、大面積を維持したまま薄くすることが困難であることから、 γ 線の影響を受けやすいという問題もあった。

[0009] 本発明は、このような問題点を解決するためになされたものであって、放射線の検出精度を向上させるとともに、製造コストを抑えつつ実用的な大面積化が可能なシンチレータプレートおよびその製造方法を提供するとともに、これを利用した放射線計測装置ならびに放射線イメージング装置を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明に係るシンチレータプレートは、入射する放射線により励起されて

シンチレーション光を発するシンチレータを有するシンチレータプレートであって、測定対象となる前記放射線が α 線、電子線およびイオンビームのいずれかである場合、前記シンチレータ内における前記放射線の飛程以上の平均粒径からなるシンチレータ粉末を敷き詰めたシンチレータ層を有する。

[0011] また、本発明の一態様として、前記シンチレータ層の片面または両面を研磨することにより前記シンチレータ層の厚さを $20\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下に構成してもよい。

[0012] 本発明に係るシンチレータプレートは、入射する放射線により励起されてシンチレーション光を発するシンチレータを有するシンチレータプレートであって、測定対象となる前記放射線が中性子線である場合、前記シンチレータ内における前記中性子線の平均自由行程以上の平均粒径からなるシンチレータ粉末を敷き詰めたシンチレータ層を有する。

[0013] また、本発明の一態様として、前記シンチレータ層の片面または両面を研磨することにより前記シンチレータ層の厚さを $30\mu\text{m}$ 以上 $150\mu\text{m}$ 以下に構成してもよい。

[0014] 本発明に係るシンチレータプレートは、入射する放射線により励起されてシンチレーション光を発するシンチレータを有するシンチレータプレートであって、測定対象となる前記放射線がX線である場合、 $300\mu\text{m}$ より大きい平均粒径からなるシンチレータ粉末を敷き詰めたシンチレータ層を有しており、このシンチレータ層の片面または両面を研磨することにより前記シンチレータ層の厚さを $300\mu\text{m}$ 以上 $500\mu\text{m}$ 以下に構成されている。

[0015] また、本発明の一態様として、前記シンチレータ層が、前記シンチレータ粉末を一段で敷き詰めてなる単層状に形成されている構成が好ましい。

[0016] さらに、本発明の一態様として、単層状に敷き詰められた前記シンチレータ粉末とこれに隣接する他の前記シンチレータ粉末との間に生じる隙間には、前記放射線の種類によって定められる前記シンチレータ粉末の平均粒径以上の平均粒径を有する前記シンチレータ粉末が埋設されて前記シンチレータ層が構成されているとともに、このシンチレータ層の片面または両面を研磨

されてなる構成でもよい。

[0017] さらにまた、本発明の一態様として、前記シンチレータが、G P Sシンチレータ、Z n S (A g)シンチレータ、Y A PシンチレータおよびC s Iシンチレータのいずれかから選択されてもよい。

[0018] また、本発明に係る放射線計測装置は、前記シンチレータプレートと、このシンチレータプレートから発せられるシンチレーション光を電気的信号に変換する信号変換部と、測定対象となる放射線の種類に応じて設定される前記電気的信号の強度の上限値および下限値を基準として前記測定対象となる放射線と測定対象外の放射線とを弁別する放射線弁別部と、弁別された前記測定対象である放射線の電気的信号を計数する計数部と、前記計数部により計測された数値と所定の閾値とを比較して測定対象の放射線の有無を判別する放射線判別部とを有する。

[0019] また、本発明に係る放射線イメージング装置は、前記シンチレータプレートを備えている。

[0020] また、本発明に係るシンチレータプレート製造方法は、粘着性物質の表面に所定の平均粒径のシンチレータ粉末を敷き詰めて接着することによりシンチレータ層を形成するシンチレータ層形成工程と、前記シンチレータ層の片面または両面を当該シンチレータ層が所定の厚さになるまで研磨するシンチレータ層研磨工程とを有する。

[0021] さらに、本発明の一態様として、前記シンチレータ層形成工程において、前記粘着性物質の表面に接着されていないシンチレータ粉末を除去するとともに、接着されている各前記シンチレータ粉末の隙間に所定の平均粒径の前記シンチレータ粉末を敷き詰める工程を少なくとも一回以上繰り返すようにしてもよい。

[0022] さらにまた、本発明の一態様として、前記シンチレータ層形成工程前に、微粉粒子が付着しているシンチレータ粉末を液体に浸して攪拌し、所定の時間経過後に前記微粉粒子上澄みを除去することにより使用するシンチレータ粉末から前記微粉粒子を除去する微粉粒子除去工程を有してもよい。

発明の効果

[0023] 本発明によれば、放射線の検出精度を向上させるとともに、シンチレータプレートの製造コストを抑えつつ実用的な大面積化を可能にすることができる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]本発明に係るシンチレータプレートの一実施形態を示す拡大断面図である。

[図2]本実施形態における単層状としたシンチレータ層を示す（a）平面図および（b）A－A断面図である。

[図3]本実施形態における単層状の各シンチレータ粉末の隙間を他のシンチレータ粉末で敷き詰めたシンチレータ層を示す（a）平面図および（b）A－A断面図である。

[図4]単層状の各シンチレータ粉末の隙間を所定の平均粒径を有する他のシンチレータ粉末で埋めたシンチレータ層を示す拡大断面図である。

[図5]本実施形態のGPSシンチレータ内の α 線の飛程を示すグラフである。

[図6]本実施形態のGPSシンチレータにおけるシンチレータ層の厚さとエネルギーの吸収とを示すグラフである。

[図7]本実施形態のシンチレータプレートの製造方法の各工程を示す模式図である。

[図8]本実施形態のシンチレータプレートの製造方法の各工程の手順を示すフローチャートである。

[図9]本願発明に係る放射線計測装置の一実施形態を示すブロック図である。

[図10]本願発明に係る放射線イメージング装置の一実施形態を示すブロック図である。

[図11]本実施例1において作成したGPSシンチレータの写真である。

[図12]本実施例1において、ZnSシンチレータ、GPSシンチレータの単結晶および本発明に係るGPSシンチレータプレートを用いて α 線の計測を行った計測結果を示すグラフである。

[図13]本実施例1において、平均粒径の異なるGPSシンチレータプレートを用いて α 線の計測を行った計測結果を示すグラフである。

[図14]本実施例1におけるGPSシンチレータの γ 線の計測結果と、GPSシンチレータの厚さとの関係を示すグラフである。

[図15]本実施例1において、本発明に係るGPSシンチレータプレートを用いて α 線として ^{241}Am （アメリシウム）線源と γ 線として ^{137}Cs （セシウム）線源とを計測した計測結果を示すグラフである。

[図16]本実施例2における各シンチレータプレートにより計測された α 線の集光強度と計数の関係を示すグラフである。

[図17]本実施例2における各シンチレータプレートにより計測された α 線の集光強度と計数との関係に基づいて求められたピークトータル比と分解能の逆数の関係を示すグラフである。

[図18]本実施例2におけるピークトータル比および分解能の逆数の算出方法を示す模式図である。

[図19]本実施例2における試験片d)の研磨面の光学顕微鏡写真である。

[図20]本実施例2における試験片e)の研磨面の光学顕微鏡写真である。

[図21]本実施例2における試験片i)の研磨面の光学顕微鏡写真である。

[図22]本実施例3における放射線イメージング装置を示す写真である。

[図23]本実施例3における放射線イメージング装置により計測した放射能強度分布を示す3次元グラフである。

[図24]本実施例4における測定試料の設置状態を示す写真である。

[図25]本実施例4において、従来品のZnSシンチレータにより計測された中性子の分布を示す放射線イメージング装置の出力画像である。

[図26]本実施例4において、従来品のLi⁶ガラスシンチレータにより計測された中性子の分布の一部を抜き出した放射線イメージング装置の出力画像である。

[図27]本実施例4において、従来品のZnSシンチレータにより計測された中性子の分布の一部を抜き出した放射線イメージング装置の出力画像である。

。

[図28]本実施例4において、本発明に係るGPSシンチレータにより計測された中性子の分布の一部を抜き出した放射線イメージング装置の出力画像である。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、本発明に係るシンチレータプレート、放射線計測装置、放射線イメージング装置およびシンチレータプレート製造方法の一実施形態について図面を用いて説明する。

[0026] まず、シンチレータプレートの一実施形態について説明する。図1は、本実施形態のシンチレータプレート1を示す断面拡大図である。本実施形態のシンチレータプレート1は、放射線により励起するシンチレータ2からなるシンチレータ粉末21と、このシンチレータ粉末21を敷き詰めて形成されるシンチレータ層22と、このシンチレータ層22を固定する基板3とから構成されている。また、本実施形態では、シンチレータ粉末21を基板3に固定して前記シンチレータ層22を形成するために適当な接着剤4が使用されている。

[0027] 前記シンチレータ2は、入射する放射線により励起されてシンチレーション光を発する物質からなる。例えば、 $Gd_2Si_2O_7$ シンチレータ（GPSシンチレータ）、 $ZnS(Ag)$ シンチレータ、YAPシンチレータ、CsIシンチレータ等が挙げられる。

[0028] 前記GPSシンチレータは、 $Gd_2Si_2O_7$ からなる物質であり、活性物質としてCeを添加する場合がある。本実施形態では、 Gd_2SiO_3 、 CeO_2 および SiO_2 の粉末をTSSG (Top seeded solution growth) 法を用いて結晶化させることにより製造している。なお、GPSシンチレータの製造方法は、TSSG法に限定されるものではなく、固相反応法やゾル・ゲル法等から適宜選択することができる。

[0029] また、本実施形態では、このシンチレータ2を粉末状にして使用される。そのシンチレータ粉末21の平均粒径dは、シンチレータ2の種類と測定対

象となる放射線の種類とに基づいて、以下に説明するように所定の大きさが選択される。

[0030] 例えば、測定対象となる放射線が電荷を有する荷電粒子であって、シンチレータ 2 に入射することでその荷電粒子によって励起してシンチレーション光を生じさせる直接電離放射線である場合、シンチレータ粉末 2 1 の平均粒径 d は、シンチレーション光の発生効率を上げるため、当該シンチレータ 2 内における飛程以上に形成されていることが好ましい。直接電離放射線の例としては、 α 線、電子線、イオンビーム等がある。本発明における電子線は、 β 線を含む概念である。なお、飛程とは、直接電離を起こさせることのできる電荷を備えた α 線等の放射線が、ある物質に入射した場合に進むことのできる距離のことであって、本実施形態では、シンチレータ 2 の種類と放射線の種類との組み合わせにより定まる値である。したがって、直接電離放射線を測定対象とする場合には、シンチレータ粉末 2 1 の平均粒径 d を飛程以上に形成してシンチレーション光を発生させる確率を高めることが好ましい。また、測定対象となる放射線が電子である場合は、正面方向に飛んだ投影飛程を用いることが好ましい。

[0031] 一方、放射線が電荷を備えた直接電離放射線ではなく、間接電離放射線の場合、つまり、シンチレータ 2 に入射することで前記放射線がシンチレータ 2 内での原子もしくは原子核に衝突等する相互作用により荷電粒子を発生し、その荷電粒子により励起されたシンチレーション光を生じさせる間接電離放射線の場合、シンチレータ粉末 2 1 の平均粒径 d は、シンチレーション光の発生効率を上げるため、シンチレータ 2 内における前記間接電離放射線の平均自由行程以上に形成されることが好ましい。間接電離放射線の例としては、中性子線、 γ 線等がある。平均自由行程とは、電荷を備えない中性子線等の間接電離放射線が、ある物質に入射した場合に相互作用により反応を起こすまでの平均距離のことであり、本実施形態ではシンチレータ 2 の種類と放射線の種類とにより定まる値である。したがって、間接電離放射線を測定対象とする場合には、シンチレータ粉末 2 1 の平均粒径 d を少なくとも平均自

由行程以上に形成してシンチレーション光を発生させる確率を高めることが好ましい。

[0032] なお、所定の平均粒径を備えたシンチレータ粉末 2 1 の選別方法は、特に限定されるものではなく、例えば、篩を用いる方法や粒径の違いによる沈殿速度の差を用いる方法等から適宜選択される。また、後述の微粉粒子除去行程で説明するように、選別後にリン酸液やアルコール、または水等の液体に浸して攪拌し、シンチレータ粉末 2 1 と、このシンチレータ粉末 2 1 に付着したシンチレータ 2 の微粉粒子をそれぞれ拡散させて、その上澄みを捨てることで、シンチレータ粉末 2 1 から前記微粉粒子を除去してもよい。

[0033] シンチレータ層 2 2 は、シンチレータ粉末 2 1 を敷き詰めて接着材等により固定されることにより形成される。このとき、シンチレータ層 2 2 は、シンチレータ粉末 2 1 を複数段に重ねて多段状（多層状）に形成してもよいが、後述するようにシンチレータ層 2 2 の所定の最大厚さよりも薄くする必要がある。さらに、多段状（多層状）にした場合、発光したシンチレーション光が粉末間で反射や拡散を生じてしまうため、これを抑制すべく、図 2 に示すように、前記シンチレータ粉末 2 1 を一段で敷き詰めた単層状に形成することが好ましい。但し、この単層状のシンチレータ層 2 2 は本発明において厳密に解する必要はなく、例えば隣接するシンチレータ粉末 2 1 間の隙間を埋めるようにして他のシンチレータ粉末 2 1 が積載されていたとしても、所望の作用効果を生じる限り単層状に形成されているものに含まれる。

[0034] また、シンチレータ層 2 2 は、シンチレータ粉末 2 1 の充填率を高める方が検出精度の点からより好ましい。よって、所定の平均粒径 d のシンチレータ粉末 2 1 を敷き詰める際には、シンチレータ粉末 2 1 同士の隙間を少なくするためにある程度押し固めるとよい。また、必要に応じて、図 3 に示すように、単層状に敷き詰められた前記各シンチレータ粉末 2 1 の間に生じる隙間に、前記放射線の種類によって定められる前記シンチレータ粉末 2 1 の平均粒径以上の平均粒径を有する他の前記シンチレータ粉末 2 1 を埋設するのが好ましい。なお、各シンチレータ粉末の間に生じる隙間を埋める処理は、

