

(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
2010年6月10日(10.06.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/064594 A1

- (51) 国際特許分類:
C09K 11/08 (2006.01) C09K 11/63 (2006.01)
C09K 11/00 (2006.01) G01T 1/11 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/070094
- (22) 国際出願日: 2009年11月30日(30.11.2009)
- (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 2008-306373 2008年12月1日(01.12.2008) JP
特願 2009-204711 2009年9月4日(04.09.2009) JP
特願 2009-244317 2009年10月23日(23.10.2009) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 学校法人立教学院(RIKKYO GAKUIN) [JP/JP]; 〒1718501 東京都豊島区西池袋3丁目34番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 漆山 秋雄 (URUSHIYAMA, Akio) [JP/JP]; 〒1718501 東京都豊島区西池袋3丁目34番1号 学校法人立教学院内 Tokyo (JP). 眞正 浄光 (SHINSHO, Kiyomitsu) [JP/JP]; 〒1718501 東京都豊島区西池袋3

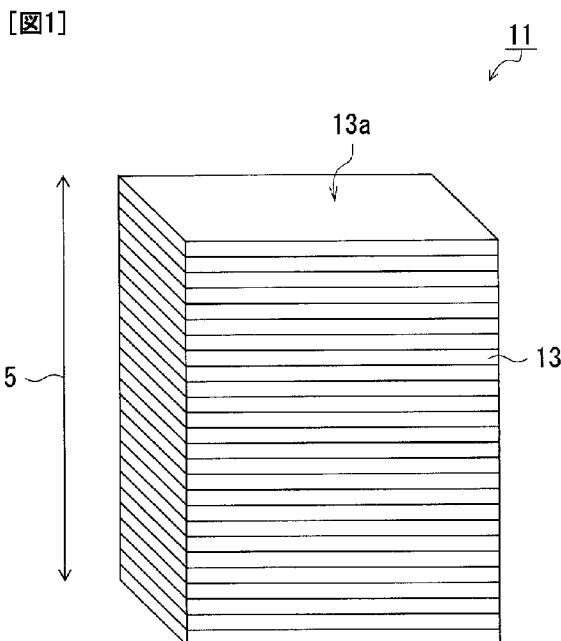
丁目34番1号 学校法人立教学院内 Tokyo (JP). 富澤 祐司 (TOMIZAWA, Yuji) [JP/JP]; 〒1718501 東京都豊島区西池袋3丁目34番1号 学校法人立教学院内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 大垣 孝, 外(OHGAKI, Takashi et al.); 〒1710021 東京都豊島区西池袋3丁目29番3号 梅本ビル4階 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, 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, 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, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) Title: THERMOFLUORESCENT STACK, THERMOFLUORESCENT PLATE, PROCESS FOR PRODUCING THERMOFLUORESCENT STACK, PROCESS FOR PRODUCING THERMOFLUORESCENT PLATE, AND METHOD OF ACQUIRING THREE-DIMENSIONAL RADIATION DOSE DISTRIBUTION

(54) 発明の名称: 熱蛍光積層体、熱蛍光板状体、熱蛍光積層体の製造方法、熱蛍光板状体の製造方法、及び放射線の3次元線量分布の取得方法



(57) Abstract: Provided are a dosimeter which is based on thermofluorescent plates and with which a three-dimensional radiation dose distribution can be acquired, a process for producing the dosimeter, and a method of using the dosimeter. A thermofluorescent stack (11) is composed of a plurality of stacked thermofluorescent plates (13), the thermofluorescent plates (13) being constituted of a thermofluorescent substance containing no aluminum(III) and a heat-resistant resin. The thermofluorescent substance comprises lithium tetraborate as a base and manganese contained as a fluorescent center in the base.

(57) 要約: 熱蛍光板状体を利用した線量計であって、かつ放射線の3次元線量分布を取得することができる線量計、この線量計の製造方法、及びこの線量計の使用方法を提供する。熱蛍光積層体11は、アルミニウム(III)非含有の熱蛍光本体と耐熱性樹脂とで構成されていて、かつ熱蛍光本体が、母体としての四ホウ酸リチウムと、母体に発光中心としてのマンガンとを含む、複数枚の熱蛍光板状体13が積層されて形成されている。

WO 2010/064594 A1

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

添付公開書類:
— 國際調查報告 (條約第 21 條(3))

明 細 書

発明の名称：

熱蛍光積層体、熱蛍光板状体、熱蛍光積層体の製造方法、熱蛍光板状体の製造方法、及び放射線の3次元線量分布の取得方法

技術分野

[0001] この発明は、放射線の3次元線量分布を取得するための熱蛍光積層体、熱蛍光板状体、熱蛍光積層体の製造方法、熱蛍光板状体の製造方法、及び、熱蛍光積層体を使用する、放射線の3次元線量分布の取得方法に関する。

背景技術

[0002] 周知の通り、近年の放射線治療では、3次元原体照射（3D-CRT）治療や強度変調放射線治療（IMRT）などの、高度な定位放射線照射治療が注目されている（例えば、非特許文献1参照）。これらの定位放射線照射治療では、種々のパラメータを例えば治療計画装置を利用して設定した後、照射装置を利用して放射線の照射を行う。ここで設定されるパラメータには、放射線として例えば硬X線などの電磁波や、電子線などの加速粒子線の、照射位置や範囲、または照射線量等がある。定位放射線照射治療によって、例えば、病巣に近接する重要な臓器を避けて、病巣のみに高線量で放射線を照射する等の、精密な治療が実現できる。従って、定位放射線照射治療では、上述した各種パラメータを好適な値に決定することが重要である。このため、照射装置自体の機械的精度、照射装置が具える各種フィルタや線幅拡大器等の管理には、高い精度が求められる。

[0003] そこで、このような放射線治療の実施に際して、設定された各種パラメータ値の検証を行う必要がある。特に、放射線を照射すべき病巣近傍における、放射線の立体的な線量分布に関しては、多くの経験的なデータが必要である。そのために、従来、ポリマーゲル線量計を用いて、治療に用いる放射線の立体的な線量分布、すなわち3次元線量分布の測定が行われている（例えば、非特許文献1参照）。

- [0004] ところで、人体に対する放射線の影響に関するデータを取得する場合には、人体を構成する生体組織と実効原子番号が同程度である線量計、すなわち、組織等価な線量計を利用して照射線量を測定するのが望ましい。このような人体と組織等価な線量計として、シート状、すなわち平板状の熱蛍光板状体が周知である（例えば、特許文献1参照）。
- [0005] この熱蛍光板状体は、熱蛍光性物質、すなわち熱蛍光本体を含有している。熱蛍光本体は、例えば四ホウ酸リチウム等を母体とし、この母体に発光中心としてのマンガンやテルビウムを含んで構成されている。この構成によって、熱蛍光本体の実効原子番号は、人体の実効原子番号に近似な値とされている。そして、熱蛍光板状体は、この熱蛍光本体と、バインダとして機能する耐熱性樹脂とから構成されている。
- [0006] ここで、人体と組織等価に調整された熱蛍光板状体では、放射線が照射された場合に、例えば光電作用、コンプトン効果、電子対生成作用等の作用が、人体と同程度に生じる。従って、組織等価な熱蛍光板状体を線量計として用いた場合には、種々の補正を行うことなく、得られた測定値を以って、人体に対する放射線の被曝線量に関するデータを取得することができる。
- [0007] この特許文献1に開示の熱蛍光板状体は、既に説明したようにシート状、すなわち平板状の板状体である。そして、この熱蛍光板状体に対して放射線を照射し、その後、加熱することによって、熱蛍光板状体の被曝箇所に発生する熱蛍光の、放射線が照射された面に沿った光強度分布が得られる。周知の通り、熱蛍光の光強度と、被曝線量には一定の対応関係があるので、この得られた光強度分布を以って、放射線が照射された面に沿った、放射線の平面的な被曝線量分布（以下、単に線量分布とも称する）、すなわち2次元線量分布を取得することができる。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特開昭61-269100号公報

非特許文献

- [0009] 非特許文献1：日本放射線技術学会雑誌、第58巻第6号「IMRT（強度変調放射線治療）における線量検証」2002年6月、p. 761～772
非特許文献2：第56回応用物理学関係連合講演会講演予稿集、p. 179、講演番号1a-ZC-9「熱ルミネセンス素子Li₂B₄O₇系の高感度化」2009年3月、富澤祐司、眞正浄光、漆山秋雄

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0010] しかしながら、非特許文献1に開示されているポリマーゲル線量計は、非可逆的な線量計であるため、一つのポリマーゲル線量計で一度の測定しか行うことができない。また、ポリマーゲル線量計は、品質保証期間が短く、保存及び品質管理が困難である。
- [0011] 一方、特許文献1に開示されている熱蛍光板状体は、上述したポリマーゲル線量計と比して、保存及び品質管理が容易であり、かつ使用に際しての設備が簡易である。また、熱蛍光板状体は、一つの熱蛍光板状体で繰り返し測定を行うことが可能である点で、ポリマーゲル線量計とは異なっている。これらの利点から、熱蛍光板状体は、ポリマーゲル線量計と比して、コストの低減及び汎用性において有利な線量計である。
- [0012] しかしながら、この熱蛍光板状体は、上述したように、放射線が照射された面における、放射線の2次元線量分布を測定することしかできない。そのため、この熱蛍光板状体では、放射線の3次元線量分布を測定することができず、上述した放射線治療の各種パラメータを決定するための十分なデータを得ることができない。

課題を解決するための手段

- [0013] そこで、この出願に係る発明者らは、研究を重ねた結果、熱蛍光物質で熱蛍光板状体を形成し、これら熱蛍光板状体を立体的に積層して得られる熱蛍光積層体に放射線照射を行えば、放射線の3次元線量分布を得ることができるとに想到した。
- [0014] すなわち、熱蛍光積層体に対して放射線を照射した後に、それぞれの熱蛍

光板状体にばらしてから、各熱蛍光板状体を加熱する。そして、各熱蛍光板状体について、加熱により発生する熱蛍光の光強度分布を測定する。上述したように、熱蛍光の光強度と被曝線量とには一定の対応関係があるため、測定された光強度分布を以って、実質的な線量分布を取得することができる。そして、各熱蛍光板状体から得られた各線量分布を、元の熱蛍光積層体に照射した放射線の線量分布として復元すれば、立体的な、すなわち 3 次元線量分布を取得できる。

[0015] そこで、この発明の目的は、熱蛍光板状体を利用した線量計であって、放射線の 3 次元線量分布を取得するための熱蛍光積層体、この熱蛍光積層体に用いて好適な熱蛍光板状体、この線量計の製造方法として熱蛍光積層体及び熱蛍光板状体の製造方法、及び、この線量計を使用する、放射線の 3 次元線量分布の取得方法を提供することにある。

[0016] この発明は、独立請求項で定義される。また、各従属請求項は発明の実施の形態を構成する。

[0017] 上述の目的を達成するために、この発明の第 1 の要旨による熱蛍光板状体の製造方法は、以下の各工程を含んでいる。

[0018] まず、四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、及び酸化アルミニウムを混合して第 1 混合体を形成する。

[0019] 次に、第 1 混合体を熱処理することによって第 1 焼結体を形成した後、この第 1 焼結体を粉砕して粉砕体にする。

[0020] 次に、粉砕体と活性炭とを混合して第 2 混合体を形成した後、この第 2 混合体を平板状に圧迫成型することによって板状体を形成する。

[0021] 次に、板状体を熱処理することによって、第 2 焼結体としての熱蛍光板状体を形成する。

[0022] また、この発明の第 2 の要旨による熱蛍光板状体の製造方法は、以下の各工程を含んでいる。

[0023] まず、四ホウ酸リチウム及び酸化マンガン（IV）を混合して第 1 混合体を形成する。

- [0024] 次に、第1混合体を熱処理することによって第1焼結体を形成した後、この第1焼結体を粉砕して粉砕体にする。
- [0025] 次に、粉砕体と、四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）及び酸化アルミニウムを混合して形成された第3混合体と、活性炭とを混合して第2混合体を形成した後、この第2混合体を平板状に圧迫成型することによって板状体を形成する。
- [0026] 次に、板状体を熱処理することによって、第2焼結体としての熱蛍光板状体を形成する。
- [0027] また、この発明の第3の要旨による熱蛍光積層体の製造方法は、以下の工程を含んでいる。
- [0028] まず、第1の要旨による熱蛍光板状体の製造方法を用いて製造された、熱蛍光板状体を複数枚用意する。
- [0029] 次に、複数枚の熱蛍光板状体を積層して、熱蛍光積層体を形成する。
- [0030] また、この発明の第4の要旨による放射線の3次元線量分布の取得方法は、上述の第3の要旨による製造方法を用いて製造された熱蛍光積層体を使用する方法であり、以下の各過程を含んでいる。
- [0031] まず、熱蛍光積層体に対して放射線を照射する。
- [0032] 次に、熱蛍光積層体を構成する複数の熱蛍光板状体の各々から加熱により発生する熱蛍光を、複数の熱蛍光板状体の積層面に直交する方向からそれぞれ撮影して、放射線の線量分布に対応した、積層面に沿った放射線の平面的な光強度分布をそれぞれ取得する。
- [0033] 次に、取得したそれぞれの光強度分布を、積層方向に、積層順に順次重ね合わせることによって、熱蛍光積層体における、立体的な光強度分布に対応した、放射線の立体的な線量分布を取得する。

発明の効果

- [0034] この発明の第1及び第2の要旨による熱蛍光板状体の製造方法では、四ホウ酸リチウムに酸化アルミニウムを混合させるので、製造される熱蛍光板状体において、母体となる四ホウ酸リチウムにアルミニウム（III）を含有

させることができる。その結果、熱蛍光板状体を高い発光強度で発光させることができる。従って、より高感度で放射線の線量分布を得ることができる。

[0035] さらに、第1及び第2の要旨による熱蛍光板状体の製造方法では、母体となる四ホウ酸リチウムにアルミニウム（I I I）を含有させることによって、製造される熱蛍光板状体の機械的強度を増加することができる。

[0036] また、この発明の第3の要旨による熱蛍光積層体の製造方法では、上述した第1の要旨による製造方法を用いて製造された熱蛍光板状体を複数枚積層することによって、放射線の3次元線量分布を取得可能な熱蛍光積層体を得ることができる。

[0037] 第3の要旨による製造方法により製造された熱蛍光積層体は、熱蛍光板状体が複数枚積層されることによって形成されている。既に説明したように、熱蛍光板状体の光強度と被曝線量とは一定の対応関係があることは周知である。この関係を前提とすると、熱蛍光板状体を用いると、放射線が照射された面（被照射面）に沿った、放射線の平面的な線量分布、すなわち放射線の被照射面を含む面内の2次元線量分布を測定することができる。従って、熱蛍光積層体では、この熱蛍光積層体が放射線で照射されたとき、その後この熱蛍光積層体を構成する各熱蛍光板状体を加熱することにより、各熱蛍光板状体から発生する熱蛍光の光強度分布が測定される。この光強度分布から、放射線の2次元線量分布として、各熱蛍光板状体の、これら熱蛍光板状体の積層方向に直交する面、すなわち積層面に沿った各2次元線量分布を得ることができる。そして、得られた各2次元線量分布を、各熱蛍光板状体の積層方向に、積層順に順次重ね合わせることによって、熱蛍光積層体に対応する、照射された放射線の3次元線量分布を取得することができる。

[0038] また、この発明の第3の要旨による製造方法によって製造された熱蛍光積層体は、熱蛍光板状体が、複数枚積層されることによって形成されている。従って、この熱蛍光積層体は、熱蛍光板状体によって構成された、コストの低減及び汎用性において有利な線量計であり、かつ放射線の3次元線量分布

を取得する線量計として使用することができる。

- [0039] さらに、既に説明したように、第1及び第2の要旨による製造方法により製造された熱蛍光板状体は、放射線に対して、高感度な線量分布が得られ、かつ良好な機械的強度を有している。従って、この熱蛍光積層体は、高感度で放射線の3次元線量分布を取得できるとともに、良好な機械的強度を有している。