図3に示すように、各シンチレータ粉末21が離れて接着されることにより生じる隙間のみならず、図4に示すように、前記シンチレータ粉末21と隣接する他の前記シンチレータ粉末21の間に生じる上方側の隙間を埋める処理も好ましい。

[0035] 次に、シンチレータ層22の厚さについて規定する。シンチレータ層22の厚さは、測定対象となる放射線を入射させてシンチレーション光を励起させるとともに、測定対象外の放射線により励起されるシンチレーション光を抑制し、測定対象の放射線と測定対象外の放射線とを弁別可能にする必要がある。以下、測定対象となる放射線に対するシンチレータ層の厚さの設定方法について具体例を挙げて説明する。

[0036] まず、測定対象となる放射線が α 線である場合について説明する。図5に示すように、測定対象となる放射線が ^{239}Pu （プルトニウム）から発せられる 5.5 MeV の α 線であって、シンチレータ2がGPSシンチレータである場合、その飛程は約 $17\text{ }\mu\text{m}$ である。一方、自然界に存在して α 線を発するラドン子孫核種が発する 7.7 MeV の α 線である場合の飛程は約 $27\text{ }\mu\text{m}$ である。よって、測定対象となる放射線がプルトニウム 238 から発せられる α 線である場合、測定誤差を考慮して、シンチレータ粉末21の厚さは $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。

[0037] 一方、自然界には β 線や γ 線等の測定対象外の放射線が存在しており、例えば、ラドン子孫核種は、 α 線より多くの β 線や γ 線を放出している。このような β 線や γ 線がシンチレータ2に入射すれば、 α 線と同様、シンチレーション光を発してしまう。この場合、後述する実施例13の結果（図14参照）が示すように、例えば測定対象外となる放射線が γ 線である場合、シンチレータ2の厚さが大きくなるにつれて、シンチレータ2内での γ 線のエネルギー付与が増大し、シンチレーション光を計数する集光強度の範囲が広くなる傾向にある。このような傾向は β 線でも同様である。よって、シンチレータ2の厚さは、測定対象外の放射線によるシンチレータ2へのエネルギー付与を小さくして、 α 線によるシンチレーション光と弁別できる程度に厚さ

を小さくすることが好ましい。すなわち、本発明に係るシンチレータプレート1では、シンチレータ2の厚みを可能な限り薄くすることで、測定対象外の放射線をできる限り透過させてシンチレータ2へのエネルギー付与を小さくし、シンチレーション光の発光を抑えて測定対象の放射線と測定対象外の放射線とを弁別し易くしている。

[0038] よって、測定対象となる放射線による飛程や測定対象外の放射線との弁別から考慮すると、測定対象となる放射線がプルトニウムから発せられる α 線である場合は、シンチレータ層22の厚さは $20\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

[0039] 次に、測定対象となる放射線が中性子線である場合について説明する。図6は、GPSシンチレータにおけるシンチレータ層22の厚さとエネルギーの吸収とを示すグラフである。ここで、エネルギーの吸収とは、シンチレータに入射した放射線が相互作用により反応する確率を示すものであり、エネルギーの吸収の値が1になると放射線のすべてが反応したことを示している。また、平均自由行程は、エネルギーの吸収が $(1 - 1/e)$ となる厚さと定義される。ここで e は、ネイピアの数である。よって、平均自由行程は、エネルギーの吸収が約0.63、すなわちシンチレータ2内において反応を起こす確率が約63%になる厚さであり、図6に示すように、GPSシンチレータ場合の平均自由行程は約 $30\mu\text{m}$ である。

[0040] また、シンチレータ層22の厚さは、 α 線等と同様に、弁別できる程度に測定対象外の放射線によるシンチレータ2へのエネルギー付与を低くする厚さ以下にすることが好ましい。図6に示すように、中性子線の場合、平均自由行程の5倍となる約 $150\mu\text{m}$ の厚さで反応を起こす確率は約99.3%となる。一方、59KeVより弱いエネルギーを持つ γ 線の場合、シンチレータ層22の厚さが増す毎にエネルギーの吸収が高くなるが、シンチレータ層22の厚さが約 $150\mu\text{m}$ では反応を起こす確率が50%程度に押さえることができる。よって、シンチレータ層22の厚さが約 $150\mu\text{m}$ 以下の場合では、 γ 線の有するエネルギーよりも、中性子線の有するエネルギーの多

くがシンチレーション光に変換されることになる。

[0041] よって、測定対象となる放射線が中性子線である場合、シンチレータ層 2 2 の厚さは測定誤差などを考慮して $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $150\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

[0042] さらに、測定対象となる放射線が X 線である場合、核医学画像診断法の陽電子放射断層撮影装置等で用いられることを考慮すると、シンチレータ粉末 2 1 の平均粒径 d は、 $300\text{ }\mu\text{m}$ より大きく形成されることが好ましく、シンチレータ層 2 2 の厚さは $300\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $500\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

[0043] 次に、基板 3 について説明する。シンチレータ層 2 2 を固定する基板 3 は、素材や大きさについて特に限定されるものではないが、硬くて平坦な面を形成可能な素材により形成されていることが好ましく、例えばシンチレーション光の透過を妨げないように透明なガラスや化学合成樹脂等が挙げられる。また、測定対象となる放射線が中性子の場合、 α 線等と比較して透過性が高いため、基板 3 には様々な素材を用いることができる。例えば、アルミニウム板、シリコン板、アルミナ板等が使用可能であり、シンチレータ層 2 2 側を後述する光電子増倍管 5 1 等のシンチレーション光の受信部に密着させる構成にしてもよい。さらに、必要に応じてシンチレータ層 2 2 と基板 3 との間に反射面を形成してもよい。また、シンチレータ粉末 2 1 を層状に接着させてシンチレータ層 2 2 を形成するための接着剤 4 は、特に限定されるものではないが、耐放射能の性質を有するものを用いることが好ましい。

[0044] なお、シンチレータプレート 1 は、シンチレータ層 2 2 を基板 3 に固定したものに限定されるものではなく、所定の強度を維持できるのであれば基板 3 に固定せずにシンチレータ層 2 2 それ自体をシンチレータプレート 1 として用いてもよい。

[0045] 次に、本発明に係るシンチレータプレート製造方法の一実施形態について説明する。図 7 は、本実施形態のシンチレータプレートの製造方法の各工程を示す模式図である。また、図 8 は、各工程の手順を示すフローチャートで

ある。

[0046] 本実施形態のシンチレータプレート製造方法は、図7および図8に示すように、使用するシンチレータ粉末21から前記微粉粒子を除去する微粉粒子除去工程S1と、粘着性物質の表面に使用する前記シンチレータ粉末21を敷き詰めて接着することによりシンチレータ層22を形成するシンチレータ層形成工程S2と、このシンチレータ層を基板に固定する基板固定工程S3と、前記粘着性物質を除去する粘着性物質除去工程S4と、前記シンチレータ層の表面を当該シンチレータ層が所定の厚さになるまで研磨するシンチレータ層研磨工程S5とを有する。以下、各工程について詳細に説明する。

[0047] シンチレータ粉末21は、単結晶状のシンチレータ2を粉砕し、篩等を使用し絵予め所定の平均粒径に選別されている。ただし、篩等による選別では、シンチレータ粉末21に付着したシンチレータ2の微粉粒子までは選別できない場合がある。そこで、本実施形態では、微粉粒子除去工程S1により、微粉粒子の除去を行っている。

[0048] 微粉粒子除去工程S1は、使用するシンチレータ粉末21をリン酸液やアルコール、または水等の液体に浸して超音波洗浄装置等を使って攪拌することにより、シンチレータ粉末21に付着している微粉粒子を引き離し、それぞれを液体中に拡散させる。そして、粒子径の違いによる沈降速度の差を利用して、所定の時間経過後に上澄みを除去することにより前記シンチレータ粉末から前記微粉粒子を除去するようになっている。つまり、微粉粒子の重量に対する表面積が大きく、その微粉粒子が受ける浮力や運動速度に比例して運動を妨げる抵抗力により、シンチレータ粉末21よりも前記微粉粒子の沈降速度が遅い現象を利用して除去する。

[0049] シンチレータ層形成工程S2は、粘着シート等の粘着性物質の表面に所定の平均粒径のシンチレータ粉末21を敷き詰めて接着し、シンチレータ層22を形成する工程である。本実施形態では、図7に示すように、シート状の粘着性物質を用いているがこれに限るものではなく、別途、接着材を塗布して接着させてもよい。

[0050] また、本実施形態におけるシンチレータ層形成工程では、シンチレータ層 22 におけるシンチレータ粉末 21 のムラを無くして充填率を高めるとともに、シンチレータ粉末 21 を単層状に敷き詰めることが好ましい。このため、粘着性物質の表面にシンチレータ粉末 21 を一旦敷き詰めた後に、刷毛によりシンチレータ層 22 の表面を掃いたり、粘着性物質に衝撃を加えて落とす等の処理を行う。これにより前記粘着性物質に接着されていないシンチレータ粉末 21 を除去するとともに、接着されている各前記シンチレータ粉末の隙間に所定の平均粒径の前記シンチレータ粉末 21 を再び敷き詰めるようになっている。本実施形態では、このような工程を少なくとも一回以上繰り返している。

[0051] また、本実施形態におけるシンチレータ層形成工程 S 2 では、シンチレータ粉末 21 を粘着性物質の表面に敷き詰めた後で、エポキシ樹脂等の適当な接着剤 4 を用いてシンチレータ粉末 21 を固定してシンチレータ層 22 を形成している。

[0052] 基板固定工程 S 3 は、前記シンチレータ層 22 を基板 3 に固定する工程である。本実施形態では、図 7 に示すように、粘着性物質の表面に形成されたシンチレータ層 22 の上に基板 3 を接着剤 4 等により貼り付けて固定している。なお、基板 3 を用いずにシンチレータプレート 1 を形成する場合は本工程を省略すればよい。この場合、粘着性物質に基板 3 の役割を持たせてもよいし、前記粘着性物質も剥がしてシンチレータ層 22 のみで構成してもよい。また、シンチレータ層 22 の両面を研磨する場合は、基板 3 を固定する前にその表面を研磨し、その研磨された面に基板 3 を固定すればよい。

[0053] 粘着性物質除去工程 S 4 は、前記シンチレータ層 22 に接着されている前記粘着性物質を除去する工程である。粘着性シートに接着しているのであれば、単に剥離すればよい。なお、粘着性物質がシンチレータ層 22 への放射線の入射やシンチレーション光の透過に影響が無い場合は、本工程を省略して、粘着性物質を除去せずにシンチレータプレート 1 として使用してもよい。

[0054] シンチレータ層研磨工程 S 5 は、前記シンチレータ層 2 2 を当該シンチレータ層 2 2 が所定の厚さになるまで研磨する工程である。本実施形態では、前記粘着性物質除去工程 S 4 により前記粘着性物質を除去して露出した前記シンチレータ層の表面を耐水研磨紙を用いて研磨を行っている。なお、シンチレータ層 2 2 の研磨に用いられるものは耐水研磨紙に限定されるものではなく、砥石や液状研磨材等から適宜選択してよい。

[0055] また、シンチレータ層 2 2 の両面を研磨する場合は、シンチレータ層形成工程 S 2 によりシンチレータ層 2 2 を形成した後に、まず粘着性物質のない方の表面を研磨し、その研磨された面に基板 3 を固定し、その後、粘着性物質を除去して露出された面を研磨すればよい。

[0056] 次に、本実施形態における放射線計測装置 5 について説明する。図 9 に示すように、本実施形態における放射線計測装置 5 は、主として、上述のシンチレータプレート 1 と、このシンチレータプレート 1 から発せられるシンチレーション光を電気的信号に変換する信号変換部 5 1 と、前記電気的信号を増幅させる増幅器 5 2 と、電気的信号の上限値と下限値を設定して測定対象となる放射線と測定対象外の放射線との弁別を行う放射線弁別部 5 3 と、弁別された上限値から下限値の間の範囲における電気的パルス信号を計数する計数部 5 4 と、その計数から測定対象となる放射線が入射したか否かを判別する放射線判別部 5 5 とから構成される。以下、各構成について詳細に説明する。

[0057] 信号変換部 5 1 は、先端にシンチレータプレート 1 を備えており、このシンチレータプレート 1 に放射線が入射することにより励起されるシンチレーション光を受信し、このシンチレーション光を電気的信号に変換するものであって、本実施形態では光電子増倍管 5 1 が用いられている。また、前記光電子増倍管 5 1 からは、シンチレーション光を受信することでパルス状の電気的パルス信号に変換するようになっている。

[0058] 増幅器 5 2 は、前記光電子増倍管 5 1 に接続されており、受信した前記電気的パルス信号を任意に増幅させるものである。なお、前記光電子増倍管 5

1からの電氣的パルス信号が、弁別を十分に行われる程度に大きい場合には、この増幅器52は設けなくともよい。

[0059] 放射線弁別部53は、前記増幅器52に接続されており、上限値と下限値を設定して測定対象となる放射線と測定対象外の放射線との弁別を行うものである。本実施形態においては、いわゆるフィルターとして機能し、電氣的パルス信号の上限値および下限値の間のシンチレーション光のみを計数部54に送ることで、測定対象となる放射線を測定対象外の放射線と弁別するようになっている。

[0060] 本実施形態では、プルトニウムからの α 線とラドン子孫核種からの α 線とを弁別するため、上限値はプルトニウムからの α 線により得られるエネルギーの値より僅かに大きい値とした。また、測定環境中に存在する、例えばラドン子孫核種からの β 線や γ 線と弁別させるため、下限値は β 線や γ 線により得られるエネルギーの値より僅かに大きい値とした。