図面の簡単な説明

- [0040] [図1]熱蛍光積層体を説明するための図であり、この実施の形態に係る熱蛍光積層体を概略的に示した斜視図である。
- [図2] (A) 及び (B) は、熱蛍光積層体の製造方法を説明する工程図である。
- [図3]熱蛍光本体の発光強度と、アルミニウム (I I I) の含有量との関係を確認するための図である。
- [図4]熱蛍光本体の発光強度と、アルミニウム (I I I) 及び酸化ホウ素の含有量との関係を確認するための図である。
- [図5]第3実施形態による製造方法によって製造された熱蛍光板状体の熱蛍光時における発光の様子を示す写真である。
- [図6]第3実施形態による製造方法によって製造された熱蛍光板状体の被爆箇所における発光強度を示す図である。
- [図7]第3実施形態による製造方法によって製造された熱蛍光板状体における発光強度と線量との関係を示す図である。
- [図8]第3実施形態による製造方法によって製造された熱蛍光板状体の発光強度と、第1実施形態による製造方法によって製造された熱蛍光板状体の発光強度とを比較するための図である。
- [図9]放射線の3次元線量分布の取得方法を説明する、概略的な斜視図である。
- [図10]放射線の3次元線量分布の取得方法を説明する、概略的な斜視図である。

[図11] (A) ~ (E) は、放射線の3次元線量分布の取得方法において取得される、熱蛍光板状体からの平面的な光強度分布に関する、被曝線量分布に対応する画像を示す図である。

[図12] 放射線の3次元線量分布の取得方法を説明する、概略的な斜視図である。

[図13] 熱蛍光の平面的な光強度分布に関する、被曝線量分布に対応する画像の、他の例を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0041] 以下、図面を参照して、この発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図は、この発明が理解できる程度に、各構成要素の形状、大きさ、及び配置関係を概略的に示してあるに過ぎない。また、以下に説明する実施の形態は、単なる好適例にすぎず、従って、この発明の構成は、以下に説明する図示の構成例のみに何ら限定されるものではなく、この発明の範囲を逸脱することなく、多くの変形や変更を行い得ることが明らかである。

[0042] (熱蛍光積層体)

図1を参照して、熱蛍光板状体を利用した線量計としての熱蛍光積層体について説明する。この実施の形態に係る熱蛍光積層体は、放射線の3次元線量分布を取得することができる線量計であって、複数枚の熱蛍光板状体が積層されて形成されている。

[0043] 図1は、この実施の形態に係る熱蛍光積層体を説明するための図であり、この実施の形態に係る熱蛍光積層体を概略的に示した斜視図である。

[0044] この実施の形態に係る熱蛍光積層体11は、図1に示すように複数枚の熱蛍光板状体13が積層されて形成されている。

[0045] この実施の形態に係る熱蛍光積層体11は、主に放射線治療に用いる放射線の人体に対する影響を検証するために、用いられる。既に説明したように、人体に対する放射線の影響に関するデータを取得する場合には、人体を構成する生体組織と組織等価な、すなわち実効原子番号が同程度である線量計を利用して測定が行われる。そして、人体の筋肉組織の実効原子番号は、7

42程度である（例えば、「医療科学社 改訂版 放射線計測学 日本放射線技術学会監修 P. 136（ファイルNo. 1-2）」参照）。

[0046] そこで、この実施の形態では、実効原子番号が7.42に近似な、すなわち人体と組織等価に調整された熱蛍光板状体13を以って、熱蛍光積層体11を構成する。そのために、熱蛍光板状体13は、熱蛍光物質としての熱蛍光本体を含有している。熱蛍光本体は、母体としての四ホウ酸リチウムと、この母体に添加された、発光中心としてのマンガンとを含んでいる。母体としての四ホウ酸リチウムの実効原子番号が7.24程度であるので、熱蛍光板状体13中の熱蛍光本体は、実効原子番号が7.42に近似な値となる。

[0047] 熱蛍光板状体13の詳細については後述するが、放射線が照射された熱蛍光板状体を加熱すると、被照射箇所、すなわち被曝箇所が熱蛍光を発生する。この熱蛍光の光強度は、既に説明したように、被曝箇所における被曝線量と一定の関係にある。従って、この熱蛍光板状体13の、照射された面、すなわち被照射面に沿った、熱蛍光の光強度分布を測定すれば、この2次元光強度分布に対応した、被照射面を含む面内での2次元線量分布を取得することができる。なお、2次元光強度分布の測定、及び対応する2次元線量分布の取得については、後述する。

[0048] この実施の形態では、放射線の3次元線量分布を測定するために、複数枚の熱蛍光板状体13を積層させて熱蛍光積層体11を構成する。熱蛍光積層体11を構成する熱蛍光板状体13の数、及び各熱蛍光板状体13の、積層方向15に直交する面、すなわち積層面13aの平面形状は、例えば、測定する放射線の種類やエネルギー、照射位置や範囲、または用途に応じて、適宜設定される。なお、図1では、26枚の熱蛍光板状体13を積層し、かつ各熱蛍光板状体13の積層面13aの平面形状を長方形とした、熱蛍光積層体11の構成例を示している。また、各熱蛍光板状体13から得られる各2次元線量分布から、詳細な3次元線量分布を取得するために、各熱蛍光板状体13の厚み、すなわち熱蛍光積層体11の積層方向15に沿った厚みを、例えば2mm程度とするのが好ましい。

[0049] この実施の形態に係る熱蛍光積層体 1 1 では、これに放射線が照射された後に、この熱蛍光積層体 1 1 を、これを構成する各熱蛍光板状体 1 3 に一旦ばらす。ばらされた各熱蛍光板状体 1 3 を加熱すると、熱蛍光が発生する。熱蛍光板状体 1 3 ごとに、上述した熱蛍光の 2 次元光強度分布をそれぞれ測定すると、これら 2 次元光強度分布から、これら 2 次元光強度分布に対応する、放射線の 2 次元線量分布をそれぞれ得ることができる。このとき、得られる 2 次元線量分布は、各熱蛍光板状体 1 3 の積層面 1 3 a に沿った各 2 次元線量分布である。そして、得られた各 2 次元線量分布を、各熱蛍光板状体 1 1 の積層方向 1 5 に、積層順に順次重ね合わせる。この積層は放射線を照射された熱蛍光積層体における 3 次元線量分布を復元するものであり、よって、照射された放射線の 3 次元線量分布を実質上取得することができる。なお、この熱蛍光積層体 1 1 を用いた、放射線の 3 次元線量分布の具体的な取得方法については後に詳細に説明する。

[0050] また、熱蛍光積層体 1 1 は、保存及び品質管理が容易であり、かつ使用に際しての設備が簡易である、熱蛍光板状体 1 3 によって構成されている。そのため、この実施の形態に係る熱蛍光積層体 1 1 は、上述したポリマーゲル線量計と比して、コストの低減及び汎用性において有利である。

[0051] 以上説明したこの実施の形態に係る熱蛍光積層体 1 1 の製造方法について、図 2 (A) 及び (B) を参照して説明する。この製造方法は、第 1 工程及び第 2 工程を含んでいる。以下、第 1 工程から順に各工程につき説明する。

[0052] 図 2 (A) 及び (B) は、熱蛍光積層体 1 1 の製造方法を説明する工程図である。これらの各図は、それぞれ、各製造段階で得られた構造体を概略的な斜視図で示してある。

[0053] まず、第 1 工程では、図 2 (A) に示すように複数枚の熱蛍光板状体 1 3 を用意する。

[0054] これら各熱蛍光板状体 1 3 は、上述したように、熱蛍光本体の実効原子番号が、人体の実効原子番号に近似な値に調整されている。なお、熱蛍光板状体については後に詳細に説明する。また、この実施の形態では、各熱蛍光板

状体 1 3 の厚みを、例えば 2 mm 程度とする。そして、この第 1 工程において用意する熱蛍光板状体 1 3 の数、及び積層面 1 3 a の平面形状を、例えば、測定する放射線の種類やエネルギー、照射位置や範囲、または用途に応じて、適宜設定しておく。この熱蛍光板状体 1 3 は、ダイヤモンド切削器具などによって裁断することが可能であるため、予め積層面 1 3 a の平面形状を、測定する放射線に応じて適宜成型しておく。なお、図 2 (A) では、各熱蛍光板状体 1 3 の積層面 1 3 a の平面形状を長方形とした場合の構成例を示している。

[0055] 次に、第 2 工程では、複数枚の熱蛍光板状体 1 3 を積層して、熱蛍光積層体 1 1 を形成して図 2 (B) に示すような構造体を得る。

[0056] この実施の形態では、第 1 工程において用意した複数の熱蛍光板状体 1 3 を、例えば接着剤等を用いることなく、各熱蛍光板状体 1 3 の積層面 1 3 a を直接重ね合わせて、順次積層させて熱蛍光積層体 1 1 を得る。

[0057] なお、仮に、用意した各熱蛍光板状体 1 3 の密度が、人体に近似な値から大きく外れている場合、例えば、 $1 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ の範囲から外れている場合には、第 2 工程において、各熱蛍光板状体 1 3 間に、例えば平板状のスペーサを挟み込むことによって、熱蛍光積層体 1 1 全体の密度を $1 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ の範囲内の値に調整してもよい。

[0058] (熱蛍光板状体)

熱蛍光板状体の好適例について説明する。

[0059] ここで説明する熱蛍光板状体は、平板状である。

[0060] この熱蛍光板状体は、母体としての四ホウ酸リチウムと、この母体中に存在するマンガンを及びアルミニウム (III) とを含む熱蛍光本体を以って構成されている。

[0061] 母体に含まれるマンガンは、熱蛍光体、すなわち熱蛍光板状体において、発光中心として作用する。なお、この実施の形態では、熱蛍光板状体を製造する際に、四ホウ酸リチウムに、酸化マンガンを (IV) を添加することによって、母体にマンガンを含有させる。なお、発光中心であるマンガンは、単

体のマンガンとしてのみではなく、各種酸化数のマンガン、または熱蛍光本体に含まれるその他の物質との化合物等の状態で含まれている場合もあり得る。

[0062] また、アルミニウム（I I I）は、熱蛍光板状体の感度を高める目的で含まれている。すなわち、この実施の形態に係る熱蛍光板状体では、母体としての四ホウ酸リチウムにアルミニウム（I I I）を含有させることによって、熱蛍光板状体を暗箱中において加熱し、被曝箇所を発光させる際に、より高い発光強度で被曝箇所を発光させることができる。従って、この実施の形態に係る熱蛍光板状体では、アルミニウム（I I I）が含まれていない熱蛍光板状体よりも高感度で放射線の線量分布を得ることができる。

[0063] また、アルミニウム（I I I）は、熱蛍光本体の機械的強度を増加させる作用を呈する。その結果、この実施の形態に係る熱蛍光板状体では、母体としての四ホウ酸リチウムにアルミニウム（I I I）を含有させることによって、例えば耐熱性樹脂等のバインダを用いることなく、熱蛍光本体を以って当該熱蛍光板状体が構成されている。

[0064] なお、この実施の形態では、熱蛍光板状体を製造する際に、四ホウ酸リチウムに、酸化アルミニウム（I I I）を添加することによって、母体にアルミニウム（I I I）を含有させる。なお、アルミニウム（I I I）は、例えば、酸化アルミニウム（I I I）、または熱蛍光本体に含まれるその他の物質との化合物等の状態で含まれている場合もあり得る。

[0065] ここで、発明者らは、熱蛍光本体がアルミニウム（I I I）を含むことによって、発光強度が増加することを確認するための実験を行った。この実験では、母体としての四ホウ酸リチウムに、互いに異なる添加量で酸化アルミニウムを添加し、焼結体とした後粉砕したものを、複数の試料として用意した。そして、各試料に対して8. 1 k e Vのエネルギーで約5 0 G yの線量のX線を照射した後、暗箱中において昇温速度0. 5°C/s e cで加熱し、それぞれの被曝箇所からの発光強度を測定した。なお、各試料には、発光中心として作用させるために、酸化マンガ（I V）を四ホウ酸リチウムに対

して、0.036wt%の割合で添加した。

[0066] 図3は、この実験の結果を示す図であり、熱蛍光本体の発光強度と、アルミニウム（III）の含有量との関係を確認するための図である。図3において、縦軸は発光強度の相対値を、また、横軸は温度（℃）を示している。

[0067] 図3において、曲線Iは、酸化アルミニウムが無添加の試料についての結果を示している。曲線IIは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを0.2wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線IIIは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを0.4wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線IVは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを0.6wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線Vは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを0.8wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線VIは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを1.0wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線VIIは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを2.0wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線VIIIは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを4.0wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線IXは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを6.0wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線Xは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを8.0wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。

[0068] 図3の結果から明らかなように、酸化アルミニウムを0.2wt%の割合で添加した試料（曲線II）、0.4wt%の割合で添加した試料（曲線III）、0.6wt%の割合で添加した試料（曲線IV）、0.8wt%の割合で添加した試料（曲線V）、1.0wt%の割合で添加した試料（曲線VI）、2.0wt%の割合で添加した試料（曲線VII）、及び4.0wt%の割合で添加した試料（曲線VIII）には、それぞれ酸化アルミニウムが無添加の試料（曲線I）と比して、高いピークが現れている。この結果

から明らかなように、この実施の形態に係る熱蛍光板状体において、母体としての四ホウ酸リチウムにアルミニウム（I I I）を含有させることが、発光強度を増加させるために有効であることが確認された。なお、特願2008-306373号の発明に係る発明者らは、この特願2008-306373号の出願後に、第56回応用物理学関係連合講演会（2009年3月30日-4月2日、筑波大学筑波キャンパス）において、熱蛍光板状体にアルミニウム（I I I）を含有させることによって、熱蛍光板状体の発光強度を増強させることが可能である点について発表している（例えば非特許文献2参照）。

[0069] ところで、母体に添加するアルミニウム（I I I）は、上述したように、熱蛍光本体、すなわちこの実施の形態に係る熱蛍光板状体の発光強度及び機械的強度を増加させる効果を奏するが、アルミニウム（I I I）の含有量と、これら発光強度及び機械的強度増加の効果とは、以下のような依存関係にある。

[0070] すなわち、図3から明らかなように、熱蛍光本体の発光強度は、アルミニウム（I I I）の含有量に応じて増加するが、過剰に添加した場合には発光強度が低下する。例えば、図3の結果を得た上述の実験によれば、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを6.0wt%の割合で添加した試料（曲線IX）、及び酸化アルミニウムを8.0wt%の割合で添加した試料（曲線X）では、酸化アルミニウムが無添加の試料（曲線I）と比して、発光強度のピークの値が低下している。この結果から、熱蛍光本体の発光強度を増加するための、アルミニウム（I I I）の含有量には最適値が存在することが分かる。そして、図3の結果を得た上述の実験では、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを0.6wt%の割合で添加した試料（曲線IV）に、250°Cにおいて最も高い発光強度のピークが現れた。従って、この実験から、四ホウ酸リチウムを母体とし、かつ発光中心としてマンガンを含む熱蛍光本体の発光強度を増加するためには、アルミニウム（I I I）を、酸化アルミニウムの状態で、四ホウ酸リチウムに対して0.6wt%の

割合で添加するのが最適といえる。

[0071] これに対して、熱蛍光本体の機械的強度は、アルミニウム（I I I）の含有量に対して、単純に比例して増加する。従って、熱蛍光板状体の機械的強度をより増加させるためには、高い含有量でアルミニウム（I I I）を含有させる必要がある。しかし、アルミニウム（I I I）の含有量が上述した発光強度についての最適値を超えた場合には、発光強度を増加させる効果を効率良く得ることができない。

[0072] そこで、この発明に係る発明者らは、熱蛍光本体、すなわちこの実施の形態に係る熱蛍光板状体の機械的強度をより増加させる目的で、より大きな含有量でアルミニウム（I I I）を添加しつつ、かつ発光強度を低下させないために、母体である四ホウ酸リチウムに、酸化ホウ素を含有させることが有効であることを見出した。すなわち、母体に酸化ホウ素を含有させることによって、上述した、発光強度を増加させるための最適値が、大きくなることが確認された。

[0073] ここで、発明者らは、熱蛍光本体が酸化ホウ素を含むことによって、発光強度が増加することを確認するための実験を行った。この実験では、母体としての四ホウ酸リチウムに、互いに異なる添加量で酸化アルミニウム及び酸化ホウ素を添加し焼結体とした後、粉碎したものを、複数の試料として用意した。そして、各試料に対して8. 1 k e Vのエネルギーで約5 0 G yの線量のX線を照射した後、暗箱中において昇温速度0. 5°C/s e cで加熱し、それぞれの被曝箇所からの発光強度を測定した。なお、各試料には、図3の結果を得た上述の実験と同様に、発光中心として作用させるために、酸化マンガン（I V）を四ホウ酸リチウムに対して、0. 0 3 6 w t %の割合で添加した。

[0074] 図4は、この実験の結果を示す図であり、熱蛍光本体の発光強度と、アルミニウム（I I I）及び酸化ホウ素の含有量との関係を確認するための図である。図4において、縦軸は発光強度の相対値を、また、横軸は温度（°C）を示している。

[0075] 図4において、曲線Iは、酸化アルミニウム及び酸化ホウ素が無添加の試料についての結果を示している。曲線IIは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを0.2wt%、また、酸化ホウ素を0.6wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線IIIは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを0.4wt%、また、酸化ホウ素を1.2wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線IVは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを0.6wt%、また、酸化ホウ素を1.8wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線Vは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを1.0wt%、また、酸化ホウ素を3.0wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線VIは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを2.0wt%、また、酸化ホウ素を6.0wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線VIIは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを4.0wt%、また、酸化ホウ素を12wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線VIIIは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを6.0wt%、また、酸化ホウ素を18wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。曲線IXは、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを8.0wt%、また、酸化ホウ素を24wt%の割合で添加した試料についての結果を示している。

[0076] この実験によって得られた図4では、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを2.0wt%、また、酸化ホウ素を6.0wt%の割合で添加した試料（曲線VI）に、253°Cにおいて最も高い発光強度のピークが現れている。従って、この実験では、酸化ホウ素を熱蛍光本体に添加した場合には、酸化アルミニウムの状態で、四ホウ酸リチウムに対して2.0wt%の割合で添加するのが最適といえる。ここで、上述した図3に係る、酸化ホウ素を非含有の試料を用いた実験では、発光強度増加のための酸化アルミニウムの最適な添加量は0.6wt%であった。従って、これら図3及び図4の結果から、母体に酸化ホウ素を含有させることによって、発光強度を増加

させるための、アルミニウム（I I I）の添加量の最適値が、大きくなることが確認された。従って、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、母体に酸化ホウ素を含有しているのが好ましい。なお、これらアルミニウム（I I I）及び酸化ホウ素の好適な添加量については、後に詳細に説明する。

[0077] また、この実施の形態では、熱蛍光本体、すなわち熱蛍光板状体の実効原子番号は、人体の実効原子番号と近似な値に調整されているのが好ましい。より具体的には、実効原子番号の算出方法や、その決定のバラツキを考慮すると、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、実効原子番号が7.3から7.5までの値程度に調整されているのが好ましい。

[0078] さらに、この実施の形態では、熱蛍光本体の密度が、人体の筋肉組織の密度である 1 g cm^{-3} と近似な値に調整されている。

[0079] 既に説明したように、この実施の形態では、熱蛍光本体がアルミニウム（I I I）を含んでいることによって、バインダを用いることなく、この熱蛍光本体を以って熱蛍光板状体が構成されている。従って、この実施の形態では、熱蛍光本体の密度が、熱蛍光板状体の密度となる。そのため、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、人体により近似な密度を有している。

[0080] なお、この実施の形態に係る熱蛍光板状体では、製造時において、熱蛍光板状体を構成する各原料、すなわち母体としての四ホウ酸リチウムと、この母体に含まれるマンガン、アルミニウム（I I I）、及び酸化ホウ素の添加量を調整することによって、上述した実効原子番号を調整することができる。また、この実施の形態では、製造時において、熱蛍光板状体を得るための熱処理時に、熱蛍光板状体の前駆体に活性炭を加え、当該熱処理によってこの活性炭を焼失させることにより、得られる熱蛍光板状体を所望の密度に調整する。これら実効原子番号及び密度を人体と近似な値に調整するための、各原料の好適な添加量、及び上述した熱処理時に添加する活性炭の添加量については、後述する製造方法において説明する。

[0081] この実施の形態に係る熱蛍光板状体では、放射線が照射された面に沿った、放射線の平面的な線量分布、すなわち2次元線量分布を測定することがで

きる。そして、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、放射線の3次元線量分布を取得するために、複数枚積層されることによって、熱蛍光積層体として使用されることが想定されている。そこで、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、複数枚積層され、放射線が照射されたときに、その照射による詳細な3次元線量分布を取得可能とするために、厚みを例えば2 mm程度とするのが好ましい。また、この実施の形態に係る熱蛍光板状体の積層面、すなわち厚みに直交する面の平面形状は、例えば、測定する放射線の線質、線形、または用途に応じて、適宜設定される。

[0082] (熱蛍光板状体の製造方法の第1実施形態)

次に、熱蛍光板状体の製造方法の第1実施形態について説明する。

[0083] まず、四ホウ酸リチウム ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$)、酸化マンガン(IV) (MnO_2)、及び酸化アルミニウム (Al_2O_3) を混合して第1混合体を形成する。

[0084] 既に説明したように、熱蛍光板状体において、四ホウ酸リチウムは、熱蛍光本体の母体となる。また、酸化マンガン(IV)に含まれるマンガンは、熱蛍光板状体の発光中心として作用する。また、酸化アルミニウムに含まれるアルミニウム(III)は、熱蛍光板状体の発光強度及び機械的強度を増加させる目的、及び続く工程において、第1焼結体を得るための熱処理の温度、すなわち焼成温度を低下させる目的で添加される。

[0085] そして、第1実施形態では、人体に近似な実効原子番号を有し、かつ機械的強度に優れ、さらに、高感度に線量分布を得られる熱蛍光板状体を得るために、四ホウ酸リチウムに対して、0.01~0.20 wt%の割合で酸化マンガン(IV)、及び0.02~2.00 wt%の割合で酸化アルミニウムを、それぞれ添加することによって第1混合体を形成するのが好ましい。

[0086] また、第1混合体を形成するために、これら四ホウ酸リチウム、酸化マンガン(IV)、及び酸化アルミニウムを粉砕して混合する。

[0087] 次に、第1混合体を熱処理することによって第1焼結体を形成し、しかる後、この第1焼結体を粉砕し、粉砕体にする。

[0088] 第1実施形態では、この第1焼結体を形成するための熱処理に際して、ま

ず、上述した工程によって得られた第1混合体を、好ましくは、少量のエタノールで湿すことによって、この第1混合体を塊状とし、乾燥固化するのがよい。

[0089] しかる後、この第1混合体を、電気炉を用いて、好ましくは870～915℃の空気雰囲気中で1～3時間熱処理する。これによって、第1混合体から第1焼結体を得られる。

[0090] 次に、上述した第1焼結体の粉砕体と、四ホウ酸リチウム、酸化マンガ（IV）、及び酸化アルミニウムを粉砕混合して形成した第3混合体と、活性炭とを混合して、第2混合体を得る。

[0091] このために、先ず、第1混合体とは別に、四ホウ酸リチウム、酸化マンガ（IV）、及び酸化アルミニウムを粉砕混合して第3混合体を得る。

[0092] この工程において得られる第3混合体に含まれる、四ホウ酸リチウム、酸化マンガ（IV）、及び酸化アルミニウムは、上述した第1混合体と同様の目的で添加される。すなわち、四ホウ酸リチウムは、熱蛍光板状体において、熱蛍光本体の母体となる。また、酸化マンガ（IV）に含まれるマンガは、製造される熱蛍光板状体の発光中心として作用する。また、酸化アルミニウムに含まれるアルミニウム（III）は、熱蛍光板状体の発光強度及び機械的強度を増加させる目的、及び後の工程において、第2焼結体を得るための熱処理の温度、すなわち焼成温度を低下させる目的で添加される。

[0093] また、第1実施形態では、上述の第3混合体をそのまま使用して第2混合体を得ても良い。しかし、この第3混合体を混合する際に、酸化ホウ素（ B_2O_3 ）を追加的に添加する方がより好ましい。その理由は、既に説明したように、酸化ホウ素は、発光強度を増加させるためのアルミニウム（III）の添加量の最適値を、酸化ホウ素を添加しない場合と比して、より大きくする目的で添加するためである。

[0094] そして、第1実施形態では、これらの目的を達成するために、四ホウ酸リチウムに対して、0.01～0.20wt%の割合で酸化マンガ（IV）、0.02～2.00wt%の割合で酸化アルミニウム、及び最大でも8.

00wt%の割合で酸化ホウ素を、それぞれ添加することによって第3混合体を形成するのが好ましい。

[0095] また、第3混合体を形成するために、これら四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、酸化アルミニウム、及び酸化ホウ素を粉砕して混合する。

[0096] なお、第1実施形態では、この第3混合体を得る工程と、上述した第1焼結体を得る工程とは、いずれを先に行っても良い。

[0097] 既に説明したように、第1実施形態では、熱蛍光板状体を得るための熱処理の前に、熱蛍光板状体の前駆体、すなわち第2混合体に活性炭を添加することによって、熱蛍光板状体の密度の調整を図る。この調整のための、各材料の混合比は、実験を繰り返して求めることができる。そして、製造される熱蛍光板状体の密度を人体と近似な値とするために、第1実施形態では、第1焼結体の粉砕体、第3混合体、及び活性炭を、1.00 : 0.10 : 0.18の重量比で混合する。

[0098] また、第3混合体を得るに際して、より好ましくは、予め第1焼結体の粉砕体を、メッシュ篩を用いて粒度を均一にしておくのがよい。これによって、製造される熱蛍光板状体に、発光強度のムラが生じるのを防止する。そして、この粒度を均一とした第1焼結体と、第3混合体及び活性炭を混合して、第2混合体を得る。

[0099] しかる後、得られた第2混合体を、少量のエタノールまたは水で湿すことによって、この第2混合体を塊状とし、さらに、平板状に圧迫成型することによって、板状体を形成する。

[0100] 既に説明したように、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、放射線の3次元線量分布を取得するために、複数枚積層されて熱蛍光積層体として用いられる。そして、上述したように、詳細な3次元線量分布を取得可能とするために、熱蛍光板状体の厚みを例えば2mm程度とするのが好ましい。そのために、続く工程における熱処理によって、板状体が収縮することを考慮して、この板状体を例えば2.1mmの厚みに成型するのが好ましい。また、板状体の、厚み方向に直交する面の平面形状を、例えば直径が90mm程度

の円形に成型しておくのが好ましい。

- [0101] 次に、上述した工程で得られた板状体を熱処理することによって、第2焼結体としての熱蛍光板状体を形成する。
- [0102] 第1実施形態では、第2混合体の板状体を、電気炉を用いて、好ましくは875°Cの空気雰囲気中で1時間熱処理する。これによって、板状体から、第2焼結体としての熱蛍光板状体を得られる。このとき、板状体の厚みを2.1mm、また、平面形状を直径90mm程度の円形に成型しておいた場合には、第2焼結体として、厚みが2.0mm、また、平面形状が直径86mm程度の円形である熱蛍光板状体を得られる。
- [0103] また、この熱処理によって、第2混合体に添加した活性炭は、焼失して熱蛍光板状体中で空孔が生ずる。これによって、熱蛍光板状体は、この空孔により所望の密度、すなわち人体に近似な密度に調整される。
- [0104] 以上の各工程を行うことによって、熱蛍光板状体が製造される。この製造方法によって得られた熱蛍光板状体は、例えばダイヤモンド切削器具等を用いて、裁断することが可能である。そのため、この熱蛍光板状体は、例えば、測定する放射線の線質、線形、または用途に応じて、平面形状を適宜成型することができる。
- [0105] また、上述した第1実施形態による熱蛍光板状体の製造方法では、各原料の添加量を以下のように設定するのが好適である。
- [0106] すなわち、14.00gの四ホウ酸リチウム、0.005gの酸化マンガ(IV)、及び0.319gの酸化アルミニウムを混合して第1混合体を形成し、この第1混合体から第1焼結体を得るのが好ましい。また、1.4000gの四ホウ酸リチウム、0.0004gの酸化マンガ(IV)、及び0.0250gの酸化アルミニウム、及び0.0780gの酸化ホウ素を混合して、第3混合体を形成するのが好ましい。そして、第1焼結体の粉砕体を14.0g、第3混合体を1.40g、及び活性炭を2.52g混合して、第2混合体を形成するのが好ましい。
- [0107] このような各添加量で製造された熱蛍光板状体では、実効原子番号が約7

46、また、密度が約 1.06 g cm^{-3} に調整されている。すなわち、実効原子番号及び密度ともに、人体に近似な値として望まれる実効原子番号 $7.3 \sim 7.5$ の範囲及び密度 $1 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ の範囲内に収まっている。なお、得られた熱蛍光板状体の実効原子番号 Z_{eff} は、例えば「福田覚、前川昌之著、放射線物理学演習（第2版）P63-64、東洋書店、2005年」等に記載されている、下式（1）から算出することができる。

$$[0108] \quad Z_{\text{eff}} = (a_1 Z_1^{2.94} + a_2 Z_2^{2.94} + a_3 Z_3^{2.94} + \dots)^{1/2.94} = (\sum a_i Z_i^{2.94})^{1/2.94} \quad \dots (1)$$

この式（1）において、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 \dots は、化合物または混合物に含まれる各原子の原子番号 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 \dots に属する電子の、全電子数に対する割合を示す。

[0109] 以上説明した実施の形態に係る熱蛍光板状体は、母体に酸化アルミニウムを添加することによって、アルミニウム（I I I）を含んでいる。

[0110] その結果、この実施の形態に係る熱蛍光板状体では、放射線の線量分布取得時、すなわち放射線が照射された熱蛍光板状体を暗箱中において加熱し、被曝箇所を発光させる際に、従来周知の熱蛍光板状体と比して、高い発光強度で発光させることができる。従って、この実施の形態に係る熱蛍光板状体では、従来周知の熱蛍光板状体と比して、高感度で放射線の線量分布を得ることができる。

[0111] また、この実施の形態に係る熱蛍光板状体では、母体にアルミニウム（I I I）が含まれることによって、機械的強度が増加する。

[0112] ここで、この発明に係る発明者らは、上述した、実施の形態による熱蛍光板状体の製造方法について、上述した第1混合体及び第3混合体に、酸化アルミニウムを添加せずに行った。その場合に得られた第2焼結体は、機械的強度が著しく脆く、平板状体としての形状を保持することが不可能であることを確認した。この結果から、母体にアルミニウム（I I I）を添加することが、熱蛍光板状体の機械的強度の増加において、有効であることが確認された。