[0061] 計数部54は、放射線弁別部53に接続されており、放射線弁別部53により弁別された電氣的パルス信号を計数するものである。本実施形態では、所定の間隔の集光強度毎に電氣的パルス信号を計数するようになっている。

[0062] 放射線判別部55は、計数部54に接続されており、前記計数部54により計測された数値から測定対象となる放射線が入射したか否かを判別する。具体的には、閾値を設定し、計数値と閾値とを比較して、計数値がその閾値を越えたら放射線が検出されたと判断するようになっている。

[0063] また、本実施形態の放射線イメージング装置6について説明する。図10に示すように、本実施形態の放射線イメージング装置6は、核医学画像診断法における陽電子放射断層撮影装置等に用いられるものであり、主として、任意の放射線を照射する線源装置61と、上述のシンチレータプレート1と、前記線源装置61から発せられる放射線がシンチレータプレート1に入射することにより発せられるシンチレーション光の分布を測定するシンチレーション光分布測定器62と、このシンチレーション光分布測定器62により受信されたシンチレーション光の分布を画像データとして出力する出力装置

63とから構成されている。また、放射線イメージング装置6は、陽電子放射断層撮影装置の他、物体表面に付着した放射性物質の汚染分布の測定装置等にも用いることができる。

[0064] 線源装置61は、任意の放射線を放射状に照射するものであり、本実施形態では、X線を放射するようになっている。なお、放射性物質の汚染分布の測定装置等においては、線源装置61を備える必要はない。

[0065] シンチレーション光分布測定器62は、シンチレータプレート1を備え、線源装置61から放射される放射線を受信可能な位置に設けられており、線源装置61により照射された放射線を受信し、その放射線の分布を測定するようになっている。シンチレーション光の分布を測定する方法は、特に限定されるものではなく、例えば、シンチレーション光を検知する受信器を複数並べてシンチレーション光の分布を計測するもの等が用いられる。

[0066] 出力装置63は、前記シンチレーション光分布測定器62に接続されており、受信したシンチレーション光の分布を画像データとして出力するものである。なお、出力する方法は特に限定されるものではなく、液晶ディスプレイ等に表示したり、写真として出力することができる。

[0067] 次に、本実施形態の各構成における作用について説明する。

[0068] シンチレータプレート1は、測定対象となる放射線が入射すると、その放射線により励起されてシンチレーション光を発する。例えば、測定対象が直接電離放射線の α 線である場合、シンチレータは α 線の有する荷電粒子により、シンチレータ2中の電子と電氣的な引力や反発力が働き、この影響で電子が励起される。そして、励起された電子が再結合するときに光が発せられる。本実施形態におけるシンチレータ層22は α 線の飛程以上の厚さを有しているため、入射した α 線のエネルギーの殆どがシンチレーション光となり発光する。

[0069] 本実施形態のシンチレータ層22は、シンチレータ粉末21を一段の単層状に形成されているため、シンチレータ層22内において、シンチレーション光の反射や拡散を効果的に抑制することができる。また、それ程大きな粒

径のシンチレータ粉末 2 1 でなくても、単層状に敷き詰められたシンチレータ粉末 2 1 とこれに隣接する他のシンチレータ粉末 2 1 との間に生じる隙間にシンチレータ粉末 2 1 を埋設することで、シンチレータ層 2 2 におけるシンチレータ粉末 2 1 の充填率が向上し、単結晶に近い効果を奏する構成になる。

[0070] 本実施形態の放射線計測装置 5 における光電子増倍管 5 1 は、シンチレータプレート 1 が発光したシンチレーション光を受信し、電氣的パルス信号に変換する。また、増幅器 5 2 は、光電子増倍管 5 1 で変換された電氣的パルス信号を任意の大きさに増幅する。

[0071] 放射線弁別部 5 3 は、増幅器 5 2 から受けた電氣的パルス信号を上限值と下限値と比較して測定対象の放射線であるか、測定対象外の放射線であるかを弁別する。そして、計数部 5 4 は、放射線弁別部 5 3 によってフィルタリングされたシンチレーション光を所定間隔の集光強度毎に計数する。放射線判別部 5 5 は、前記シンチレーション光の計数値が所定の閾値を越えたら測定対象とする放射線が測定されたと判断する。そして、適当な出力手段によって放射線測定の結果を出力する。

[0072] 次に、本実施形態の放射線イメージング装置 6 について説明する。線源装置 6 1 は、シンチレータプレート 1 に向けて任意の放射線を照射する。この線源装置 6 1 とシンチレータプレート 1 との間には、人体など内部のイメージングを行う任意物体 O が配置される。このような任意物体 O に放射線が透過すると骨と肉等の放射線の透過率が異なる場所を通過した際、シンチレータプレート 1 に到達する放射線量に差が生じる。

[0073] シンチレータプレート 1 では、この放射線量の差によりシンチレーション光の発光に差が生じる。シンチレーション光分布測定器 6 2 は、そのシンチレーション光の分布を計測し、出力装置 6 3 により任意の状態で出力を行う。

[0074] 以上のような本実施形態によれば、以下の効果が得られる。

1. シンチレータ層 2 2 がシンチレータ 2 の種類と放射線の種類とから特定

される所定の平均粒径以上のシンチレータ粉末 2 1 で構成されているとともに、前記シンチレータ層 2 2 の厚さを所定範囲内に形成されることにより、より高い確率で弁別できるシンチレーション光を取得することができる。

2. シンチレータ層 2 2 においてシンチレータ粉末 2 1 を単層状に敷き詰めることにより、多段状のシンチレータ粉末 2 1 において生じてしまうようなシンチレーション光の反射や拡散を抑制することができる。

3. 所定の粒径のシンチレータ粉末 2 1 を基板に敷き詰めて所定の厚さに研磨することによってシンチレータ層 2 2 を形成すればよいため、製造コストを大幅に抑制しつつ容易に大面積化することができ、かつ精度のよいシンチレータプレート 1 を製造できる。

4. 本実施形態のシンチレータプレート 1 を用いることにより、放射線計測装置 5 および放射線イメージング装置 6 の測定精度を向上させられる。

実施例 1

[0075] 本実施例 1 では、本発明に係るシンチレータプレート 1 を作製し、そのシンチレータプレート 1 を用いて α 線を計測した。

[0076] 『シンチレータプレートの作製』

本実施例 1 では、GPSシンチレータを用いて試験用のシンチレータプレート 1 を作製した。GPSシンチレータは、TSSG法を使った結晶合成により作製した素材を粉砕し、所定のメッシュを有する篩を使って粒径を揃えた。基板には図 1 1 に示すような 25 mm 角の矩形状のガラス板を用い、その中心（図 1 1 における点線で示す範囲）にシンチレータ粉末 2 1 を敷き詰めてエポキシ樹脂からなる接着材 4 により固定した。

[0077] 『従来のシンチレータとの比較』

まず、従来の特許文献 1 に記載の発明に相当する ZnS シンチレータプレートと、GPSシンチレータの単結晶体で構成されたシンチレータプレートと、本発明に係るシンチレータプレート 1 とを用いて α 線の計測を行った。ZnS シンチレータのプレートは、本実施例 1 の GPS シンチレータと同様にガラスの基板に対し、約 10 mg / cm² の厚さに塗布することにより作製

した。また、GPSシンチレータの単結晶は約1.4 mmのものを使用した。さらに、本実施例1では、平均粒径dが約50 μm のGPSのシンチレータ粉末を用いてシンチレータ層22を形成し、その片側表面を研磨することによって、シンチレータ層22の厚さが約100 μm 、約50 μm 、および約30 μm となる3種類のシンチレータプレート1を用意した。

[0078] それぞれのプレートにプルトニウムの代替として ^{241}Am （アメリシウム）を線源とする5.5 MeVの α 線を照射し、集光強度と計数の関係について計測した。

[0079] 図12は、測定結果を示すグラフである。ZnSシンチレータプレートでは、集光強度に対してなだらかな分布を有しており鋭いピークは見られない。よって、当該ZnSシンチレータプレートでは、 α 線の測定は可能であるが、エネルギー分解能が低いため、プルトニウムやラドン子孫核種等の複数の核種から発生した、それぞれエネルギーの異なる α 線同士を弁別するには問題が残っている。

[0080] 一方、GPSシンチレータの単結晶では、鋭いピークが立っており、 α 線を精度良く計測できたことを示している。同様に、本発明に係るGPSシンチレータプレートは、プレートの厚さが約100 μm および約50 μm の場合は、単結晶より若干劣るものの、鋭いピークが測定できている。なお、本実施例1では、約30 μm の場合は、鋭いピークが得られなかった。

[0081] 以下、本実施例1では、シンチレータ粉末21の平均粒径dとシンチレータの厚さについて、より詳細な実験を行った。

[0082] 『シンチレータ粉末の平均粒径についての検討』

まず、シンチレータ粉末21の平均粒径dと測定精度についての検討を行った。シンチレータプレート1は、シンチレータ粉末21の粒径dが約25 μm 以上約45 μm 以下のものと、約45 μm 以上約75 μm 以下のものと、約75 μm 以上約106 μm 以下のものの3種類を用意し、それぞれに ^{241}Am （アメリシウム）を線源とする5.5 MeVの α 線を照射し、集光強度と計数の関係について計測した。

[0083] 図13は、計測結果を示すグラフである。シンチレータ粉末21の粒径dが約25 μm 以上約45 μm 以下である場合、集光強度のピーク値が現れて α 線が検出されていることがわかる。しかし、集光強度の分布は他の2種類のシンチレータプレートと比較してなだらかであり、弁別の精度は劣っているといえる。また、粒径dが約45 μm 以上約75 μm 以下である場合、集光強度のピークが集光強度の高い値に寄っており、粒径dが約25 μm 以上約45 μm 以下である場合よりも弁別の精度は向上するといえる。さらに、粒径dが約75 μm 以上約106 μm 以下の場合、他の2種類のシンチレータプレートと比較して、集光強度のピークが集光強度の高い値に寄っていると同時に、その幅も狭くなっており、弁別の精度向上が十分に期待できる。

[0084] よって、シンチレータ粉末21の平均粒径dを大きくすることにより、集光強度の高い側の弁別の精度向上が期待できる。

[0085] 『シンチレータの厚さについての検討』

次に、 α 線の測定と測定環境中に存在する γ 線との弁別を行うためにシンチレータ2の厚さについて検討を行った。本実施例1では、シンチレータ粉末21の平均粒径dが50 μm のものを使用してシンチレータプレート1を作製し、その表面を研磨することで、シンチレータ2の厚さが100 μm のものと、シンチレータ2の厚さが50 μm のものと、シンチレータ2の厚さが30 μm のものの3種類を用意した。これら各シンチレータプレート1に対してセシウムCsを線源とする662 keVの γ 線を照射し、集光強度と計数の関係について計測を行った。また、比較のため、約1.4 mmに形成されたGPSシンチレータの単結晶体についても計測を行った。

[0086] 図14は、測定結果を示すグラフである。この図14に示すように、GPSシンチレータの単結晶を用いた場合、広範囲に渡って集光強度が計数されている。このような広い範囲の集光強度が計数される場合には、他の放射線との弁別が困難になる。

[0087] 一方、本実施例1で作製したシンチレータプレート1では、小さい集光強度に分布が集中している。特に、シンチレータ2の厚さが100 μm 、50

μm 、 $30\mu\text{m}$ へと薄くなるにつれて、集光強度の幅が狭くなっている。よって、シンチレータ2の厚さは、薄いほど γ 線の影響を抑えることができ、 α 線を弁別をし易くなることがわかる。

[0088] 『シンチレータ粉末の平均粒径についてのまとめ』

次に、GPSシンチレータのシンチレータ粉末21の平均粒径 d が $50\mu\text{m}$ のものを用いて、厚さが約 $50\mu\text{m}$ のシンチレータプレートを作製し、 241Am （アメリシウム）を線源とする 5.5MeV の α 線とセシウムCsを線源とする 662keV の γ 線とを照射して、集光強度と計数の関係について計測した。

[0089] 図15は、測定結果を示すグラフである。本実施例1におけるシンチレータプレート1では、 α 線を検出できているとともに、 γ 線に対して弁別ができています。よって、弁別するための集光強度の下限値を約100に設定し、上限値を約650に設定することにより、 α 線と γ 線とを確実に弁別することができると考えられる。

実施例 2

[0090] 次に、実施例2について説明する。実施例2では、シンチレータ層22が、単層状のシンチレータ粉末21により形成されている場合と、多層状のシンチレータ粉末21により形成されている場合との違いによる検出精度への影響について実験を行った。

[0091] 『シンチレータプレートの作製』

本実施例2では、実施例1と同様、GPSシンチレータを用いて試験用のシンチレータプレート1を作製した。本実施例2でシンチレータプレート1に用いられたシンチレータ粉末21の粒径は以下の通りである。

- a) $d < 5\mu\text{m}$
- b) $25\mu\text{m} < d < 45\mu\text{m}$
- c) $45\mu\text{m} < d < 75\mu\text{m}$
- d) $75\mu\text{m} < d < 106\mu\text{m}$
- e) $75\mu\text{m} < d < 106\mu\text{m}$ （微粉粒子を除去）

f) $180\ \mu\text{m} < d < 212\ \mu\text{m}$ (微粉粒子を除去)

g) $212\ \mu\text{m} < d < 250\ \mu\text{m}$ (微粉粒子を除去)

h) $250\ \mu\text{m} < d < 300\ \mu\text{m}$ (微粉粒子を除去)

i) $500\ \mu\text{m} < d < 600\ \mu\text{m}$ (微粉粒子を除去)