- [0113] このように、第1実施形態に係る熱蛍光板状体では、アルミニウム（I I I）を含有することによって、良好な機械的強度を有している。このため、上述した従来周知の熱蛍光板状体とは異なり、バインダを用いることなく、熱蛍光本体を以って当該熱蛍光板状体が構成されている。従って、この実施の形態では、上述した製造方法において、熱蛍光板状体の前駆体である第2混合体に活性炭を加え、その後の熱処理によって、この活性炭を焼失させて空孔化することによって、容易に熱蛍光板状体を所望の密度に調整することができる。そして、この実施の形態では、熱蛍光板状体の密度を、人体に近似な値で形成している。
- [0114] また、既に説明したように、この実施の形態による熱蛍光板状体は、実効原子番号が、人体に近似な値に調整されている。従って、この実施の形態に係る熱蛍光板状体では、線量計として用いた場合に、種々の補正を行うことなく、得られた測定値を以って、より正確に人体に対する放射線の被曝線量に関するデータを取得することができる。なお、この実施の形態に係る熱蛍光板状体を用いて取得されたデータは、この実施の形態に係る熱蛍光板状体と近似な実効原子番号及び密度を有する物質であれば、人体以外の物質に対する被曝線量に関するデータとして利用することもできる。
- [0115] また、この発明に係る発明者らは、上述した、この実施の形態に係る熱蛍光板状体の製造方法において、上述した第1焼結体及び第3混合体を個別に形成せずに、各原料、すなわち四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（I V）、酸化アルミニウム、酸化ホウ素を同時に混合し、しかる後、一度の熱処理によって熱蛍光板状体を形成する実験を行った。その場合には、焼結体として得られた熱蛍光板状体は、機械的強度が著しく脆く、板状体に多くの亀裂が生じて、熱蛍光板状体としての機能を保持することが不可能であることを確認した。この原因は、各原料の添加量の調整が上手くされなかったためと推量される。この結果から、この実施の形態に係る熱蛍光板状体を得るためには、第1焼結体及び第3混合体を個別に形成し、さらに、これらを混合した第2混合体を熱処理することによって、当該熱蛍光板状体を形成する製造方

法が有効であることが確認された。

[0116] また、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、吸湿性が低いため、空気中において安定に保存することができる。従って、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、保存及び品質管理が容易な線量計であるといえる。また、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、放射線の線量を測定するに当たり、上述したポリマーゲル線量計とは異なり、特別な設備を用いる必要がない。さらに、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、従来周知の熱蛍光板状体と同様に、繰り返し使用することが可能である。これらの利点から、この実施の形態に係る熱蛍光板状体は、コストの低減及び汎用性において有利な線量計であるといえる。

[0117] (熱蛍光板状体の製造方法の第2実施形態)

次に、熱蛍光板状体の製造方法の第2実施形態について説明する。

[0118] なお、この第2実施形態では、上述した第1実施形態と同様に、形成される熱蛍光板状体の実効原子番号及び密度を、人体に近似な値とするのが好ましい。そこで、この第2実施形態では、形成される熱蛍光板状体の実効原子番号及び密度を、人体に近似な値として望まれる実効原子番号7.3~7.5の範囲及び密度 $1 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ の範囲内に収めるために、以下に説明する各工程における、各原料の添加量について好適な値を示している。これらの各値は、実験を繰り返して求めることができた。

[0119] なお、この第2実施形態に係る熱蛍光板状体の製造方法が、上述した第1実施形態に係る熱蛍光板状体の製造方法と相違するのは、第1混合物に酸化アルミニウムを添加しない点であり、これに伴い、各工程における各原料の添加量を変更する点である。その他の構成要素及び作用効果は、第1実施形態と同様であるので、それらの重複する説明を省略する。

[0120] まず、四ホウ酸リチウム及び酸化マンガニ(IV)を混合して第1混合体を形成する。

[0121] この工程において、1molの四ホウ酸リチウムに対して、0.036wt%程度の割合で酸化マンガニ(IV)を添加して第1混合体を形成するの

が好ましい。より具体的には、55.69 gの四ホウ酸リチウムに、0.0201 gの酸化マンガン（IV）を添加する好ましい。

[0122] また、この工程では、第1混合体を形成するために、これら四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）を粉砕して混合する。

[0123] 次に、第1混合体を熱処理することによって第1焼結体を形成し、しかる後、この第1焼結体を粉砕して粉砕体にする。

[0124] 第2実施形態に係る製造方法では、上述した第1実施形態に係る製造方法と同様に、熱処理に際して、まず、第1混合体を、少量のエタノールまたは水で湿すことによって、この第1混合体を塊状とし、乾燥固化する。

[0125] しかる後、この第1混合体を、電気炉を用いて、好ましくは910°Cの空気雰囲気中で1時間熱処理する。これによって、第1混合体から第1焼結体を得られる。

[0126] 次に、上述した第1焼結体の粉砕体と、四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、及び酸化アルミニウムを粉砕混合して得られた第3混合体と、活性炭とを混合して、第2混合体を得る。

[0127] このために、先ず、四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、及び酸化アルミニウムを粉砕混合して第3混合体を得る。

[0128] 第2実施形態では、1.096 gの四ホウ酸リチウムに対して、0.0004 gの酸化マンガン（IV）、及び0.025 gの酸化アルミニウムを添加するのが好ましい。

[0129] また、第2実施形態では、第3混合体に酸化ホウ素を添加するのが好ましい。既に説明したように、酸化ホウ素は、発光強度を増加させるためのアルミニウム（III）の添加量の最適値を、大きくする目的で添加する。そのために、第2実施形態では、第3混合体に、0.078 gの酸化ホウ素を添加するのが好ましい。

[0130] また、第3混合体を形成するために、これら四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、酸化アルミニウム、及び酸化ホウ素を粉砕して混合する。

[0131] なお、第2実施形態では、この第3混合体を得る工程と、第1焼結体を得

る工程とは、いずれを先に行っても良い。

- [0132] この第2実施形態では、上述した第1実施形態に係る製造方法と同様に、熱蛍光板状体を得るための熱処理、すなわち続く熱処理の前に、熱蛍光板状体の前駆体、すなわち第2混合体に活性炭を添加することによって、製造される熱蛍光板状体の密度を調整する。そして、製造される熱蛍光板状体の密度を人体と近似な値とするために、第1焼結体の粉砕体を12.0g、第3混合体を全て、及び活性炭を2.16g混合する。
- [0133] また、この工程では、上述した第1実施形態に係る製造方法と同様に、第2混合体を得るに際して、好ましくは、予め第1焼結体の粉砕体を、メッシュ篩を用いて、粒度を均一にしておくのがよい。これによって、製造される熱蛍光板状体に、発光強度のムラが生じるのを防止する。そして、この粒度を均一とした第1焼結体の粉砕体と、第3混合体及び活性炭を混合して、第2混合体を得る。
- [0134] しかる後、得られた第2混合体を、少量のエタノールまたは水で湿すことによって、この第2混合体を塊状とし、さらに、平板状に圧迫成型することによって、板状体を形成する。
- [0135] 既に説明したように、熱蛍光板状体は、放射線の3次元線量分布を取得するために、複数枚積層されて熱蛍光積層体として用いられる。そこで、この第2実施形態では、上述した第1実施形態に係る製造方法と同様に、熱蛍光板状体の厚みを例えば2mm程度とするのが好ましい。そのために、熱処理によって、板状体が収縮することを考慮して、この板状体を例えば2.1mmの厚みに成型するのが好ましい。また、板状体の、厚み方向に直交する面の平面形状を、例えば直径が90mm程度の円形に成型しておくのが好ましい。
- [0136] 次に、板状体を熱処理することによって、第2焼結体としての熱蛍光板状体を形成する。
- [0137] 第2実施形態では、上述した第1実施形態に係る製造方法と同様に、第2混合体を、電気炉を用いて、好ましくは875℃の空気雰囲気中で1時間熱

処理する。これによって、板状体から、第2焼結体としての熱蛍光板状体が得られる。このとき、板状体の厚みを2.1mm、また、平面形状を直径90mm程度の円形に成型しておいた場合には、第2焼結体として、厚みが2.0mm、また、平面形状が直径86mm程度の円形である熱蛍光板状体を得られる。

[0138] また、この工程における熱処理によって、第2混合体に添加した活性炭は、焼失して熱蛍光板状体中に空孔が生ずる。これによって、熱蛍光板状体は、この空孔により、所望の密度、すなわち人体に近似な密度に調整される。

[0139] 以上の各工程を行うことによって、この第2実施形態では、実効原子番号が7.3~7.5程度で、かつ密度が $1 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ に調整された、すなわち実効原子番号及び密度ともに、人体に近似な値である熱蛍光板状体を得ることができる。

[0140] (熱蛍光板状体の製造方法の第3実施形態)

次に、熱蛍光板状体の製造方法の第3実施形態について説明する。

[0141] ところで、この出願に係る発明者は、熱蛍光板状体を構成する各材料の添加量を調整することによって、粉砕体に対して新たに四ホウ酸リチウム、酸化マンガン(IV)、及び酸化アルミニウムの第3混合体を混入することなく、すなわち、上述した第3混合体を用意することなく板状体を形成しても、上述したアルミニウム(III)含有の熱蛍光板状体を形成できることを見出した。そこで、熱蛍光板状体の製造方法の第3実施形態として、第3混合体を混入しない製造方法について説明する。

[0142] まず、四ホウ酸リチウム($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$)、酸化マンガン(IV)(MnO_2)、及び酸化アルミニウム(Al_2O_3)を混合して第1混合体を形成する。

[0143] 四ホウ酸リチウムは、製造される熱蛍光板状体において、熱蛍光本体の母体となる。また、酸化マンガン(IV)に含まれるマンガンは、製造される熱蛍光板状体の発光中心として作用する。また、酸化アルミニウムに含まれるアルミニウム(III)は、製造される熱蛍光板状体の発光強度及び機械的強度を増加させる目的、及び続く工程において、第1焼結体を得るための

熱処理の温度、すなわち焼成温度を低下させる目的で添加される。

[0144] この第3実施形態では、人体に近似な実効原子番号を有し、かつ機械的強度に優れ、さらに、高感度に線量分布を得られる熱蛍光板状体を得るために、1 molの四ホウ酸リチウムに対して、0.03~0.16 wt%の範囲内の割合、より好ましくは0.037 wt%の割合で酸化マンガン(IV)を、及び0.6~3.6 wt%の範囲内の割合、より好ましくは0.72 wt%の割合で酸化アルミニウムを、それぞれ添加することによって第1混合体を形成するのが好ましい。

[0145] また、第1混合体を形成するために、これら四ホウ酸リチウム、酸化マンガン(IV)、及び酸化アルミニウムを粉砕して混合する。

[0146] 次に、第1混合体を熱処理することによって第1焼結体を形成し、しかる後、この第1焼結体を粉砕して粉砕体にする。

[0147] 第3実施形態では、この熱処理に際して、まず、第1混合体を、好ましくは、少量のエタノールで湿すことによって、この第1混合体を塊状とし、乾燥固化するのがよい。

[0148] しかる後、この第1混合体を、電気炉を用いて、好ましくは870~915°C、より好ましくは890°Cの空気雰囲気中で1時間熱処理する。これによって、第1混合体から第1焼結体を得られる。そして、この第1焼結体を粉砕することによって、この第1焼結体から粉砕体を得る。

[0149] 次に、粉砕体を平板状に圧迫成型することによって板状体を形成する。

[0150] ここで、この第3実施形態では、製造される熱蛍光板状体を、人体を構成する生体組織と近似な物性を有する線量計とするために、上述した実効原子番号のみならず、熱蛍光板状体の密度についても人体と近似な値に調整する。より具体的には、第1の実施の形態では、熱蛍光本体の密度を、人体の筋肉組織の密度である 1 g cm^{-3} と近似な値に調整するのが好ましい。

[0151] そこで、密度を調整する目的で、圧迫成型する前に、粉砕体を活性炭と混合することによって第2混合体を形成しておくのが好ましい。そして、この第2混合体を平板状に圧迫成型することによって板状体を形成するのが好ま

しい。

- [0152] このように、第2混合体を形成し、この第2混合体から板状体を形成することによって、続く工程における熱処理において、この板状体から活性炭が焼失する。その結果、製造される熱蛍光板状体中において、この活性炭が焼失した部分に空孔が生ずる。従って、熱蛍光板状体中において、この空孔が占有する割合を調整することによって、熱蛍光板状体を所望の密度、すなわち人体に近似な密度に調整することができる。
- [0153] そして、この第3実施形態では、人体に近似な密度の熱蛍光板状体を得るために、粉碎体に対して多くとも0.19倍の重量比で活性炭を混合することによって、第2混合体を形成するのが好ましい。より好適には、粉碎体及び活性炭を、1:0.16の重量比で混合することによって、第2混合体を形成するのが好ましい。
- [0154] また、第2混合体を得るに際して、より好ましくは、予め第1焼結体の粉碎体を、メッシュ篩を用いて粒度を均一にしておくのがよい。これによって、製造される熱蛍光板状体に、発光強度のムラが生じるのを防止する。そして、この粒度を均一とした粉碎体と活性炭とを混合して第2混合体を得る。
- [0155] さらに、好ましくは、第2混合体を、少量のエタノールまたは水で湿すことによって、この第2混合体を塊状とし、この塊状の第2混合体を平板状に圧迫成型することによって、板状体を形成する。
- [0156] ここで、第3実施形態による熱蛍光板状体は、放射線の3次元線量分布を取得するために、複数枚積層されて熱蛍光積層体として用いられる。そして、詳細な3次元線量分布を取得可能とするためには、一例として、熱蛍光板状体の厚みを例えば2mm程度とするのが好ましい。そのために、続く工程における熱処理によって、板状体が収縮することを考慮して、この板状体を例えば2.1mmの厚みに成型するのが好ましい。また、板状体の、厚み方向に直交する面の平面形状を、例えば直径が90mm程度の円形に成型しておくのが好ましい。
- [0157] また、他の一例として、最終的に得られる熱蛍光板状体を、厚みが例えば

4. 0 mm程度、また、厚み方向に直交する面の平面形状が、例えば一辺が84 mm程度の正方形とするのが好ましい。そのために、続く工程における熱処理によって、板状体が収縮することを考慮して、この板状体を例えば5.0 mmの厚みに成型するのが好ましい。また、板状体の厚み方向に直交する面の平面形状を、例えば一辺が86 mm程度の正方形に成型しておくのが好ましい。

[0158] なお、この第3実施形態に係る熱蛍光板状体の製造方法では、上述した添加量で四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、及び酸化アルミニウムの各成分を混合して第1混合体を形成しているため、第1実施形態の製造方法とは異なり、この第3工程において板状体を形成するに当たり、粉砕体に対して第1混合体の成分と同一の、四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、及び酸化アルミニウムの各成分の混合体を新たにすなわち再度混入する必要はない。

[0159] 次に、板状体を熱処理することによって、第2焼結体としての熱蛍光板状体を形成する。

[0160] この工程では、板状体を、電気炉を用いて、好ましくは870～875℃の範囲内の温度において、空気雰囲気中で1時間熱処理する。これによって、板状体から、第2焼結体としての熱蛍光板状体を得られる。そして、この範囲内の温度で熱処理を行うことによって、堅固でかつ加工しやすい熱蛍光板状体を得ることができる。

[0161] このとき、板状体の厚みを2.1 mm、また、平面形状を直径90 mm程度の円形に成型しておいた場合には、第2焼結体として、厚みが2.0 mm、また、平面形状が直径86 mm程度の円形である熱蛍光板状体を得られる。

[0162] また、板状体の厚みを5.0 mm、また、平面形状を一辺が86 mm程度の正方形に成型しておいた場合には、第2焼結体として、厚みが4.0 mm、また、平面形状が、一辺が84 mm程度の正方形である熱蛍光板状体を得られる。