[0092] 試験片 a) ~ d) については、シンチレータ粉末 21 を所定のメッシュの篩を使って粒径を揃えた。また、試験片 e) ~ i) については、篩を使って粒径を揃えた後に、リン酸液に浸して超音波洗浄装置で攪拌し、シンチレータ粉末 21 に付着するシンチレータ 2 の微粉粒子をリン酸液中に拡散させ、その上澄み除去することにより除去した。また、本実施例 2 における基板 3 には、実施例 1 と同様に、25 mm 角の矩形状のガラス板を用いた。

[0093] 本実施例 2 におけるシンチレータプレート 1 は、前記基板 3 の上に上記シンチレータ粉末 21 を敷き詰めて固定することでシンチレータ層 22 を形成し、試験片 a) ~ h) については前記シンチレータ層 22 の片面を研磨し、試験片 i) については前記シンチレータ層 22 の両面を研磨することでシンチレータ層 22 の厚さを約 $100\ \mu\text{m}$ に調整した。

[0094] 以上より、本実施例 2 では、試験片 a) ~ c) のシンチレータプレート 1 のシンチレータ層 22 は、シンチレータ粉末 21 が多層状に敷き詰められた状態にあり、試験片 d) ~ i) のシンチレータプレート 1 のシンチレータ層 22 は、シンチレータ粉末 21 を単層状に敷き詰められた状態にある。

[0095] 『単層状および多層状のシンチレータ層についての検討』

本実施例 2 では、実施例 1 と同様、それぞれのプレートにプルトニウムの代替として ^{241}Am (アメリシウム) を線源とする $5.5\ \text{MeV}$ の α 線を照射し、集光強度と計数の関係について計測した。図 16 は、試験片 a) ~ e) のシンチレータプレートと比較例として GPS シンチレータの単結晶を用いたシンチレータプレートによる計測結果を示すグラフである。

[0096] 図 16 に示すように、GPS シンチレータの単結晶を用いた場合、集光強度が 600 近傍で計数のピークが現れている。

[0097] それに対し、上記試験片 a) のシンチレータ粉末 21 を用いたシンチレー

タプレート 1 では、集光強度が 200 以上の範囲では殆ど検出されておらず、複数の核種から発生した、それぞれエネルギーの異なる α 線同士を弁別することはできない。これは、シンチレータ層 22 が所定の厚さ以上の場合であっても、シンチレータ粉末 21 の粒径が飛程よりも小さい場合には、十分なシンチレータ光を発することができないためであると思われる。

[0098] 試験片 b) ~ d) のシンチレータ粉末 21 を用いたシンチレータプレート 1 では、粒径が大きくなるほど、ピークがはっきり認識される。また、同じ粒径である試験片 d) および試験片 e) のシンチレータ粉末 21 を用いた各シンチレータプレート 1 による計測結果を比較すると、微粉粒子を除去した試験片 e) の方がピークが明瞭に現れている。これらの結果は、試験片 b) ~ d) では、シンチレータ粉末 21 が重なり合って形成されているため、シンチレータ光が乱反射を起こして光電子増倍管 51 まで到達するシンチレータ光の数が減少しているのに対し、試験片 e) では、シンチレータ粉末 21 を単層状に敷き詰められているとともに、細かい粉末が除去されているため、シンチレータ粉末 21 が重なり合っておらず、シンチレータ光が光電子増倍管 51 まで到達しやすいためであると思われる。

[0099] 次に、試験片 a) ~ i) のシンチレータ粉末 21 を用いた各シンチレータプレート 1 による計測結果について分解能の逆数とピークトータル比とを算出することにより比較した。図 17 は、本実施例 2 における計測結果に基づくピークトータル比と分解能の逆数とをまとめたグラフである。

[0100] 本実施例 2 において、分解能の逆数は、図 17 および図 18 に示すように、計数の見かけ上のピークの最大値と、この見かけ上のピークの最大値における見かけ上の半値幅との比により算出される値である。つまり、図 17 の縦軸に示されている分解能の逆数の値が大きいほど、ピークの幅が鋭いことを表しており、エネルギー弁別性能が高いことを示している。

[0101] また、本実施例 2 において、ピークトータル比とは、全集光強度における計数に対する、ピークにおける計数の値を示している。つまり、ピークトータル比が大きいほど、図 18 におけるテール部分の計数が小さく、ピークで

の計数が高いことを表しており、エネルギー弁別性能が高いことを示している。

[0102] 図17に示すように、単結晶のシンチレータプレートの場合、分解能の逆数およびピークトータル比が共に高い値を示しており、エネルギー弁別性能が高いことがわかる。

[0103] 一方、試験片b)および試験片c)のように多層状のシンチレータ層で構成されたものは、分解能の逆数およびピークトータル比が低く、単結晶の場合の結果に比べて分解能の逆数は約10分の1、ピークトータル比は約5分の1と低い値を示しており、エネルギー弁別性能が低かった。

[0104] それに対し、試験片d)～i)の単層状のシンチレータプレートは、試験片b)および試験片c)に対して、分解能の逆数およびピークトータル比が向上した。例えば、試験片d)～i)では、単結晶の場合に比べると、分解能の逆数は60%程度であり十分なエネルギー弁別性能を維持している。また、ピークトータル比は、シンチレータ粉末21の平均粒径dが大きくなるにつれて、検出効率がよくなる傾向にあり、試験片i)では、単結晶に対する比で、70%程度のエネルギー弁別性能を維持していることがわかる。

[0105] 次に、各シンチレータプレート1のシンチレータ層22を光学顕微鏡を用いて写真を撮影し、その画像に基づいて精度の相違について検討した。図19～図21は、それぞれ試験片d)、e)およびi)の各シンチレータ粉末21を用いたシンチレータプレート1のシンチレータ層22を撮影した光学顕微鏡写真である。

[0106] 図19に示すように、微粉粒子を除去する前では、微粉粒子がシンチレータ粉末21の隙間に不規則に混入された状態になっており、光学顕微鏡写真からも光が乱反射している様子が見てとれる。これに対して、図20に示すように、微粉粒子を除去した試験片e)の場合は、所定のシンチレータ粉末21が略単層状に敷き詰められており、光の反射や拡散が抑えられていることが観察できる。

[0107] また、図21では、比較的大きなシンチレータ粉末21を用いてシンチレ

ータ層 2 2 の両面を研磨しているため、各シンチレータ粉末 2 1 がプレート状に形成されているのがわかる。そのため、光電子増倍管 5 1 の検出面と平行な面が形成され、シンチレータ光の乱反射が起こりにくくなっているものと思われる。また、各シンチレータ粉末 2 1 同士の間隙が少なくなっており、画像処理による結果では充填率が約 7 0 % と高いため、単結晶に近い構成になっているといえる。よって、図 1 7 に示すように、本実施例 2 においては、試験片 (i) のシンチレータ粉末 2 1 を用いたシンチレータプレート 1 では検出効率も 7 0 % を達成している。

[0108] 『単層状および多層状のシンチレータ層についてのまとめ』

以上より、シンチレータ層 2 2 におけるシンチレータ粉末 2 1 は、シンチレータ光の乱反射を抑制することによりエネルギー弁別性能が向上することがわかった。そのためには、シンチレータ粉末が重なり合わないことが重要であり、多層状よりも単層状のシンチレータ粉末 2 1 で敷き詰められる方がエネルギー弁別性能が高いといえる。また、平均粒径の大きいシンチレータ粉末 2 1 を単層状に敷き詰めて所定の厚さに研磨する方が光電子増倍管 5 1 の検出面と平行となる面が形成され、プレート表面上にシンチレータが露出している割合が高い。そのため、測定対象の α 線のエネルギーは、エネルギーの損失なくシンチレータ 3 へ付与される。その結果、優れたエネルギー弁別性能が得られるものと思われる。さらに、シンチレータ層 2 2 におけるシンチレータ粉末 2 1 の充填率が高い方がより検出効率が向上することがわかった。

実施例 3

[0109] 実施例 3 では、物体表面に付着した放射性物質の汚染分布の測定装置に用いられる放射線イメージング装置 6 を作成し、放射能の分布測定を行った。図 2 2 は、作成した放射線イメージング装置 6 を示す外観図である。

[0110] 本実施例 3 における放射線イメージング装置 6 は、図 2 2 に示すように、シンチレータプレート 1 を備えたシンチレーション光分布測定器 6 2 と、分布を画像データとして出力する出力装置 6 3 とから構成されている。

- [0111] 本実施例3におけるシンチレータプレート1は、GPSシンチレータプレートを採用している。また、シンチレーション光分布測定器62には、多チャンネル光電子増倍管（浜松ホトニクス社製）が用いており、5cm×5cmの略正方向状の検出面積に $8 \times 8 = 64$ の計測点が設けられている。
- [0112] 本実施例3では、 α 線放出核種を計測面に対して適当に散布し、その計測面に前記多チャンネル光電子増倍管を向けてセッティングし、全計測点における α 線の波高スペクトルを同時に計測することにより、 α 線放出核種から放出される放射能分布の計測を行った。
- [0113] 図23は、計測された放射能強度分布であり、シンチレーション光分布測定器62により計測された各計測点における放射能の強度から各計測点間の値を線形的に算出し、 256×256 のデータとして表したものである。グラフの線の高低が放射能の強度を表している。
- [0114] 図23に示すように、放射能の強度が高いところと低いところが現れており、 α 線放出核種を有する場所と α 線放出核種を有しない場所との差が明確になっている。よって、計測対象外となる線源が存在しても、十分に弁別可能であることがわかる。
- [0115] 以上より、本実施例3では、本発明に係るシンチレータプレート1を用いることにより、放射能分布計測が十分に可能であることがわかった。これにより、シンチレータプレート1の大面積化への可能性を示すことができた。

実施例 4

- [0116] 実施例4では、中性子線の計測を行った。シンチレータとしては、Li（リチウム）6シンチレータ、ZnSシンチレータおよび本発明に係るGPSシンチレータを用いた。また、これらのシンチレータを用いて、抵抗分割型の位置検出光電子増倍管を使用した中性子イメージングシステムにより計測を行った。なお、Li6ガラスシンチレータは検出精度が高いことで知られている物質である。
- [0117] 本実施例4では、図24に示すように測定試料としてカドミウムでFの文字に形成したプレートを設置し、このプレートに中性子線を照射して、その

背後における中性子線の分布の計測を行った。なお、カドミウムは、中性子を吸収する性質を有している。

[0118] 図25は、ZnSシンチレータを用いて計測を行った計測結果である。図25に示すように、カドミウムにより中性子が吸収され、その背後では中性子が計測されずに「F」の文字が鮮明に現れた。

[0119] 次に、プレートの形状が大小様々であったため、各プレートにより計測された画像に基づき、同じ領域となる部分を抜き出して各プレートの比較を行った。図26はLi6ガラスシンチレータ、図27はZnSシンチレータ、図28はGPSシンチレータを用いた測定結果である。また、図26から図28に基づいて、各領域における中性子の総数をカウントした。

[0120] 中性子の総数はLi6ガラスシンチレータを用いたものが一番多く114, 319であった。そこで、Li6ガラスシンチレータの総数を100として、他のシンチレータの総数を比較して求めると、ZnSシンチレータが約30、GPSシンチレータが約81であった。

[0121] 以上より、本発明に係るシンチレータプレート1は、測定対象が中性子線でも計測できることが証明された。また、放射線イメージングの計測にも有効である。また、本発明に係るGPSシンチレータの検出精度は、ZnSシンチレータよりも高い結果となった。さらに、高い検出精度で知られているLi6ガラスシンチレータに比べても約81%という高い精度であることがわかる。よって、本発明に係るシンチレータプレートはコスト面だけでなく、精度面においても実用性が高い。

符号の説明

- [0122]
- 1 シンチレータプレート
 - 2 シンチレータ
 - 3 基板
 - 4 接着剤
 - 5 放射線計測装置
 - 6 放射線イメージング装置

- 2 1 シンチレータ粉末
- 5 1 信号変換部（光電子増倍管）
- 5 2 増幅器
- 5 3 放射線弁別部
- 5 4 計数部
- 5 5 放射線判別部
- 6 1 線源装置
- 6 2 シンチレーション光分布測定器
- 6 3 出力装置

請求の範囲

- [請求項1] 入射する放射線により励起されてシンチレーション光を発するシンチレータを有するシンチレータプレートであって、測定対象となる前記放射線が α 線、電子線およびイオンビームのいずれかである場合、前記シンチレータ内における前記放射線の飛程以上の平均粒径からなるシンチレータ粉末を敷き詰めたシンチレータ層を有するシンチレータプレート。
- [請求項2] 前記シンチレータ層の片面または両面を研磨することにより前記シンチレータ層の厚さを $20\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下にした請求項1に記載のシンチレータプレート。
- [請求項3] 入射する放射線により励起されてシンチレーション光を発するシンチレータを有するシンチレータプレートであって、測定対象となる前記放射線が中性子線である場合、前記シンチレータ内における前記中性子線の平均自由行程以上の平均粒径からなるシンチレータ粉末を敷き詰めたシンチレータ層を有するシンチレータプレート。
- [請求項4] 前記シンチレータ層の片面または両面を研磨することにより前記シンチレータ層の厚さを $30\mu\text{m}$ 以上 $150\mu\text{m}$ 以下にした請求項3に記載のシンチレータプレート。
- [請求項5] 入射する放射線により励起されてシンチレーション光を発するシンチレータを有するシンチレータプレートであって、測定対象となる前記放射線がX線である場合、 $300\mu\text{m}$ より大きい平均粒径からなるシンチレータ粉末を敷き詰めたシンチレータ層を有しており、このシンチレータ層の片面または両面を研磨することにより前記シンチレータ層の厚さを $300\mu\text{m}$ 以上 $500\mu\text{m}$ 以下にしたシンチレータプレート。
- [請求項6] 前記シンチレータ層が、前記シンチレータ粉末を一段で敷き詰めてなる単層状に形成されている請求項1から請求項5のいずれかに記載のシンチレータプレート。

- [請求項7] 単層状に敷き詰められた前記シンチレータ粉末とこれに隣接する他の前記シンチレータ粉末との間に生じる隙間には、前記放射線の種類によって定められる前記シンチレータ粉末の平均粒径以上の平均粒径を有する前記シンチレータ粉末が埋設されて前記シンチレータ層が構成されているとともに、このシンチレータ層の片面または両面を研磨されてなる請求項6に記載のシンチレータプレート。
- [請求項8] 前記シンチレータが、G P Sシンチレータ、Z n S (A g)シンチレータ、Y A PシンチレータおよびC s Iシンチレータのいずれかから選択される請求項1ないし請求項7のいずれかに記載のシンチレータプレート。
- [請求項9] 請求項1ないし請求項8のいずれかに記載の前記シンチレータプレートを備えた放射線計測装置であって、
前記シンチレータプレートと、
このシンチレータプレートから発せられるシンチレーション光を電氣的信号に変換する信号変換部と、
測定対象となる放射線の種類に応じて設定される前記電氣的信号の強度の上限値および下限値を基準として前記測定対象となる放射線と測定対象外の放射線とを弁別する放射線弁別部と、
弁別された前記測定対象である放射線の電氣的信号を計数する計数部と、
前記計数部により計測された数値と所定の閾値とを比較して測定対象の放射線の有無を判別する放射線判別部と
を有する放射線計測装置。
- [請求項10] 請求項1ないし請求項8のいずれかに記載の前記シンチレータプレートを備えた放射線イメージング装置。
- [請求項11] 請求項1ないし請求項8のいずれかに記載のシンチレータプレートを製造するシンチレータプレート製造方法であって、
粘着性物質の表面に所定の平均粒径のシンチレータ粉末を敷き詰め

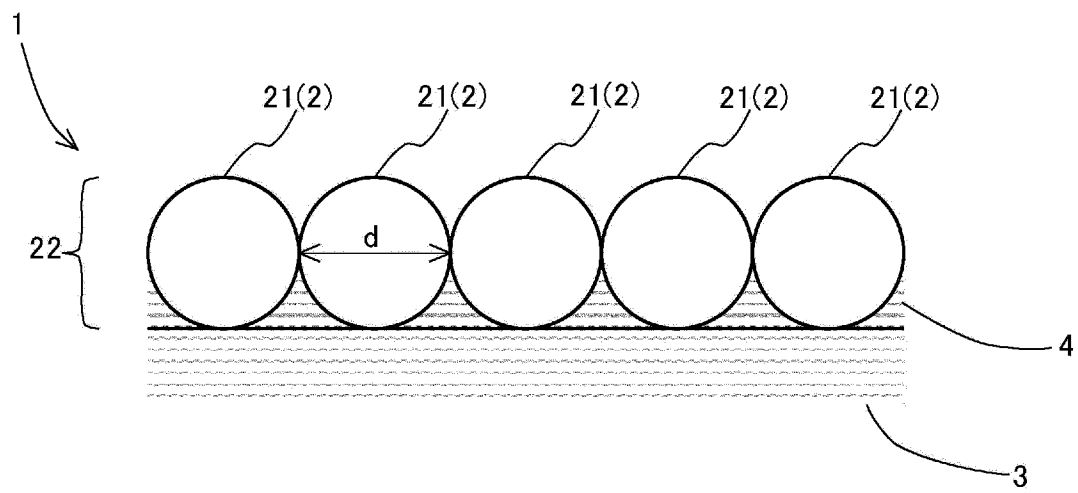
て接着することによりシンチレータ層を形成するシンチレータ層形成工程と、

前記シンチレータ層の片面または両面を当該シンチレータ層が所定の厚さになるまで研磨するシンチレータ層研磨工程とを有するシンチレータプレート製造方法。

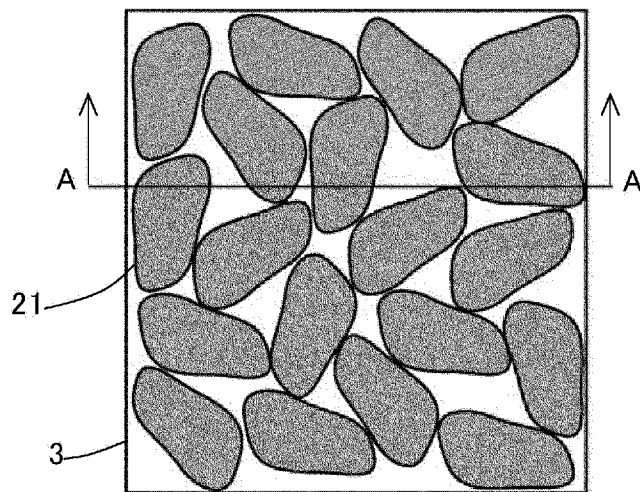
[請求項12] 前記シンチレータ層形成工程において、前記粘着性物質の表面に接着されていないシンチレータ粉末を除去するとともに、接着されている各前記シンチレータ粉末の隙間に所定の平均粒径の前記シンチレータ粉末を敷き詰める工程を少なくとも一回以上繰り返す、請求項11に記載のシンチレータプレート製造方法。

[請求項13] 前記シンチレータ層形成工程前に、微粉粒子が付着しているシンチレータ粉末を液体に浸して攪拌し、所定の時間経過後に前記微粉粒子上澄みを除去することにより使用するシンチレータ粉末から前記微粉粒子を除去する微粉粒子除去工程を有する、請求項12に記載のシンチレータプレート製造方法。

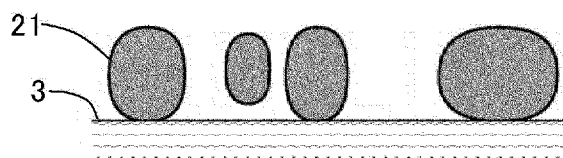
[図1]



[図2]

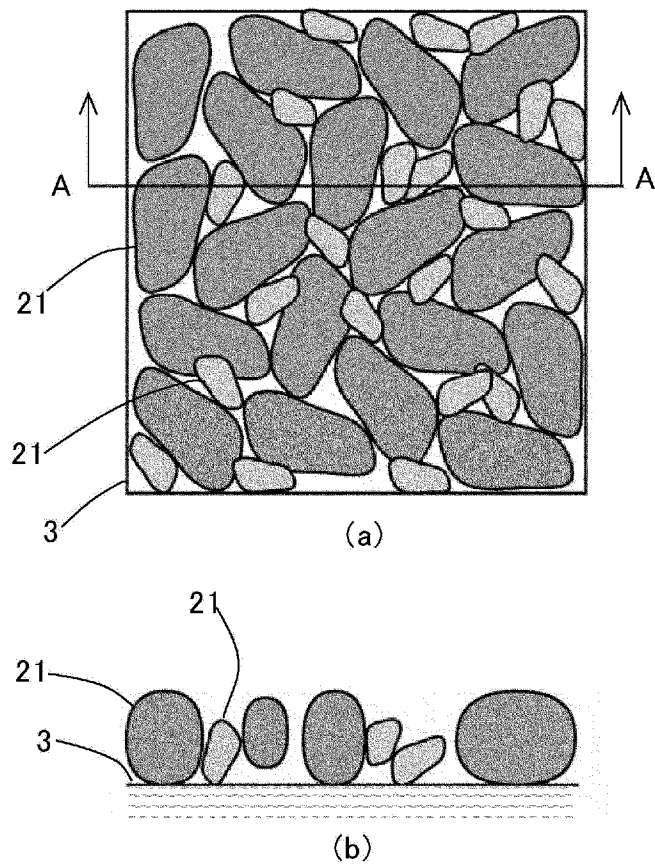


(a)

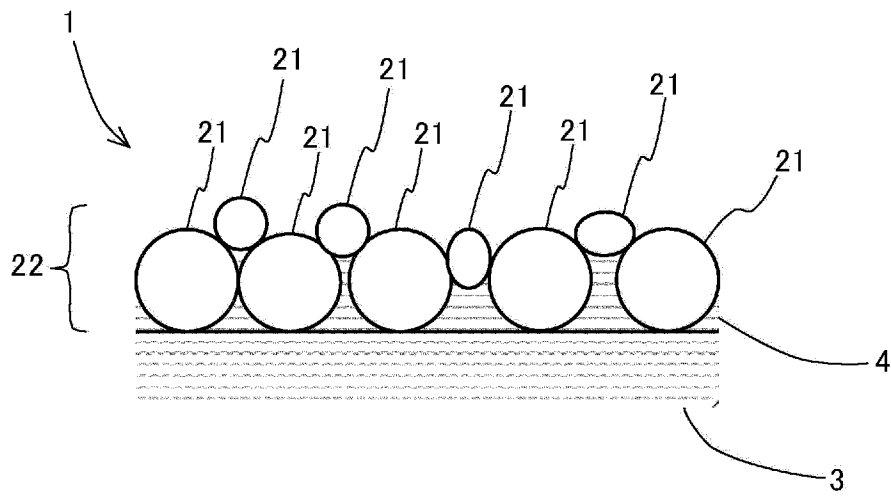


(b)

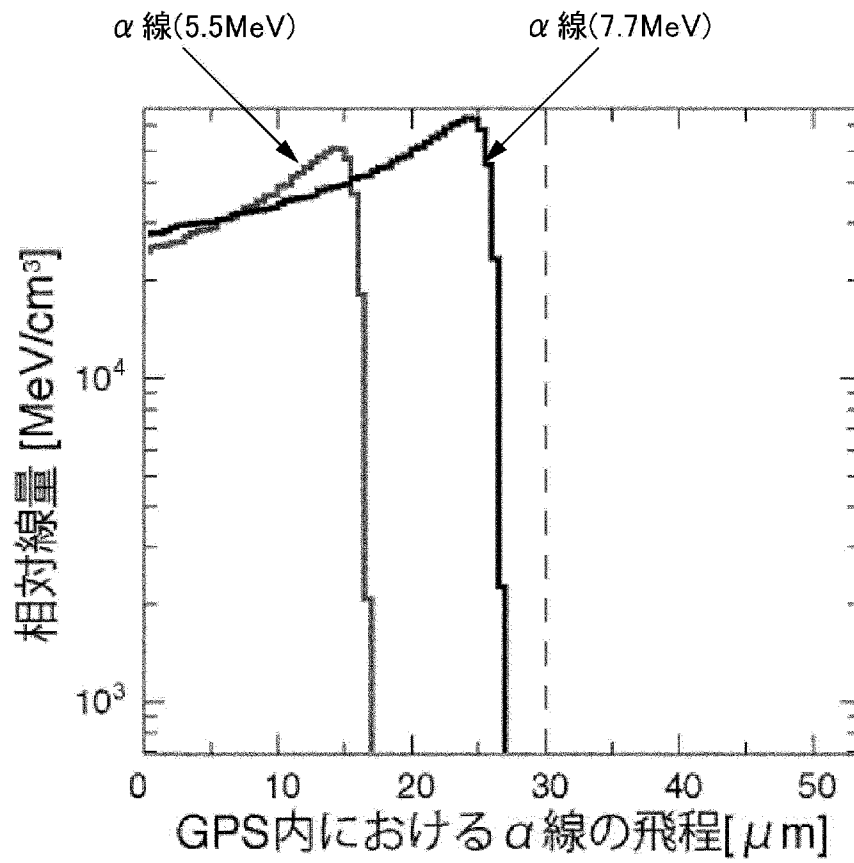
[図3]



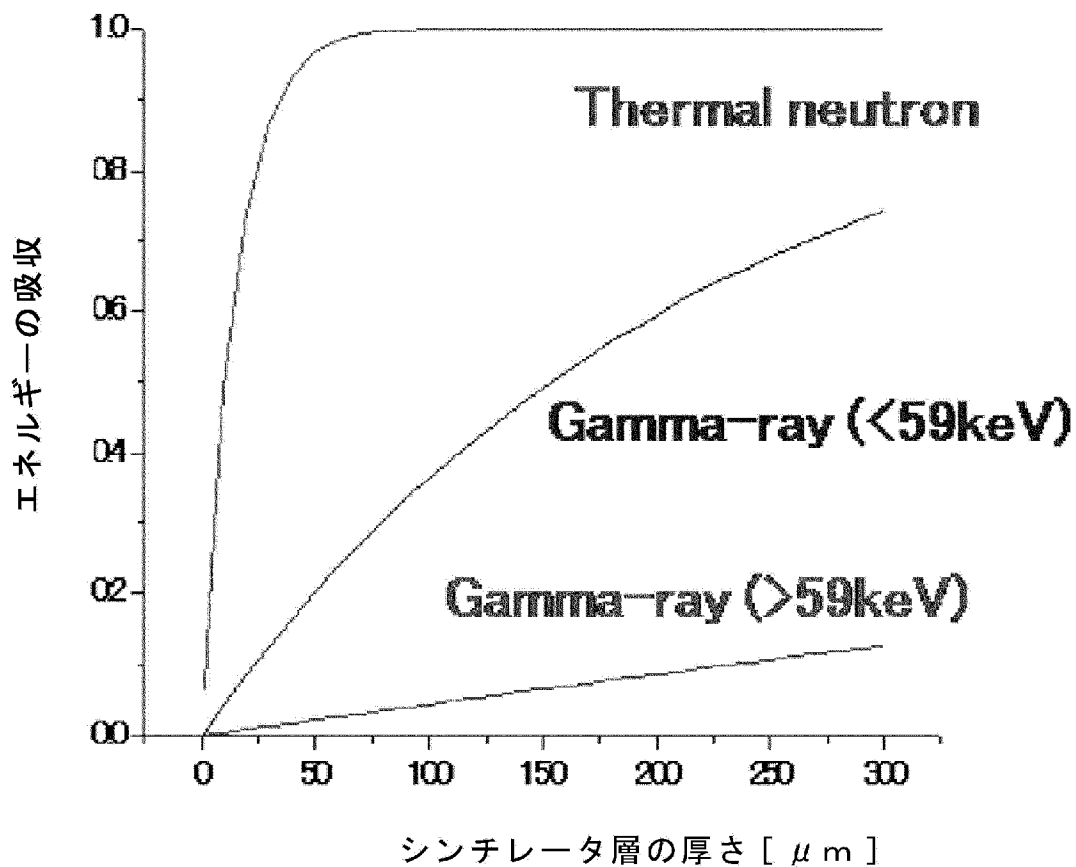
[図4]