- [0163] なお、この製造方法によって得られた熱蛍光板状体は、例えばダイヤモンド切削器具等を用いて、裁断することが可能である。そのため、この熱蛍光板状体は、例えば、測定する放射線の種類やエネルギー、照射位置や範囲、または用途に応じて、平面形状を適宜成型することができる。
- [0164] また、粉碎体に活性炭を添加しておいた場合には、この工程における熱処理によって、活性炭が焼失して熱蛍光板状体中に空孔が生ずる。その結果、熱蛍光板状体は、この空孔により所望の密度、すなわち人体に近似な密度に調整される。
- [0165] この第3実施形態で得られた熱蛍光板状体は、平板状の熱蛍光板状体であり、母体としての四ホウ酸リチウムと、この母体中に存在するマンガン及びアルミニウム（III）とを含む熱蛍光本体を以って構成されている。
- [0166] 既に説明したように、母体に含まれるマンガンは、熱蛍光本体、すなわち熱蛍光板状体において、発光中心として作用する。なお、この第3実施形態では、上述したように、四ホウ酸リチウムに酸化マンガン（IV）を添加することによって、母体にマンガンを含有させる。従って、この第3実施形態では、発光中心であるマンガンは、例えば、単体のマンガンとしてのみではなく、各種酸化数のマンガン、または熱蛍光本体に含まれるその他の物質との化合物等の状態で含まれている場合もあり得る。
- [0167] また、既に説明したように、アルミニウム（III）は、熱蛍光本体、すなわち熱蛍光板状体の感度を高める目的で含まれている。すなわち、この熱蛍光板状体では、母体としての四ホウ酸リチウムにアルミニウム（III）を含有させることによって、放射線が照射された熱蛍光板状体から線量分布を取得する際、すなわち例えば、好ましくは熱蛍光板状体を暗箱中において加熱し、被曝箇所を発光させる際に、高い発光強度で被曝箇所を発光させることができる。従って、第3実施形態による熱蛍光板状体では、アルミニウム（III）が含まれていない熱蛍光板状体よりも高感度で放射線の線量分布を得ることができる。
- [0168] また、アルミニウム（III）は、熱蛍光本体、すなわち熱蛍光板状体の

機械的強度を増加させる作用を呈する。その結果、この熱蛍光板状体では、母体としての四ホウ酸リチウムにアルミニウム（I I I）を含有させることによって、例えば耐熱性樹脂等のバインダを用いることなく、熱蛍光本体を以って当該熱蛍光板状体が構成されている。

[0169] なお、この第3実施形態では、上述したように、四ホウ酸リチウムに、酸化アルミニウム（I I I）を添加することによって、母体にアルミニウム（I I I）を含有させる。従って、この第3実施形態では、アルミニウム（I I I）は、例えば、酸化アルミニウム（I I I）、または熱蛍光本体に含まれるその他の物質との化合物等の状態で含まれている場合もあり得る。

[0170] また、既に説明したように、第3実施形態によって得られた熱蛍光板状体の実効原子番号は、人体の実効原子番号と近似な値（7.3～7.5の範囲内の値）に調整されている。

[0171] さらに、第3実施形態では、熱蛍光板状体の密度が、人体の筋肉組織の密度である 1 g cm^{-3} と近似な値（0.9～1.1 g cm^{-3} の範囲内の値）に調整されている。

[0172] 従って、第3実施形態による製造方法によって得られた熱蛍光板状体は、線量計として用いられた場合に、種々の補正を行うことなく、得られた測定値を以って、より正確に人体に対する放射線の被曝線量に関するデータを取得することができる。なお、第3実施形態による熱蛍光板状体を用いて取得されたデータは、この熱蛍光板状体と近似な実効原子番号及び密度を有する物質であれば、人体以外の物質に対する被曝線量に関するデータとして利用することもできる。

[0173] ここで、この第3実施形態による熱蛍光板状体の製造方法では、各原料の添加量を以下のように設定するのが好適である。

[0174] すなわち、四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（I V）、及び酸化アルミニウムを、1 : 0.00036 : 0.0072の重量比で混合して第1混合体を形成し、この第1混合体から第1焼結体を得るのが好ましい。そして、このような重量比で得られた第1焼結体の粉碎体と活性炭とを1 : 0.16の

重量比で混合して、第2混合体を形成するのが好ましい。

- [0175] このような各添加量で製造された熱蛍光板状体では、実効原子番号が約7.46、また、密度が約 1 g cm^{-3} に調整されており、実効原子番号及び密度ともに、人体に近似な値として望まれる実効原子番号7.3~7.5の範囲及び密度 $1 \pm 0.10\text{ g cm}^{-3}$ の範囲内に収まっている熱蛍光板状体を得ることができる。
- [0176] ここで、この出願に係る発明者は、この第3実施形態によって得られた熱蛍光板状体が線量計として機能することを確認するための実験を行った。以下、図5~7を参照して、この実験について説明する。
- [0177] この実験では、第3実施形態に係る製造方法によって得られた熱蛍光板状体13に対して、この熱蛍光板状体13の厚み方向に直交する面13aを被照射面として、各々異なる箇所互いに異なる線量のX線を照射し、それぞれの被曝箇所からの発光強度を測定した。
- [0178] まず、図5は、CCDカメラを用いて撮影した熱蛍光板状体13であり、この熱蛍光板状体13の熱蛍光時における発光の様子を示す写真である。
- [0179] 既に説明したように、この図5に係る熱蛍光板状体13には、各々異なる箇所互いに異なる線量のX線、より具体的には1 Gy、2 Gy、4 Gy、8 Gy、16 Gy、及び32 GyのX線をそれぞれ9 keVのエネルギーで照射してある。そして、これらX線の照射後、暗箱中において390°Cに熱した金属板上に各試料を設置することによって加熱し、それぞれの被曝箇所からの発光を撮影した。なお、図5では熱蛍光板状体13の写真をグレースケールで示してあるが、この写真において黒色に近い部分ほど強く発光していることを示している。
- [0180] また、図5において、21~26の符号を付して示してある各X線の被曝箇所のうち、被曝箇所21は1 GyのX線を、被曝箇所22は2 GyのX線を、被曝箇所23は4 GyのX線を、被曝箇所24は8 GyのX線を、被曝箇所25は16 GyのX線を、また、被曝箇所26は32 GyのX線を照射した箇所をそれぞれ示している。

- [0181] 次に、図6は、この実験に用いた熱蛍光板状体13の各被爆箇所21～26の発光強度を示す図である。図6に示す発光強度に関する曲線37は、図5に示す熱蛍光板状体13の各被爆箇所21～26における発光に対応している。図6において、縦軸は発光強度の相対値を、また、横軸は図5に示す熱蛍光板状体13の被照射面における位置座標を示している。
- [0182] そして、曲線37において確認される発光強度の各ピーク31～36のうち、ピーク31は被爆箇所21における発光強度（794）を、ピーク32は被爆箇所22（1684）における発光強度を、ピーク33は被爆箇所23における発光強度（3833）を、ピーク34は被爆箇所24における発光強度（8479）を、ピーク35は被爆箇所25における発光強度（20228）を、また、ピーク36は被爆箇所26における発光強度（44711）をそれぞれ示している。
- [0183] 次に、図7は、この実験に用いた熱蛍光板状体13における発光強度と線量との関係を示す図である。この図7において、縦軸は発光強度の相対値を、また、横軸は線量（Gy）を示している。なお、図7に示す発光強度と線量との関係を示す曲線41は、図6に示す各ピーク31～36に基づいて決定されている。すなわち、曲線41は、図6において確認された各ピーク31～36の各発光強度と、これら各ピーク31～36にそれぞれ対応する被爆箇所21～26に照射されたX線の線量をプロットし、これらプロットされた各点に基づいて近似的に決定されている。
- [0184] 図5～7の結果から明らかなように、第3実施形態による製造方法によって得られた熱蛍光板状体13では、1Gyの線量のX線においても発光を確認することが可能であり、また、図7に示したような発光強度とX線の被爆線量との関係を示す曲線41を決定することが可能である。従って、この曲線41を検量線として参照することによって、熱蛍光板状体13の被爆箇所における発光強度から、この被爆箇所に照射されたX線の線量を実質的に、すなわち実用上支障がない値として決定することができる。そのため、この第3実施形態による製造方法によって得られた熱蛍光板状体13は、線量計

として機能し得ることが確認された。

[0185] 従って、第3実施形態による熱蛍光板状体13では、放射線が照射された面に沿った、放射線の平面的な線量分布、すなわち2次元線量分布を測定することができる。

[0186] また、この出願に係る発明者は、この第3実施形態によって得られた熱蛍光板状体が、上述した第1実施形態に係る製造方法によって製造された熱蛍光板状体と、同等またはそれ以上の発光強度を有することを確認するための実験を行った。

[0187] この実験では、第3実施形態による製造方法によって得られた熱蛍光板状体の試料と、第1実施形態に係る製造方法によって得られた熱蛍光板状体の試料とを用意した。そして、各試料に対して9keVのエネルギーで10Gyの線量のX線を照射した後、暗箱中において400°Cに熱した金属板上に各試料を設置することによって加熱し、それぞれの被曝箇所からの発光強度を測定した。

[0188] 図8は、この実験の結果を示す図であり、第3実施形態によって得られた熱蛍光板状体の発光強度と、第1実施形態によって得られた熱蛍光板状体の発光強度とを比較するための図である。この図8において、縦軸は発光強度の相対値を、また、横軸は温度(°C)を示している。

[0189] また、図8において、曲線51は、第3実施形態によって得られた熱蛍光板状体についての結果を示している。この曲線51に係る試料として、以下の条件によって形成された熱蛍光板状体を用いた。すなわち、上述した第3実施形態において、555.0gの四ホウ酸リチウム、0.206gの酸化マンガン(IV)、及び4.110gの酸化アルミニウムを混合して第1混合体を形成した。また、20gの第1混合体の粉砕体及び3.6gの活性炭を混合して第2混合体を形成した。

[0190] また、図5において、曲線52は、上述した第1実施形態に係る製造方法によって得られた熱蛍光板状体についての結果を示している。この曲線52に係る試料として、以下の条件によって形成された熱蛍光板状体を用いた。

すなわち、上述した第1実施形態に係る製造方法において、四ホウ酸リチウムに対して0.036wt%の酸化マンガン(IV)及び0.4wt%の酸化アルミニウムを混合して第1混合体を形成し、また、四ホウ酸リチウムに対して0.036wt%の酸化マンガン(IV)、2.0wt%の酸化アルミニウム、及び6.0wt%の酸化ホウ素を混合して第3混合体を形成し、さらに、第1混合体及び第3混合体を9:1の重量比で混合した混合体に対して18wt%の活性炭を添加して第2混合体を得た。

[0191] ここで、曲線52に係る第1実施形態による熱蛍光板状体において、酸化ホウ素を添加した理由を以下に説明する。

[0192] 熱蛍光本体の発光強度は、アルミニウム(III)の含有量に対応して増加するが、過剰に添加した場合には発光強度が低下する。すなわち、熱蛍光本体の発光強度を増加するための、アルミニウム(III)の含有量には最適値が存在する。

[0193] これに対して、熱蛍光本体の機械的強度は、アルミニウム(III)の含有量に対して、単純に比例して増加する。

[0194] 従って、熱蛍光板状体の機械的強度をより増加させるために、高い含有量でアルミニウム(III)を含有させ、その結果として、上述した最適値を超えた場合には、発光強度を増加させる効果を効率良く得ることができない。

[0195] そこで、熱蛍光板状体の機械的強度をより増加させる目的で、より大きな含有量でアルミニウム(III)を添加しつつ、かつ発光強度を低下させないために、母体である四ホウ酸リチウムに、酸化ホウ素を含有させることが有効であることを見出した。すなわち、母体に酸化ホウ素を含有させることによって、上述した、発光強度を増加させるための最適値が大きくなることを確認した。

[0196] そのため、曲線52に係る第1実施形態の熱蛍光板状体では、このような機械的強度をより増加させつつ、良好な発光強度を得るために、熱蛍光板状体に酸化ホウ素を含有させてある。

[0197] 図8の結果から、第3実施形態による製造方法によって得られた熱蛍光板状体では、270℃付近において発光強度にピーク51aが現れている。また、第1実施形態による熱蛍光板状体では、285℃付近において発光強度にピーク52aが現れている。そして、これらピーク51a及びピーク52aを比較すると、明らかに第3実施形態による製造方法によって得られた熱蛍光板状体の方が、第1実施形態による熱蛍光板状体と比して高い発光強度を示していることが分かる。

[0198] 従って、この結果から、第3実施形態に係る製造方法では、上述した第1実施形態に係る製造方法を用いて製造した場合と比して、少なくとも同等またはそれよりも大きい発光強度を有する熱蛍光板状体を製造できることが確認できた。

[0199] このように、第3実施形態による熱蛍光板状体の製造方法では、第1実施形態に係る製造方法と比してより簡易かつ安価に、すなわち第2混合体を形成するにあたり、粉碎体に四ホウ酸リチウム、酸化マンガン(IV)、及び酸化アルミニウムの混合体を新たに混入することなく、第1実施形態に係る熱蛍光板状体と同等またはそれよりも大きい発光強度を有する熱蛍光板状体を製造することができる。

[0200] 〈熱蛍光積層体の使用方法〉

上述した熱蛍光積層体の使用方法、すなわち熱蛍光積層体を使用した、放射線の3次元線量分布の取得方法について説明する。ここでは、一例として、積層面が長方形である、複数の熱蛍光板状体を積層して形成された、熱蛍光積層体を使用する場合について説明する。

[0201] この3次元線量分布の取得方法は、第1過程から第3過程までを含んでいる。以下、第1過程から順に各過程につき説明する。

[0202] 図9、図10、及び図12は、3次元線量分布の取得方法を説明する図であり、これらの各図は、それぞれ、各過程における態様を、概略的な斜視図で示してある。また、図11(A)～(E)は、この実施形態に係る第2過程において取得される、放射線の平面的な線量分布に関する画像を示す図で

ある。

- [0203] まず、第1過程では、図9に示すように、上述した熱蛍光積層体67に対して放射線73を照射する。
- [0204] この第1過程において、線量分布を測定すべき放射線73、例えば、上述した放射線治療に使用される照射装置から、熱蛍光積層体67に対して放射線を照射し、熱蛍光積層体67を被曝させる。
- [0205] この第1過程において、放射線73を、熱蛍光積層体67のいずれの面、すなわち、熱蛍光積層体67の積層方向71に直交する主表面、または、積層方向71に沿った側面の、どの側に対して照射しても良い。図9では、熱蛍光積層体67に対して、異なる2方向からの放射線73、すなわち放射線73a及び73bを、熱蛍光積層体67の積層方向71に直交する主表面67a側から、照射した場合を示している。また、図9の構成例では、放射線73a及び73bが、熱蛍光積層体67に対して、この熱蛍光積層体67内において、交わるように照射されている。そして、この構成例において、放射線73a及び73bは、熱蛍光積層体67の主表面67aから入射し、それぞれ矢印73aa及び73baの方向に伝搬している。
- [0206] ここで、図10は、図9に示した構成例について、照射された放射線73a及び73bが熱蛍光積層体67内を進行する態様、及び熱蛍光積層体67を構成する、熱蛍光板状体69の被曝箇所を説明する図である。なお、図10では、熱蛍光積層体67を構成する、複数の熱蛍光板状体69を、部分的に省略して示している。
- [0207] 図10に示すように、熱蛍光積層体67を構成する各熱蛍光板状体69は、放射線73a及び73bが照射された箇所が被曝する。すなわち、熱蛍光積層体67を構成する、熱蛍光板状体75aでは、放射線73a及び73bが照射されることによって、これら照射された箇所が、それぞれ被曝箇所77aa及び77abとなる。また、熱蛍光板状体75bでは、放射線73a及び73bが照射されることによって、この照射された箇所が、それぞれ被曝箇所77ba及び77bbとなる。また、熱蛍光板状体75cでは、放射

線 7 3 a 及び 7 3 b が交差する部分において、これら放射線 7 3 a 及び 7 3 b が照射されることによって、この照射された箇所が被曝箇所 7 7 c となる。また、熱蛍光板状体 7 5 d では、放射線 7 3 a 及び 7 3 b が照射されることによって、これら照射された箇所が、それぞれ被曝箇所 7 7 d a 及び 7 7 d b となる。また、熱蛍光板状体 7 5 e では、放射線 7 3 a 及び 7 3 b が照射されることによって、これら照射された箇所が被曝箇所 7 7 e a 及び 7 7 e b となる。