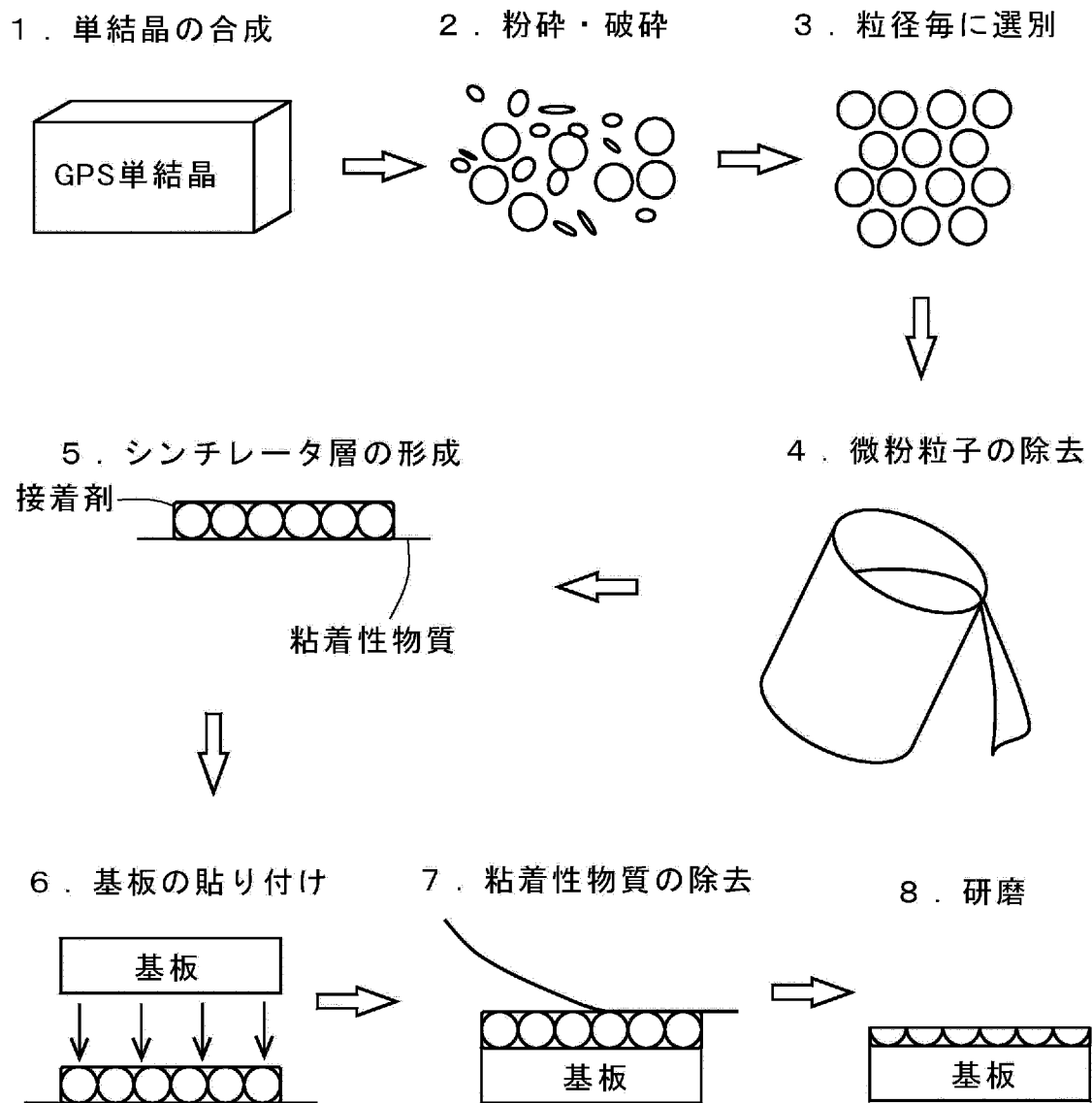
[図5]



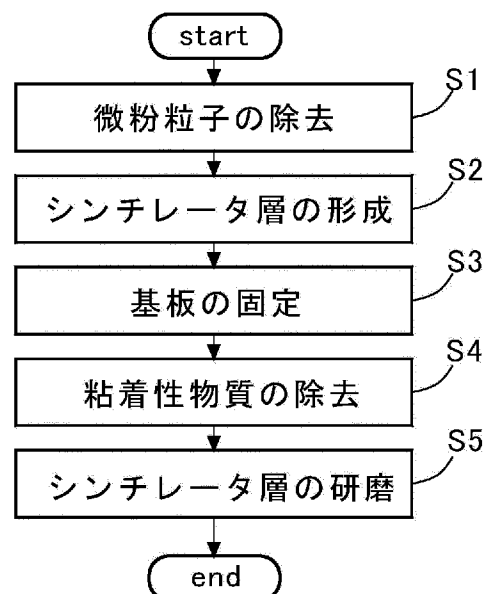
[図6]



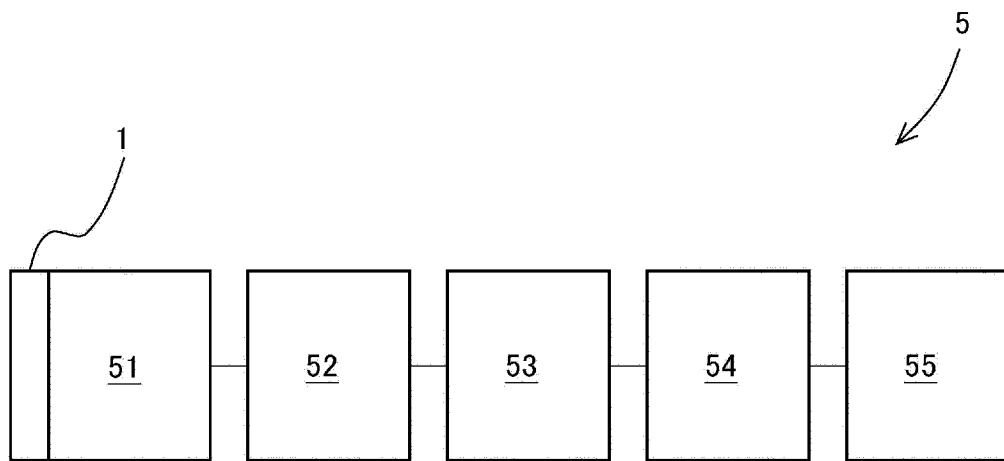
[図7]



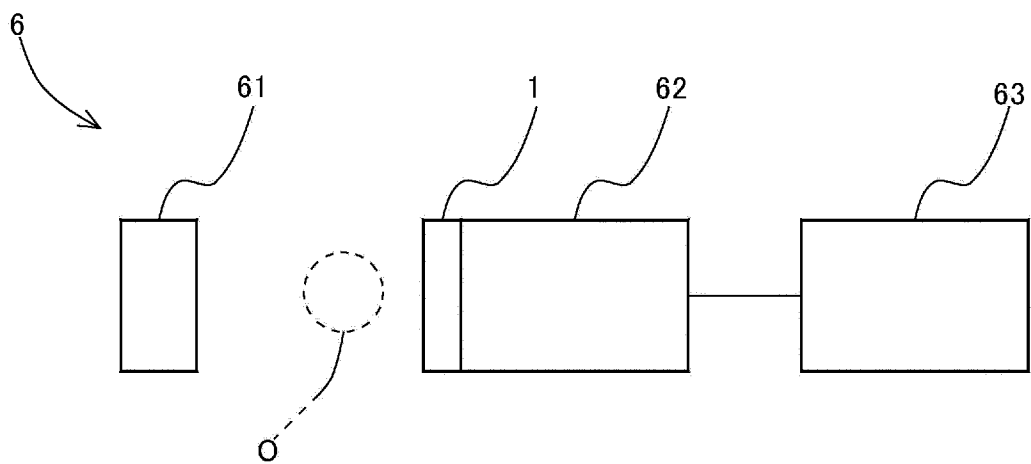
[図8]



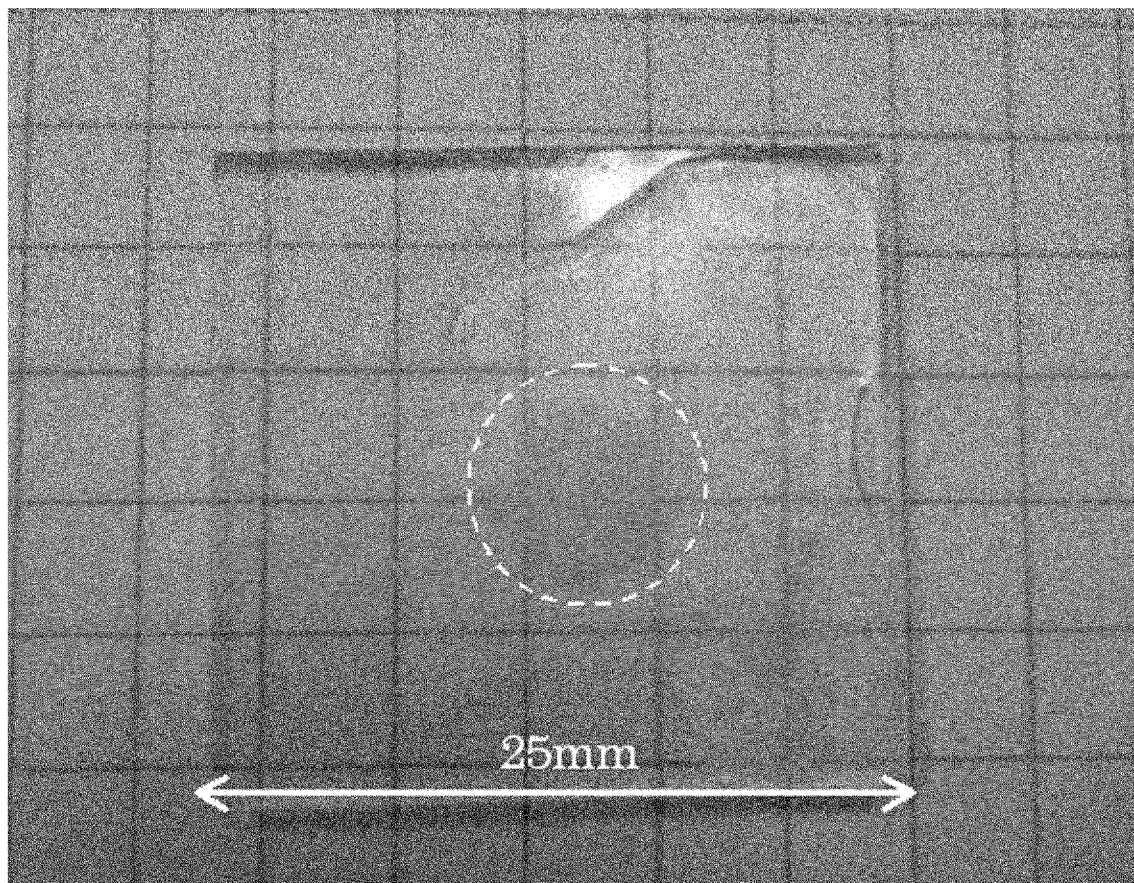
[図9]



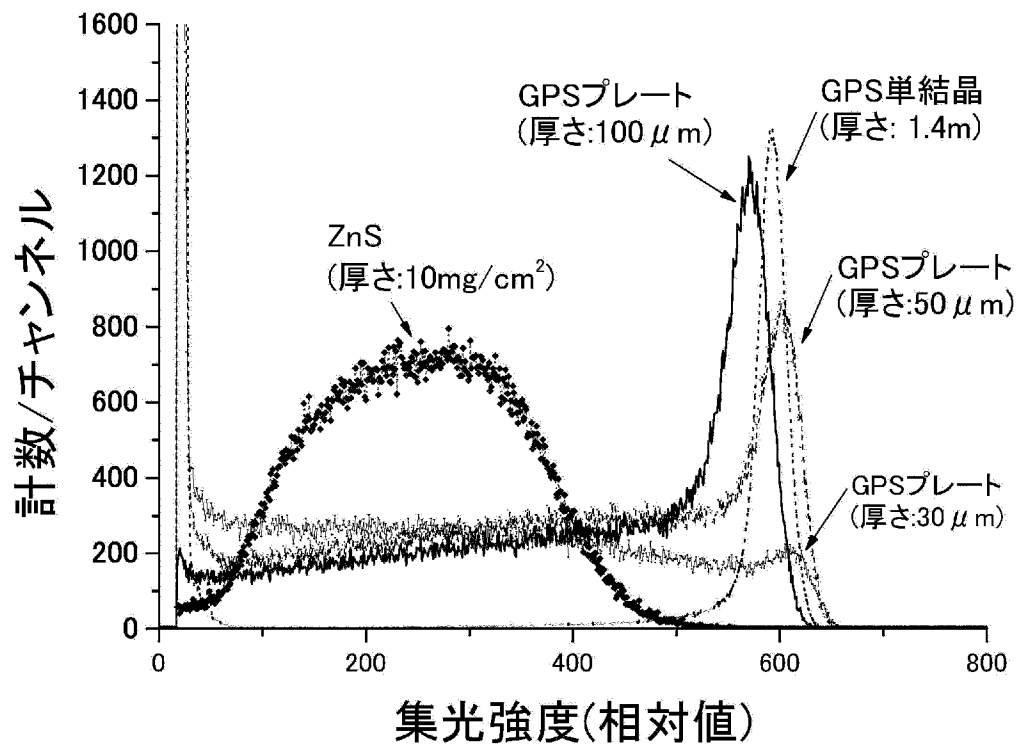
[図10]