[0208] 次に、第 2 過程では、熱蛍光積層体 6 7 を構成する複数の熱蛍光板状体 6 9 の各々から加熱により発生する熱蛍光を、複数の熱蛍光板状体 6 9 の積層面 6 9 a に直交する方向からそれぞれ撮影して、積層面 6 9 a に沿った平面的な光強度分布をそれぞれ取得する。この光強度分布が放射線 7 3 の線量分布に対応する。

[0209] そのために、ここでは、第 1 実施形態の製造方法で製造された熱蛍光板状体 6 9 を、26 枚積層させて形成した、熱蛍光積層体 6 7 を使用して撮影を行った。この撮影を行うために、放射線として、4 MeV の X 線を、図 9 に示す構成例と同様に、2 つの異なる方向から、熱蛍光積層体 6 7 の積層方向 7 1 に直交する主表面 6 7 a に対して照射した。

[0210] そして、熱蛍光積層体 6 7 を構成する各熱蛍光板状体 6 9 にばらした後、熱蛍光板状体 6 9 を各々 1 枚ずつ暗箱中に收容する。このとき、熱蛍光板状体 6 9 を、例えば 300°C に熱した金属板上に載置した状態で、暗箱に收容することによって、この熱蛍光板状体 6 9 を急速加熱する。その結果、熱蛍光板状体 6 9 は、各々放射線 7 3 が照射された箇所、すなわち被曝箇所において熱蛍光、すなわち発光が生じる。

[0211] 次に、暗箱中において、この熱蛍光が生じている状態の熱蛍光板状体 6 9 を、例えば CCD カメラを用いて撮影する。このとき、各熱蛍光板状体 6 9 を、それぞれ積層面 6 9 a に対して正対する方向から、撮影することによって、熱蛍光板状体 6 9 から発生する熱蛍光の光強度の、積層面 6 9 a に沿った 2 次元分布に関する、光強度分布を取得することができる。

- [0212] この撮影して得られた光強度分布を、可視化された光強度分布に関する情報として得るために、周知のソフトである商品名 *image J*、*OpenDX*、及び *Photoshop* を利用し、コンピュータによって画像の処理を行う。これによって、図 11 (A) ~ (E) に示す画像を得る。
- [0213] 図 11 (A) ~ (E) は、第 2 過程において実際に撮影した、熱蛍光の平面的な光強度分布に関する画像を示す図である。
- [0214] この図 11 (A) ~ (E) に係る 2 次元光強度分布の画像では、放射線の線量が大きいほど淡く表示され、また、線量が小さいほど濃く表示されている。
- [0215] また、これら図 11 (A) ~ (E) の各画像は、図 10 に示した各熱蛍光板状体 75 a、75 b、75 c、75 d、及び 75 e にそれぞれ対応している。
- [0216] すなわち、図 10 の構成例における熱蛍光板状体 75 a を、上述した方法で撮影したとき、積層面 75 a a に沿った被曝箇所 77 a a 及び 77 a b の線量分布は、図 11 (A) に示す熱蛍光箇所 79 a a 及び 79 a b として画像化される。
- [0217] また、図 10 の構成例における熱蛍光板状体 75 b を、上述した方法で撮影したとき、積層面 75 b a に沿った被曝箇所 77 b a 及び 77 b b の線量分布は、図 11 (B) に示す熱蛍光箇所 79 b a 及び 79 b b として画像化される。
- [0218] また、図 10 の構成例における熱蛍光板状体 75 c を、上述した方法で撮影したとき、積層面 75 c a に沿った被曝箇所 77 c の線量分布は、図 11 (C) に示す熱蛍光箇所 79 c として画像化される。上述したように、被曝箇所 77 c は、放射線 73 a 及び 73 b が交差する部分における被曝箇所である。従って、この熱蛍光箇所 79 c では、線量が大きいため、この熱蛍光箇所 79 c に対応する 2 次元光強度分布の画像は、熱蛍光箇所 79 c として淡い色を呈している。
- [0219] また、図 10 の構成例における熱蛍光板状体 75 d を、上述した方法で撮

影したとき、積層面75daに沿った被曝箇所77da及び77dbの線量分布は、図11(D)に示す熱蛍光箇所79da及び79dbとして画像化される。

[0220] また、図10の構成例における熱蛍光板状体75eを、上述した方法で撮影したとき、積層面75eaに沿った被曝箇所77ea及び77ebの線量分布は、図11(D)に示す熱蛍光箇所79ea及び79ebとして画像化される。

[0221] このように、第2過程では、上述した撮影を、熱蛍光積層体67を構成する全ての熱蛍光板状体69について行うことによって、図11(A)～(E)に示すような熱蛍光の2次元光強度分布の画像を、熱蛍光積層体67を構成する、複数の熱蛍光板状体69の各々から取得する。

[0222] 次に、第3過程では、取得したそれぞれの光強度分布を、積層方向71に、積層順に順次重ね合わせることによって、図12に示すような、熱蛍光の立体的な光強度分布、すなわち3次元光強度分布に関する画像を取得する。これによって、熱蛍光積層体67における、立体的な光強度分布に対応した、放射線73の立体的な線量分布情報を取得する。

[0223] そのために、例えば、周知のソフトである、商品名VisualFortran及びOpenDXを利用し、コンピュータによって画像処理することによって、図11(A)～(E)に示したような2次元光強度分布の各画像を、図9に示した熱蛍光積層体67の積層順に順次重ね合わせる。

[0224] その結果、第2過程において得られた各画像において、各熱蛍光板状体69の、各積層面69aに沿った各被曝箇所に対応する、平面的な各熱蛍光箇所が、立体的に積層される。これによって、積層された各熱蛍光箇所の画像から、熱蛍光積層体67の立体的な被曝箇所に対応する、立体的な熱蛍光部81として得られ、この熱蛍光部81が実質的に、照射された放射線の3次元線量分布とみなされることができる。

[0225] このように、上述した熱蛍光積層体67を使用することによって、容易に放射線の3次元線量分布に関する画像を取得することができる。

- [0226] なお、ここでは、一例として第1実施形態の製造方法により製造された熱蛍光板状体を具える熱蛍光積層体67を使用した、放射線の3次元線量分布に関する画像の取得方法について説明したが、従来周知の熱蛍光板状体を使用した場合でも、上述した第1過程から第3過程までの各過程を行うことによって、放射線の3次元線量分布を取得することができる。
- [0227] また、この実施の形態では、一例として、熱蛍光積層体67の積層方向71に直交した主表面67a側から放射線を入射させて、この放射線の3次元線量分布の情報を取得する構成例について説明した。しかしながら、既に説明したように、この実施の形態では、熱蛍光積層体67の積層方向71に沿った側面から放射線を入射させて、この放射線の3次元線量分布を取得することも可能である。
- [0228] 例えば、図9の構成例において、熱蛍光積層体67の積層方向71に沿った側面67b側から、異なる2方向からの放射線を、積層面69aと平行な平面に沿って照射した場合には、上述した第2過程において、被曝した熱蛍光板状体から、例えば図13に示すような、積層面69aに沿った熱蛍光箇所83を示す2次元光強度分布の画像を得ることができる。このような場合においても、熱蛍光積層体67を構成する各熱蛍光板状体69の、積層面69aに沿った2次元光強度分布の画像をそれぞれ撮影し、しかる後、上述した第3過程において、各画像を重ね合わせることによって、この実施の形態と同様に、光強度分布を以って、放射線の3次元線量分布に関する情報を取得することができる。

符号の説明

- [0229] 11、67：熱蛍光積層体
13、69、75a、75b、75c、75d、75e：熱蛍光板状体
15、71：積層方向
73、73a、73b：放射線
77aa、77ab、77ba、77bb、77c、77da、77db、
77ea、77eb：被曝箇所

79 a a、79 a b、79 b a、79 b b、79 c、79 d a、79 d b、
79 e a、79 e b、83 : 熱蛍光箇所
81 : 熱蛍光部

請求の範囲

- [請求項1] 四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、及び酸化アルミニウムを混合して第1混合体を形成する工程と、
該第1混合体を熱処理することによって第1焼結体を形成する工程と、
該第1焼結体を粉砕して粉砕体にする工程と、
該粉砕体を活性炭と混合して第2混合体を形成する工程と、
該第2混合体を平板状に圧迫成型することによって板状体を形成する工程と、
該板状体を熱処理することによって、第2焼結体としての熱蛍光板状体を形成する工程と、
を含むことを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。
- [請求項2] 請求項1に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、
前記第1混合体を形成するにあたり、四ホウ酸リチウムに対して、
0.03～0.16wt%の範囲内の割合で酸化マンガン（IV）、
及び0.6～3.6wt%の範囲内の割合で酸化アルミニウムを、それぞれ添加する
ことを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。
- [請求項3] 請求項2に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、
前記第1混合体を形成するにあたり、四ホウ酸リチウムに対して、
0.037wt%の酸化マンガン（IV）、及び0.72wt%の酸化アルミニウムを、それぞれ添加する
ことを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。
- [請求項4] 請求項1～3のいずれか一項に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、
前記第2混合体を形成するにあたり、前記粉砕体に対して多くとも
0.19倍の重量比で活性炭を混合する
ことを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。

- [請求項5] 請求項4に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、
前記第2混合体を形成するにあたり、前記粉碎体及び前記活性炭を、
1 : 0.16の重量比で混合することを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。
- [請求項6] 請求項1～5のいずれか一項に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、
前記第2混合体を形成するにあたり、前記粉碎体に、四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、及び酸化アルミニウムの混合体を新たに混入することのない
ことを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。
- [請求項7] 請求項1に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、
前記第2混合体を形成するにあたり、前記粉碎体及び前記活性炭に、
四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、及び酸化アルミニウムを混合して形成した第3混合体を混入することを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。
- [請求項8] 請求項7に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、
前記第1混合体を形成するにあたり、四ホウ酸リチウムに対して、
0.01～0.20wt%の範囲内の割合で酸化マンガン（IV）、
及び0.02～2.00wt%の範囲内の割合で酸化アルミニウムを、
それぞれ添加し、及び
前記第3混合体を形成するにあたり、四ホウ酸リチウムに対して、
0.01～0.20wt%の範囲内の割合で酸化マンガン（IV）、
及び0.02～2.00wt%の範囲内の割合で酸化アルミニウムを、
それぞれ添加することを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。
- [請求項9] 請求項7または8に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、
前記第2混合体を形成するにあたり、前記粉碎体、前記第3混合体、
及び前記活性炭を、1.00 : 0.10 : 0.18の重量比で混合

する

ことを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。

[請求項10] 請求項7～9のいずれか一項に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、

前記第3混合体を形成するにあたり、さらに、酸化ホウ素を追加して混合する

ことを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。

[請求項11] 請求項10に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、

前記第3混合体を形成するにあたり、四ホウ酸リチウムに対して、0.01～0.20wt%の範囲内の割合で酸化マンガン（IV）、0.02～2.00wt%の範囲内の割合で酸化アルミニウム、及び最大でも8.00wt%の割合で酸化ホウ素を、それぞれ添加することを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。

[請求項12] 四ホウ酸リチウム及び酸化マンガン（IV）を混合して第1混合体を形成する工程と、

該第1混合体を熱処理することによって第1焼結体を形成する工程と、

該第1焼結体を粉砕して粉砕体にする工程と、

四ホウ酸リチウム、酸化マンガン（IV）、及び酸化アルミニウムを混合して第3混合体を形成する工程と、

前記粉砕体及び前記第3混合体と活性炭とを混合して第2混合体を形成する工程と、

該第2混合体を平板状に圧迫成型することによって板状体を形成する工程と、

該板状体を熱処理することによって、第2焼結体としての熱蛍光板状体を形成する工程と、

を含むことを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。

[請求項13] 請求項12に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、

前記第3混合体を形成するにあたり、さらに、酸化ホウ素を追加して混合する

ことを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。

[請求項14] 請求項1～6のいずれか一項に記載の熱蛍光板状体の製造方法を用いて製造された熱蛍光板状体を複数枚用意する第1工程と、

該複数枚の熱蛍光板状体を積層することによって、熱蛍光積層体を形成する第2工程と

を含むことを特徴とする熱蛍光積層体の製造方法。

[請求項15] 請求項1～6のいずれか一項に記載の熱蛍光板状体の製造方法を用いて製造された熱蛍光板状体。

[請求項16] 請求項15に記載の熱蛍光板状体が、複数枚積層されて形成されていることを特徴とする熱蛍光積層体。

[請求項17] 請求項16に記載の熱蛍光積層体であって、

3次元線量分布を取得するために用いられることを特徴とする熱蛍光積層体。

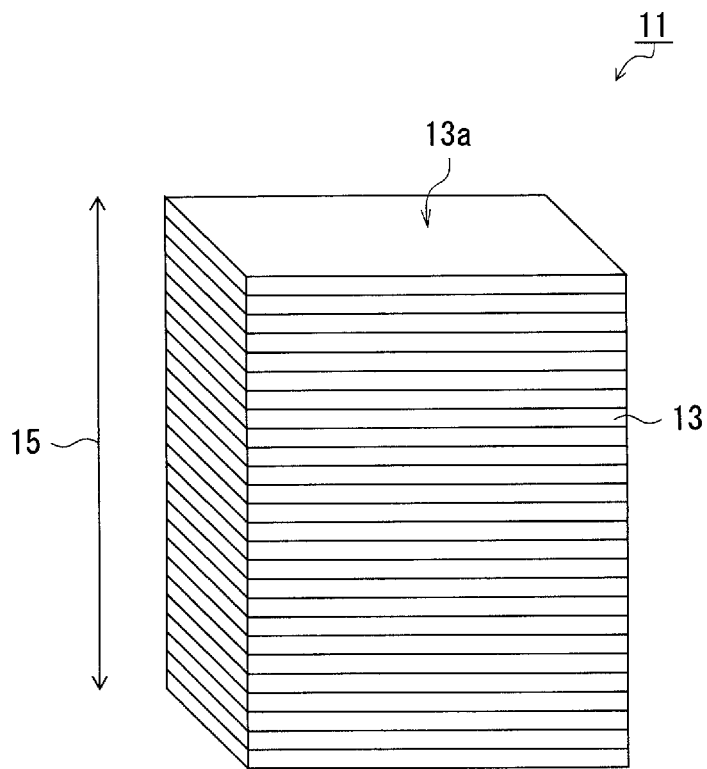
[請求項18] 請求項16または17に記載の熱蛍光積層体に対して放射線を照射する過程と、

前記熱蛍光積層体を構成する複数の熱蛍光板状体の各々から加熱により発生する熱蛍光を、該複数の熱蛍光板状体の積層面に直交する方向からそれぞれ撮影して、前記放射線の線量分布に対応した、前記積層面に沿った前記放射線の平面的な光強度分布をそれぞれ取得する過程と、

取得したそれぞれの前記光強度分布を、前記積層方向に、積層順に順次重ね合わせることによって、前記熱蛍光積層体における、立体的な光強度分布に対応した、前記放射線の立体的な線量分布を取得する過程と