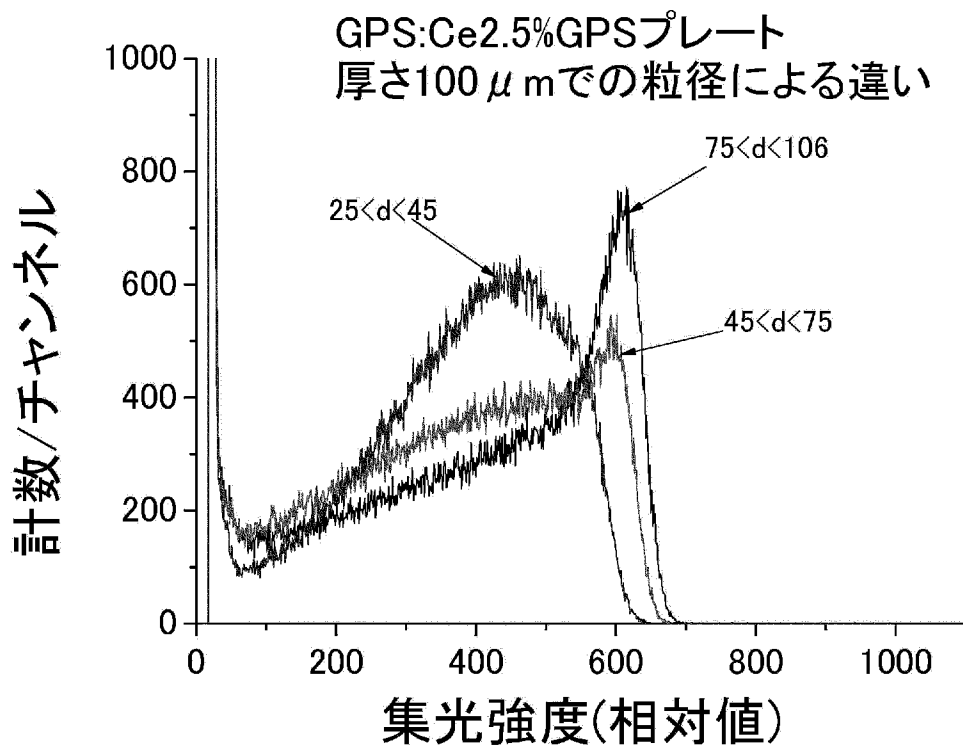
[図11]



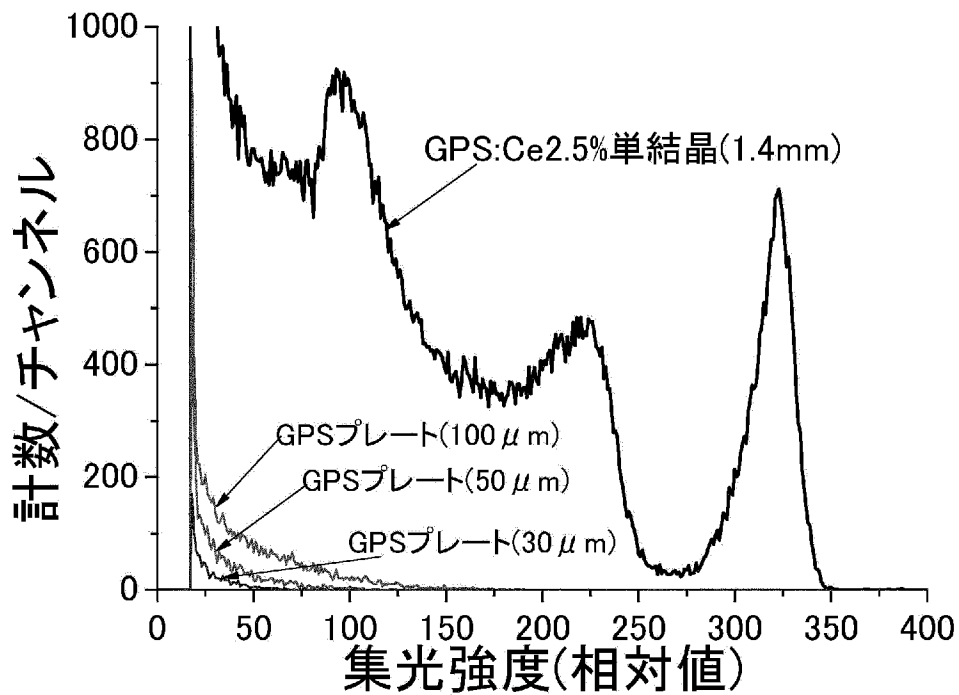
[図12]



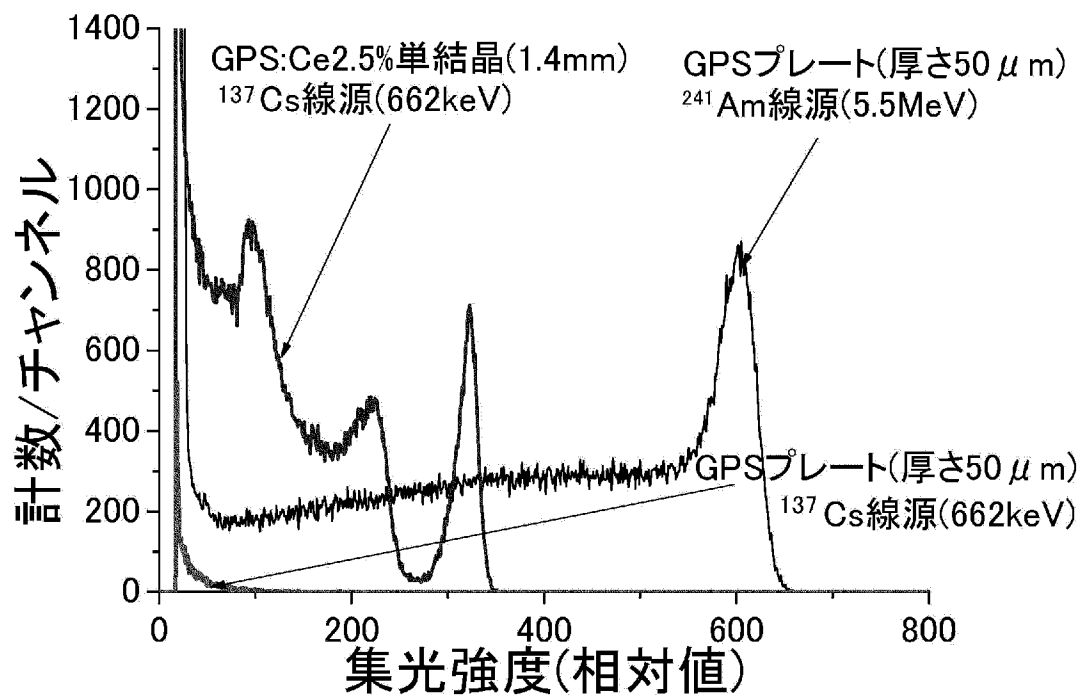
[図13]



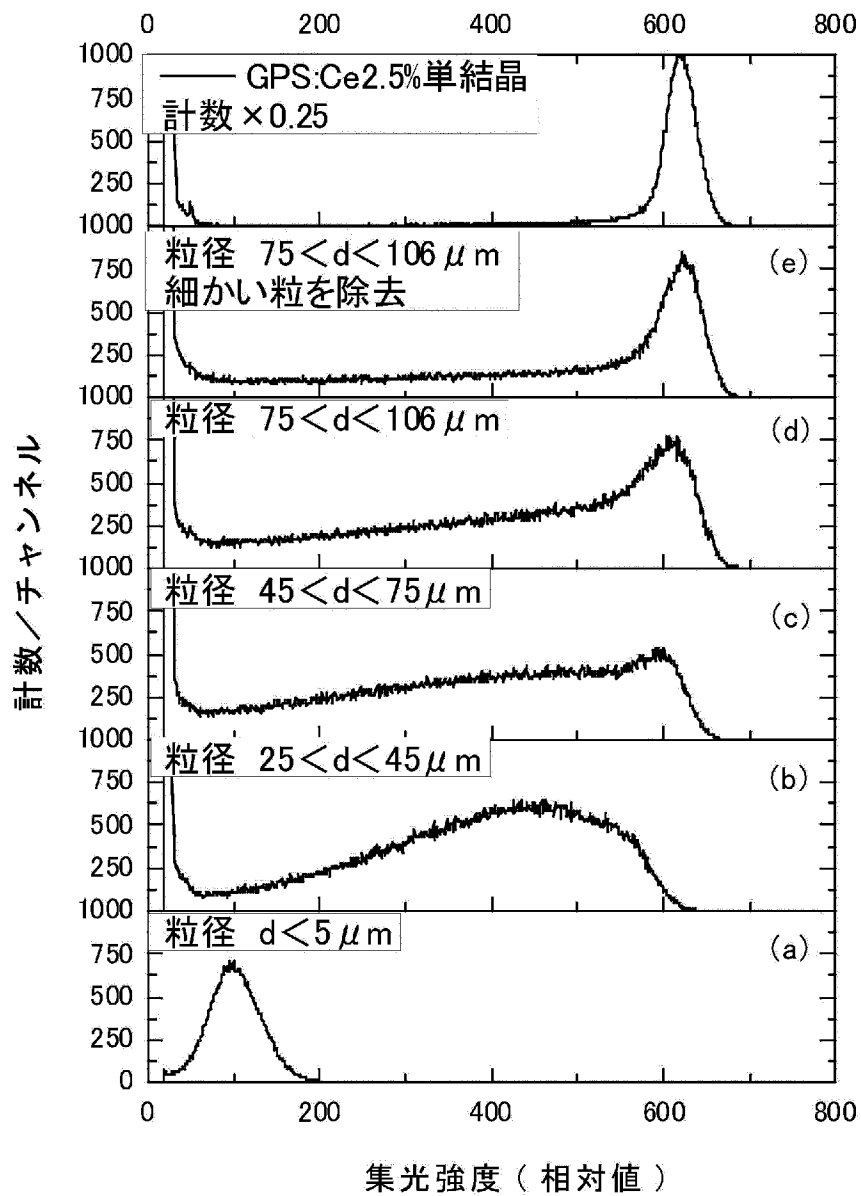
[図14]



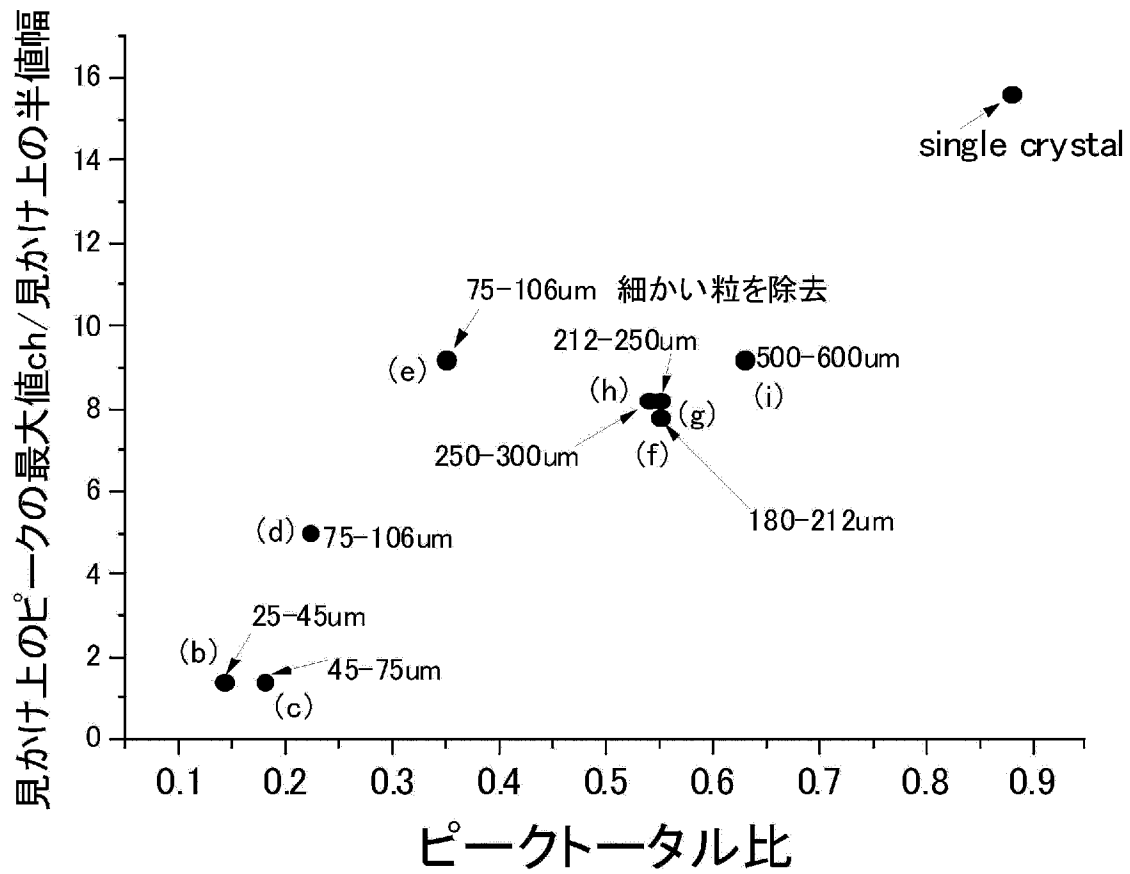
[図15]