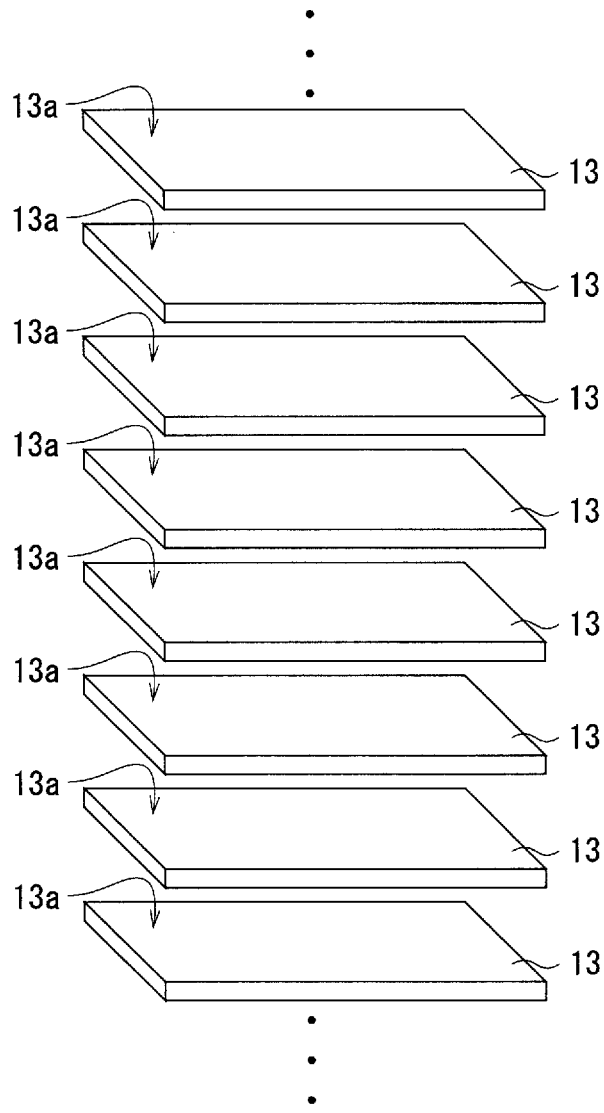
を含むことを特徴とする放射線の3次元線量分布の取得方法。

[図1]

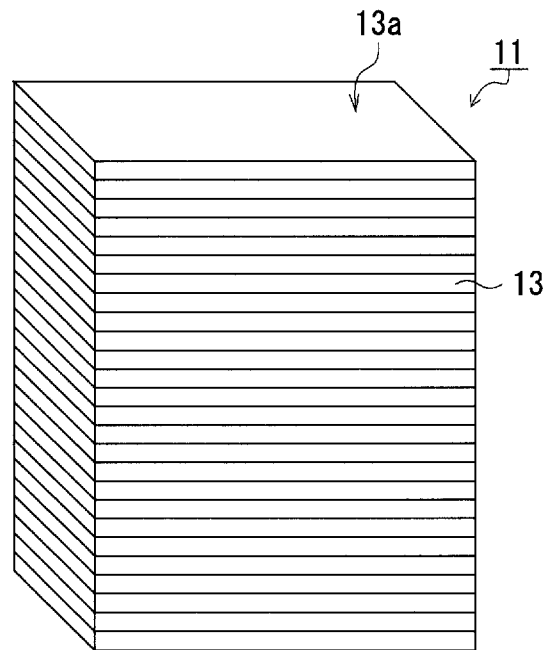


[図2]

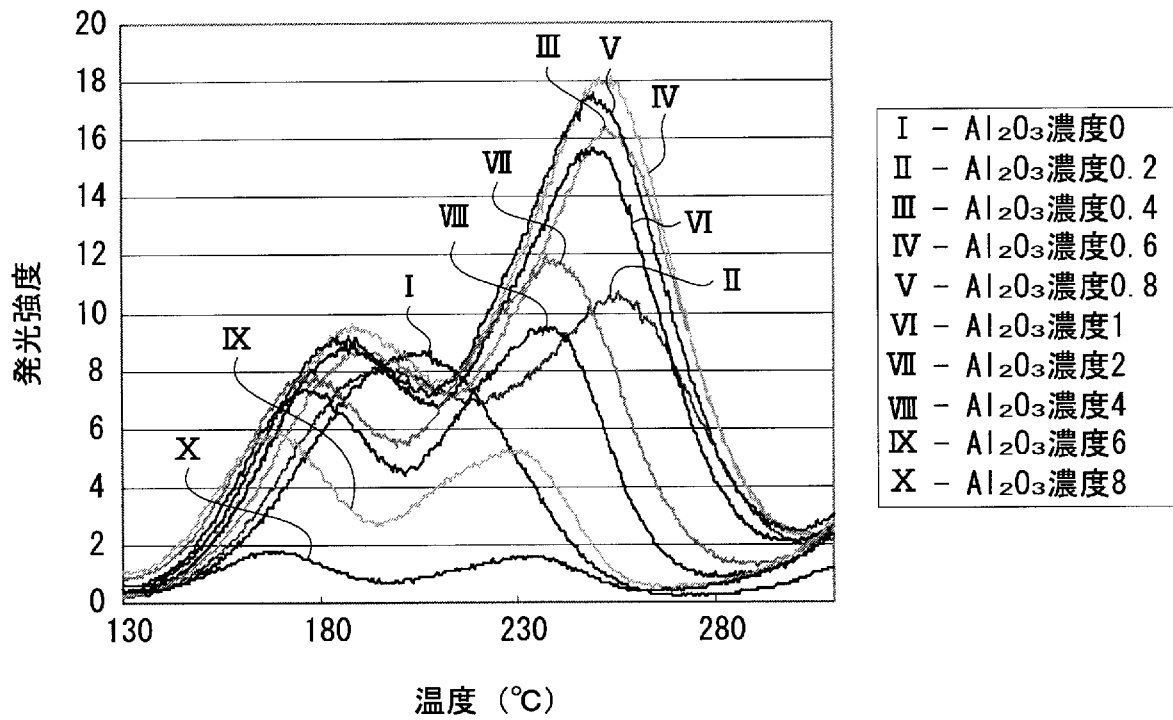
(A)



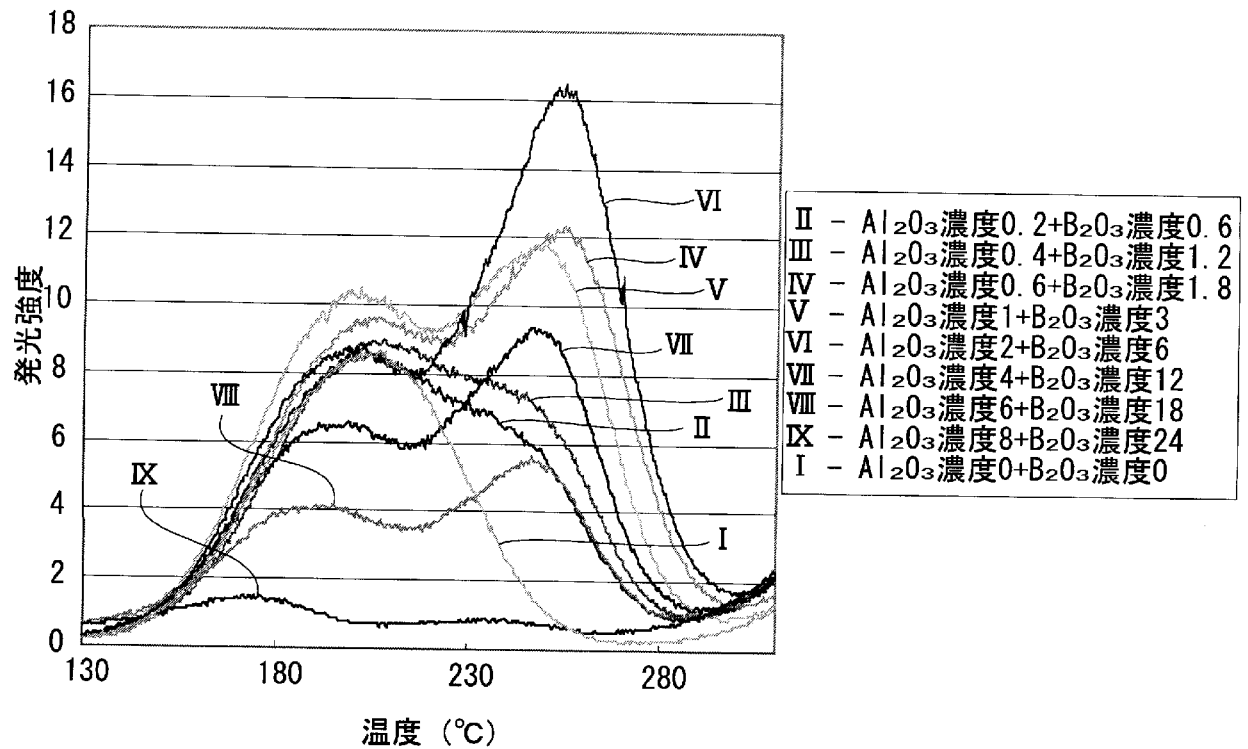
(B)



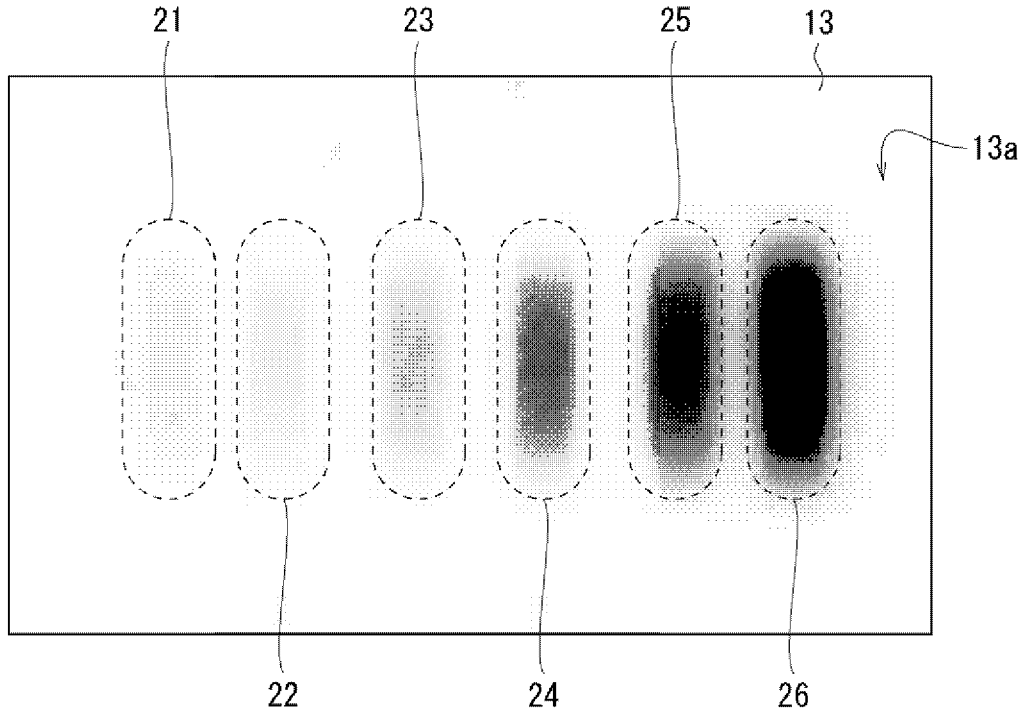
[図3]



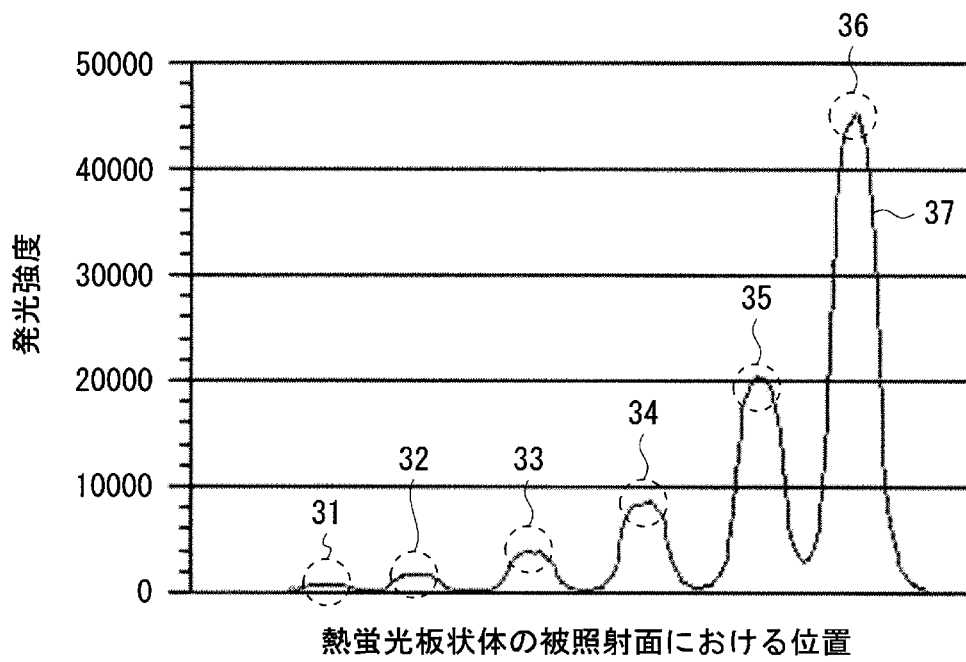
[図4]



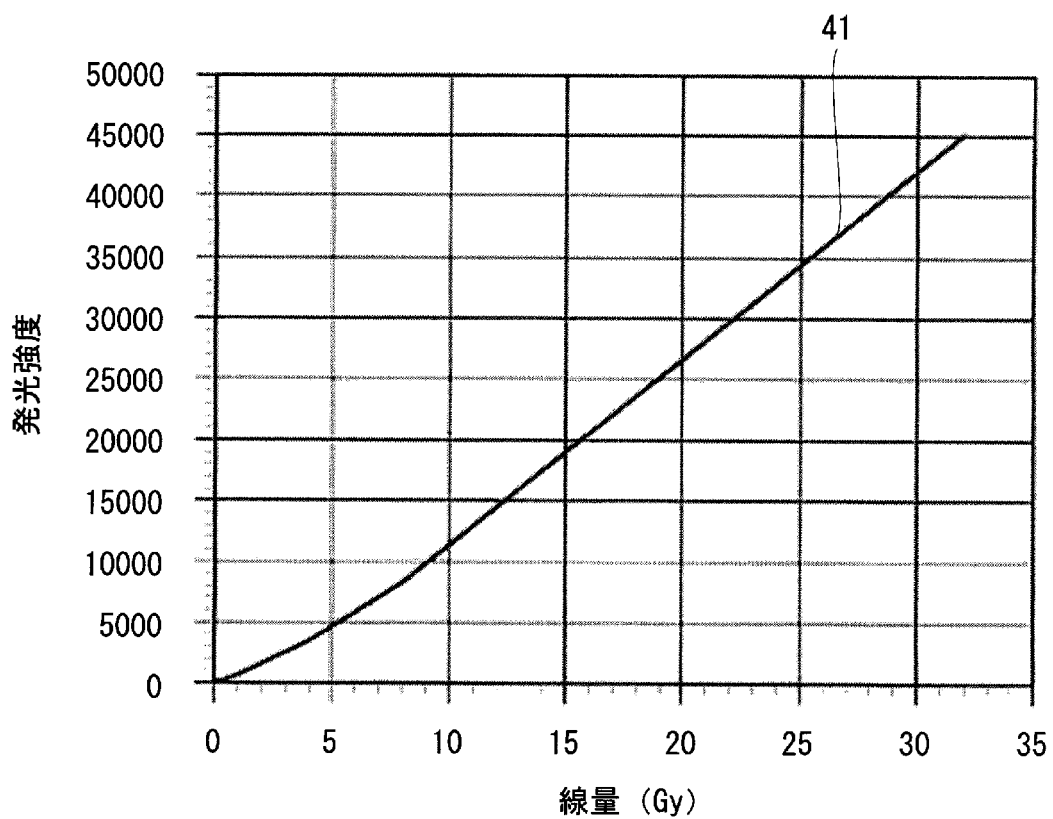
[図5]