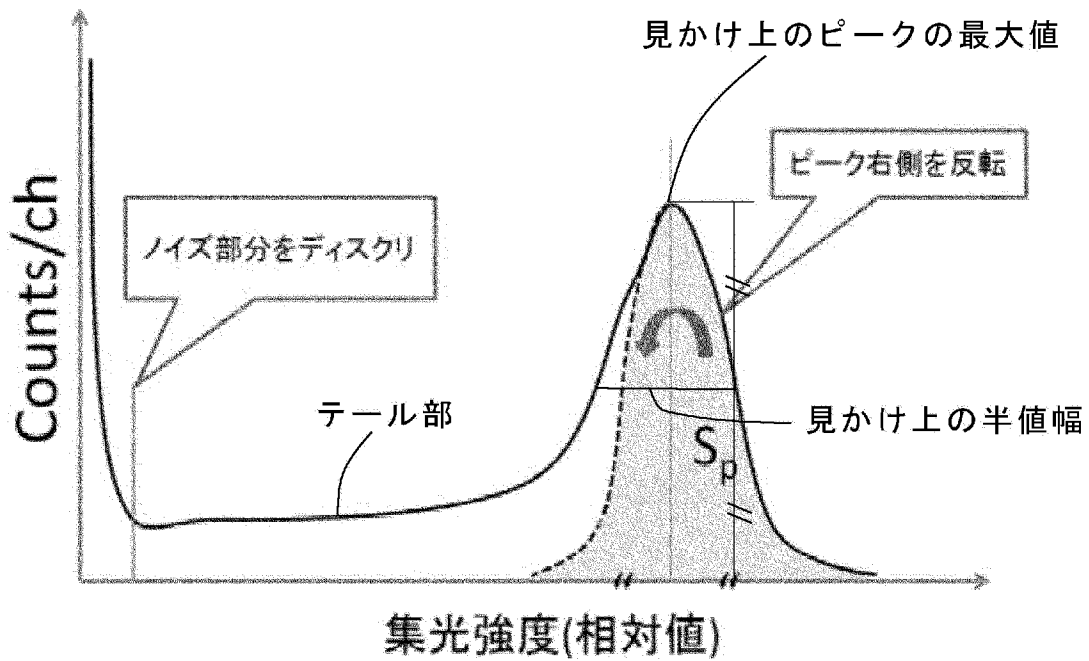
[図16]



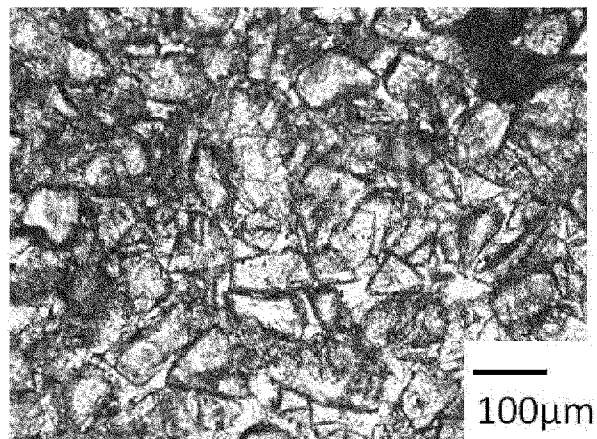
[図17]



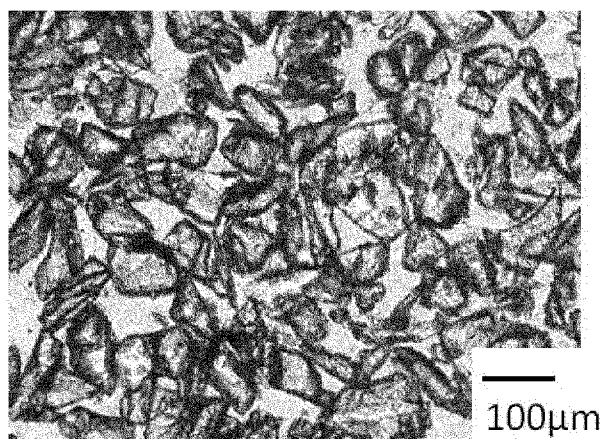
[図18]



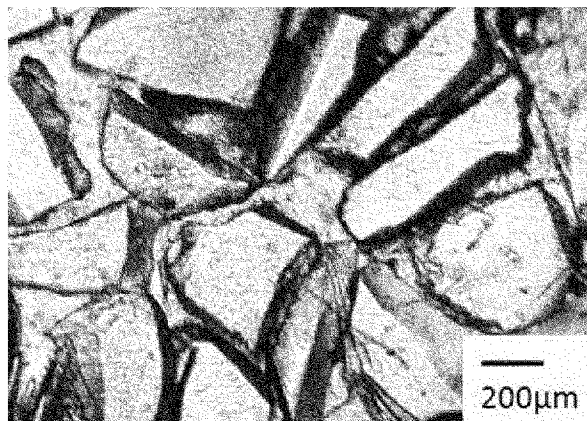
[図19]



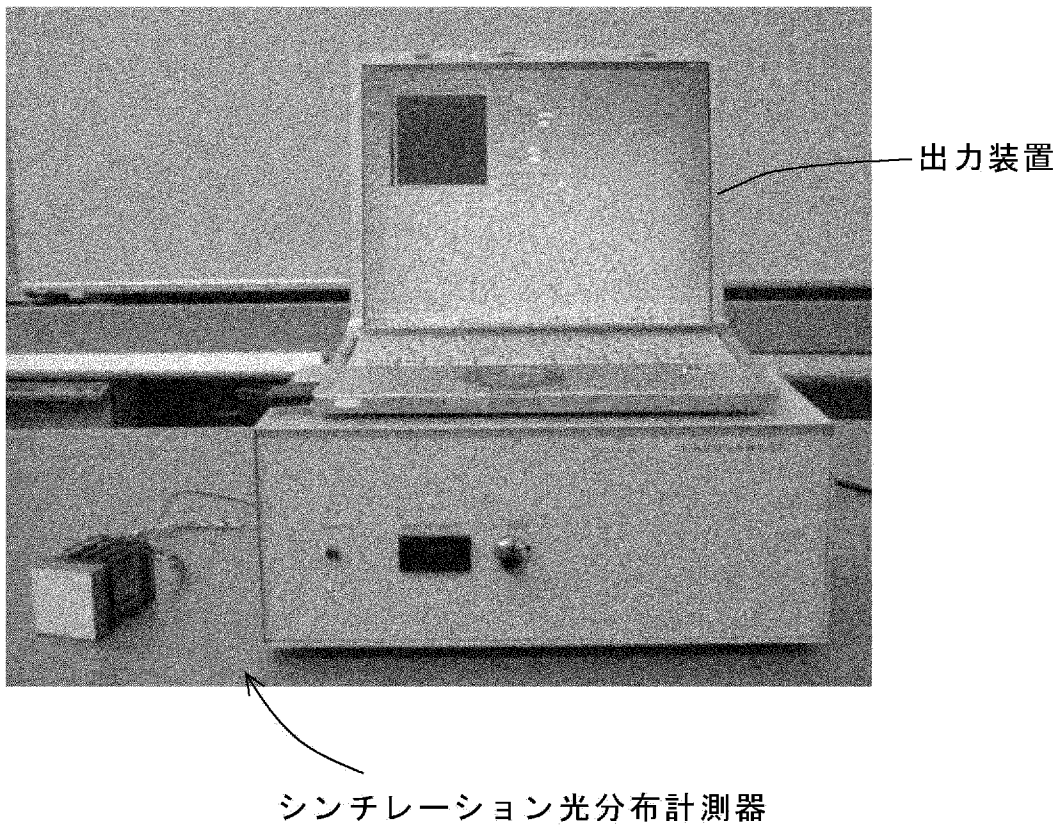
[図20]



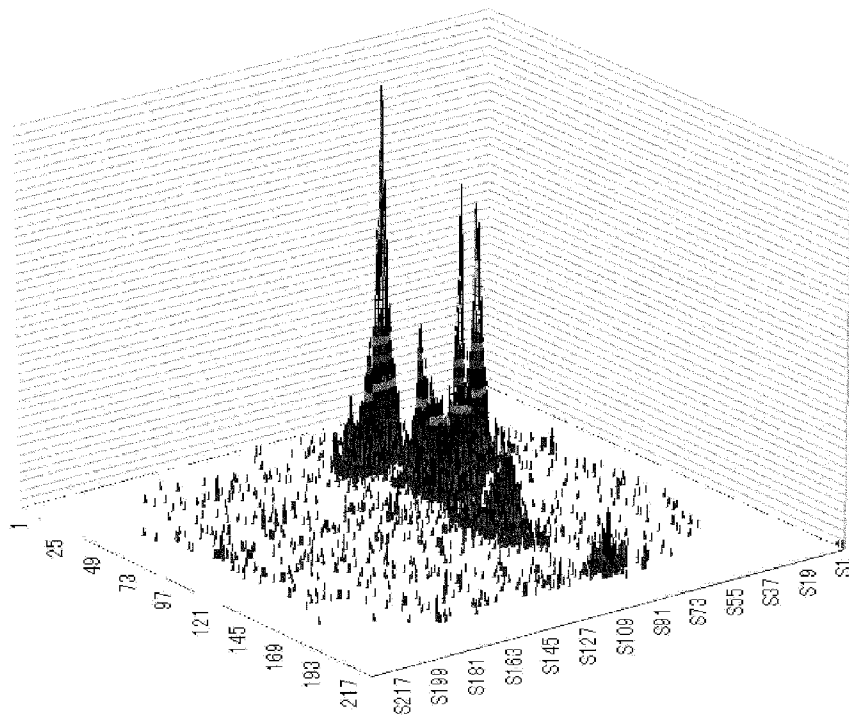
[図21]



[図22]



[図23]

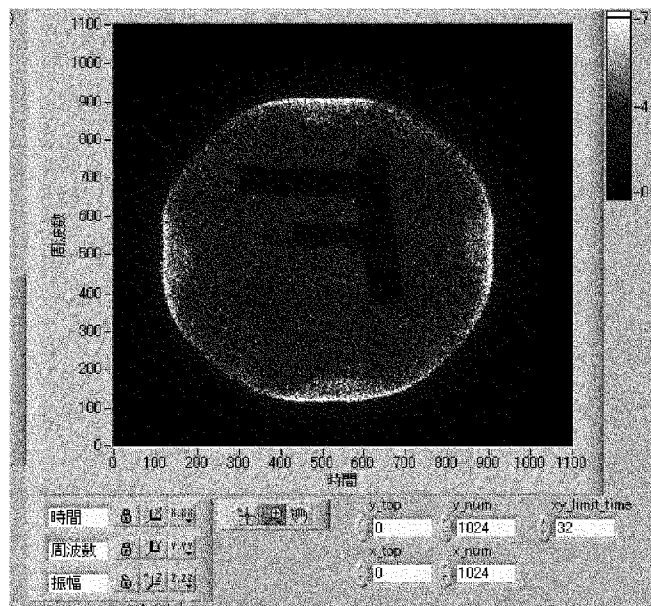


[図24]

カドミウムプレート



[図25]



The screenshot displays the Bruker TopSpin 3.2 software interface. The main window shows a 2D NMR spectrum (F2 vs F1) with a large peak at approximately (4.7, 4.7) ppm. The 1D NMR spectrum (F2 vs F1) is also visible, showing a peak at approximately 4.7 ppm. The interface includes various control panels for acquisition, processing, and visualization.

The screenshot displays the SATNET REUNET graphical user interface. The main window features a large grayscale image of a handwritten digit '4' on the left, a color calibration bar on the right, and a smaller inset image of a handwritten digit '7' on the far right. The interface includes various input fields for file names, addresses, and parameters, as well as buttons for file operations and a 'Print graph' option.

[illegible]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/058621

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21K4/00(2006.01)i, G01T1/20(2006.01)i, G01T3/06(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)

G21K4/00, G01T1/20, G01T3/06

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	WO 2007/099973 A1 (Kabushiki Kaisha Kobe Seikosho), 07 September 2007 (07.09.2007), paragraphs [0048] to [0064] & JP 2007-262381 A & US 2010/0219350 A1 & EP 2006349 A1 & KR 10-2008-0094934 A & CN 101395246 A	5 1-4, 6-13
A	JP 2006-258755 A (Japan Nuclear Cycle Development Institute), 28 September 2006 (28.09.2006), entire text; all drawings & US 2006/0208197 A1	1-4, 6-13

☒ 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
18 June, 2012 (18.06.12)

Date of mailing of the international search report
26 June, 2012 (26.06.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/058621

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/132849 A1 (Toshiba Corp.), 06 November 2008 (06.11.2008), paragraph [0026] (Family: none)	1-4, 6-13
A	JP 2007-145902 A (Hitachi Medical Corp.), 14 June 2007 (14.06.2007), paragraphs [0038] to [0041] (Family: none)	1-4, 6-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G21K4/00(2006.01)i, G01T1/20(2006.01)i, G01T3/06(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 (I P C))

Int.Cl. G21K4/00, G01T1/20, G01T3/06

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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)

JSTPlus (JDreamII)

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	WO 2007/099973 A1 (株式会社神戸製作所) 2007.09.07, 第【0048】-【0064】段落	5
A	& JP 2007-262381 A & US 2010/0219350 A1 & EP 2006349 A1 & KR 10-2008-0094934 A & CN 101395246 A	1 - 4、 6 - 13
A	JP 2006-258755 A (核燃料サイクル開発機構) 2006.09.28, 全文および全図 & US 2006/0208197 A1	1 - 4、 6 - 13

☒ 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

1 8 . 0 6 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 6 . 0 6 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

藤本 加代子

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 3

2 I

4 4 5 8

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
A	WO 2008/132849 A1 (株式会社東芝) 2008.11.06, 第【0026】段落 (ファミリーなし)	1-4、 6-13
A	JP 2007-145902 A (株式会社日立メディコ) 2007.06.14, 第【0038】-【0041】段落 (ファミリーなし)	1-4、 6-13