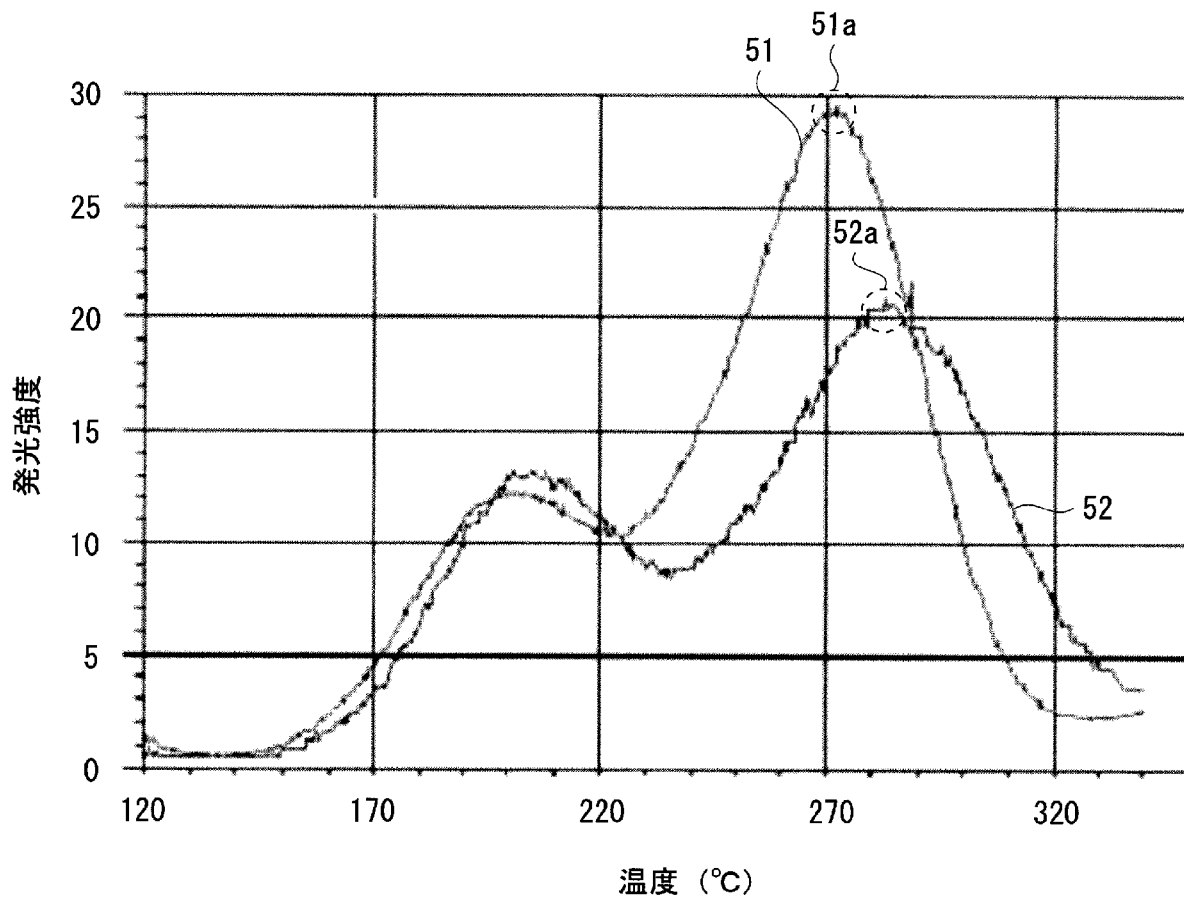
[図6]



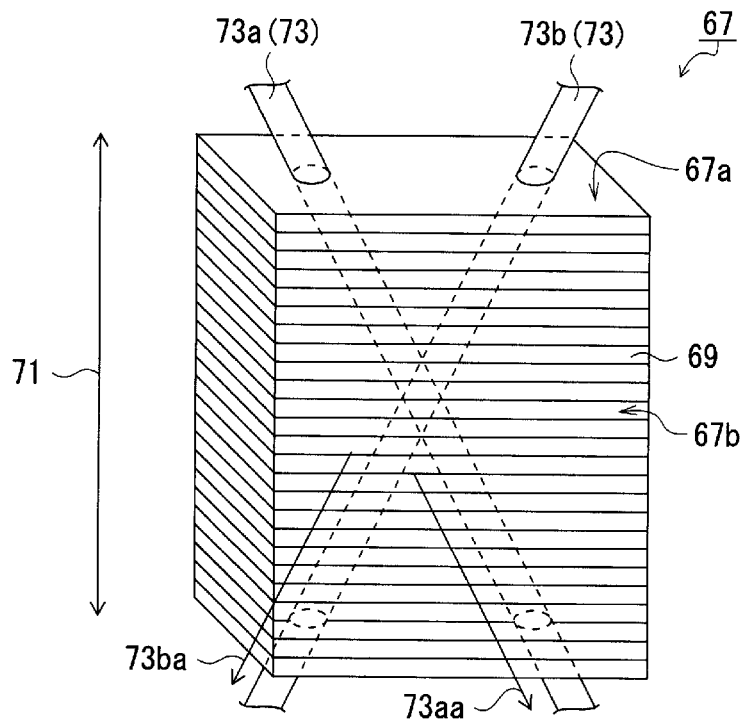
[図7]



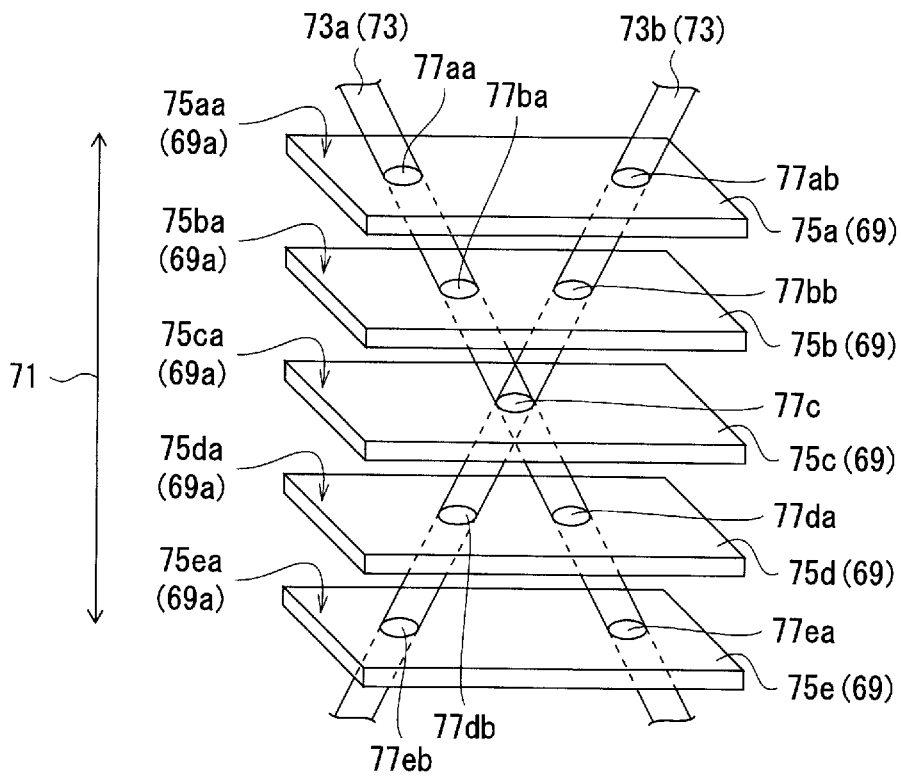
[図8]



[図9]

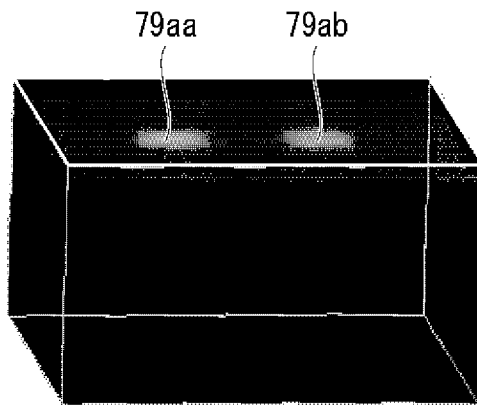


[図10]

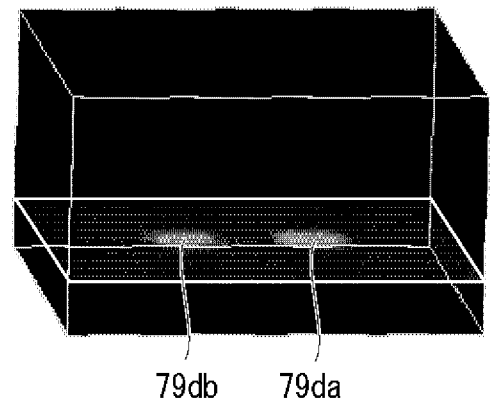


[図11]

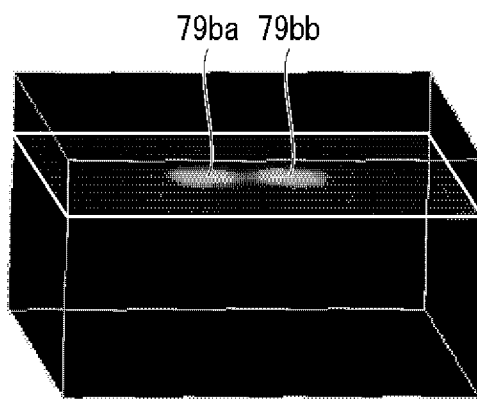
(A)



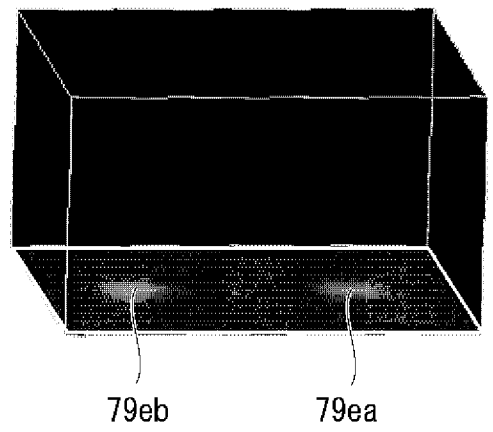
(D)



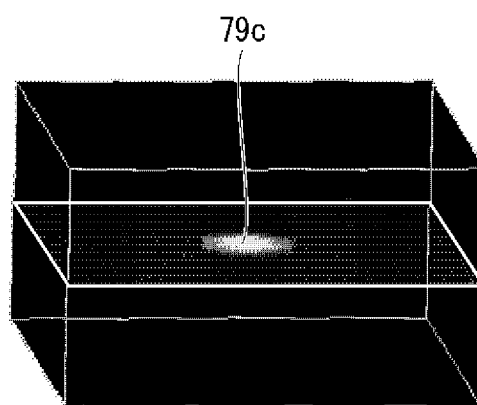
(B)



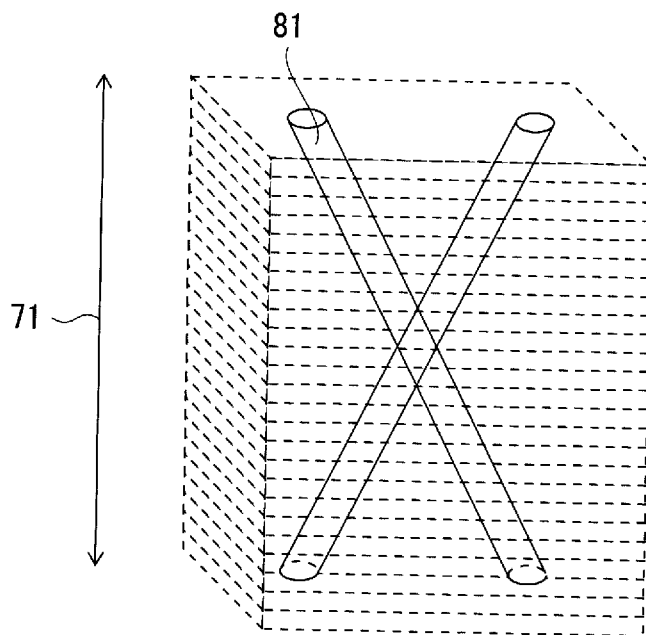
(E)



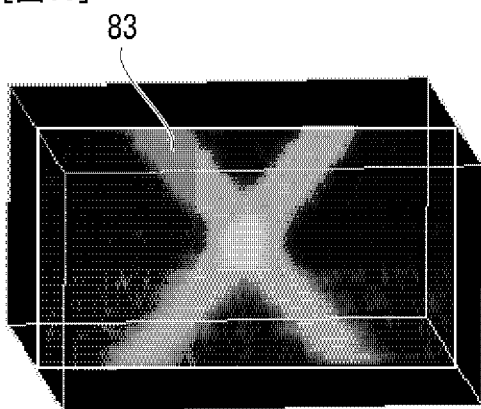
(C)



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/070094

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C09K11/08(2006.01)i, C09K11/00(2006.01)i, C09K11/63(2006.01)i, G01T1/11(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)

C09K11/08, C09K11/00, C09K11/63, G01T1/11

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 | 1996-2009 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2009 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2009 |

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| A | JP 52-65186 A (Dai Nippon Toryo Co., Ltd.), 30 May 1977 (30.05.1977), entire text (Family: none) | 1-18 |
| A | JP 2002-341034 A (Korea Atomic Energy Research Institute), 27 November 2002 (27.11.2002), entire text & US 6586752 B1 | 1-18 |
| A | JP 2003-119070 A (Hitachi Medical Corp.), 23 April 2003 (23.04.2003), entire text (Family: none) | 1-18 |

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
10 December, 2009 (10.12.09)

Date of mailing of the international search report
22 December, 2009 (22.12.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/070094

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | JP 2008-256404 A (Osaka Sangyo University), 23 October 2008 (23.10.2008), entire text (Family: none) | 1-18 |
| A | JP 59-72076 A (Georg Holzapfel), 23 April 1984 (23.04.1984), entire text & US 4510174 A & EP 99852 A2 | 1-18 |
| A | WO 2004/23159 A1 (Asahi Techno Glass Corp.), 18 March 2004 (18.03.2004), entire text & US 2005/0218339 A1 & EP 1544641 A1 | 1-18 |
| A | US 4506157 A (Manfred Keller), 19 March 1985 (19.03.1985), entire text (Family: none) | 1-18 |

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. C09K11/08(2006.01)i, C09K11/00(2006.01)i, C09K11/63(2006.01)i, G01T1/11(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. C09K11/08, C09K11/00, C09K11/63, G01T1/11

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 1971-2009年
 日本国実用新案登録公報 1996-2009年
 日本国登録実用新案公報 1994-2009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/JMEDPlus/JST7580(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 |
|-----------------|--|----------------|
| A | JP 52-65186 A (大日本塗料株式会社) 1977.05.30, 全文 (ファミリーなし) | 1-18 |
| A | JP 2002-341034 A (韓国原子力研究所) 2002.11.27, 全文 & US 6586752 B1 | 1-18 |
| A | JP 2003-119070 A (株式会社日立メディコ) 2003.04.23, 全文 (ファミリーなし) | 1-18 |

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 | の日の後に公表された文献 |
| 「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 | 「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 |
| 「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 | 「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 |
| 「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) | 「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 |
| 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」同一パテントファミリー文献 |
| 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |

| | |
|---|--|
| 国際調査を完了した日 10.12.2009 | 国際調査報告の発送日 22.12.2009 |
| 国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号 | 特許庁審査官 (権限のある職員) 中西 祐子 電話番号 03-3581-1101 内線 3483 |

| 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 | JP 2008-256404 A (学校法人大阪産業大学) 2008. 10. 23, 全文 (ファミリーなし) | 1-18 |
| A | JP 59-72076 A (ゲオルク・ホルツアプフェル) 1984. 04. 23, 全文 & US 4510174 A & EP 99852 A2 | 1-18 |
| A | WO 2004/23159 A1 (旭テクノグラス株式会社) 2004. 03. 18, 全文 & US 2005/0218339 A1 & EP 1544641 A1 | 1-18 |
| A | US 4506157 A (Manfred Keller) 1985. 03. 19, 全文 (ファミリーなし) | 1-18 |