

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第4457219号
(P4457219)

(45) 発行日 平成22年4月28日 (2010. 4. 28)

(24) 登録日 平成22年2月19日 (2010. 2. 19)

(51) Int.Cl.	F I	
C09K 11/08 (2006.01)	C09K 11/08	B
C09K 11/63 (2006.01)	C09K 11/63	
C09K 11/00 (2006.01)	C09K 11/00	A
G01T 1/11 (2006.01)	G01T 1/11	A
G21K 4/00 (2006.01)	G01T 1/11	C

請求項の数 10 (全 29 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2009-244317 (P2009-244317)	(73) 特許権者	300071579
(22) 出願日	平成21年10月23日 (2009.10.23)		学校法人立教学院
(62) 分割の表示	特願2008-306373 (P2008-306373)		東京都豊島区西池袋3丁目34番1号
	の分割	(74) 代理人	100085419
原出願日	平成20年12月1日 (2008.12.1)		弁理士 大垣 孝
審査請求日	平成21年10月23日 (2009.10.23)	(74) 代理人	100141955
早期審査対象出願			弁理士 岡田 宏之
		(72) 発明者	漆山 秋雄
			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
		(72) 発明者	眞正 浄光
			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

最終頁に続く

(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) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

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混合して第1混合体を形成する第1工程と、

該第1混合体を熱処理することによって第1焼結体を形成し、該第1焼結体を粉砕して粉砕体にする第2工程と、

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混合して第2混合体を得る第3工程と、

前記粉砕体と前記第2混合体と活性炭とを混合し、しかる後、該混合して得られた第3混合体を平板状に圧成型することによって板状体を形成する第4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第5工程とを含み、

前記第1工程において、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)、及び0.02~2.00wt%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前記第1混合体を形成し、及び

前記第3工程において、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)、及び0.02~2.00wt%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、前記第2混合体を形成する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 4 工程において、前記粉砕体、前記第 2 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によって、前記第 3 混合体を形成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 1 または 2 に記載の熱蛍光板状体の製造方法であって、
前記第 3 工程において、さらに、酸化ホウ素を追加して混合し、
該第 3 工程において、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)、0.02 ~ 2.00 wt % の割合で酸化アルミニウム、及び最大でも 8.00 wt % の割合で酸化ホウ素を、それぞれ添加することによって、前記第 2 混合体を形成する
ことを特徴とする熱蛍光板状体の製造方法。

10

【請求項 4】

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

該第 1 混合体を熱処理することによって第 1 焼結体を形成し、該第 1 焼結体を粉砕して粉砕体にする第 2 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 2 混合体を得る第 3 工程と、

前記粉砕体及び前記第 2 混合体と活性炭とを混合し、しかる後、該混合して得られた第 3 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第 4 工程と、

20

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第 5 工程とを含み、

前記第 1 工程において、55.69 g の四ホウ酸リチウムに対して、0.0201 g の酸化マンガン (IV) を添加することによって前記第 1 混合体を形成し、

前記第 3 工程において、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、それぞれ添加することによって、前記第 2 混合体を形成し、及び

前記第 4 工程において、12.0 g の前記粉砕体、前記第 2 混合体、及び 2.16 g の前記活性炭を混合することによって、前記第 3 混合体を形成する

30

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 3 工程において、さらに、0.078 g の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 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を用いて製造された熱蛍光板状体。

【請求項 7】

請求項 6 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。

40

【請求項 8】

請求項 7 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 9】

請求項 6 に記載の熱蛍光板状体を複数枚用意する第 1 工程と、

複数枚の前記熱蛍光板状体を積層して、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 10】

請求項 7 または 8 に記載の熱蛍光積層体に対して放射線を照射する第 1 過程と、

50

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、前記放射線の、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情報に対応した、前記積層面に沿った平面的な光強度分布情報をそれぞれ取得する第2過程と、

取得したそれぞれの前記光強度分布情報を、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情報を取得する第3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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【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、及び熱蛍光積層体の使用方法に関する。

【背景技術】

【0002】

周知の通り、近年の放射線治療では、放射線として例えば硬X線、電子線、または加速粒子線等を、照射する放射線の形状及び線量の大小を適宜設定して照射する、3次元原体照射(3D-CRT)や強度変調放射線治療(IMRT)などの、高度な定位放射線照射が注目されている(例えば、非特許文献1参照)。これらの治療方法では、例えば治療計画装置を利用して放射線の照射位置や範囲、または出力等の種々のパラメータを設定して、放射線の照射を行う。これによって、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与える等の、精密な治療を実現させる努力がなされている。従って、このような放射線治療では、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。そして、照射装置自体の機械的精度、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。

20

【0003】

そこで、このような放射線治療では、実施に際して、治療に用いる放射線の線量測定を行うことによって、上述した各種パラメータ値の決定や精度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を得る必要がある。そのために、従来から、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)。

30

【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、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を添加されて構成されている、熱蛍光性物質、すなわち熱蛍光本体を含有している。これによって、この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。

40

【0006】

このように、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、このよう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。

50

【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に関する情報が得られる。そして、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。従って、この得られた光強度分布の情報を以って、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」とされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【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

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、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、保存及び品質を管理することが困難である。

20

【0011】

これに対して、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、ポリマーゲル線量計とは異なり、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。そのため、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といえる。

【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設定するための十分なデータを得ることができない。

30

【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、この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ことに想到した。

【0014】

すなわち、このような熱蛍光積層体に対する放射線照射後に、それぞれの熱蛍光板状体にバラしてから、各熱蛍光板状体を加熱する。そして、各熱蛍光板状体から、この加熱により発生する熱蛍光の光強度分布を取得する。上述したように、周知の通り、熱蛍光の光強度と被曝線量とは一定の対応関係があるため、取得された光強度分布情報を以って、実質的な線量分布情報を得ることができる。そして、これら得られた各線量分布情報を、元の熱蛍光積層体に照射した放射線の線量分布情報として復元すれば、立体的な、すなわち3次元線量分布を取得できることを見出した。

40

【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、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ことにある。

50

【0016】

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は、以下の特徴を有している。

【0017】

すなわち、第1の要旨による熱蛍光板状体は、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及びアルミニウム（III）とを含んでいる。

【0018】

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、上述した第1の要旨による熱蛍光板状体の製造方法であって、以下の第1工程から第5工程までの各工程を含んでいる。

【0019】

まず、第1工程では、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。

【0020】

次に、第2工程では、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、この第1焼結体を粉砕して粉砕体にする。

【0021】

次に、第3工程では、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2混合体を得る。

【0022】

次に、第4工程では、粉砕体と第2混合体と活性炭とを混合し、しかる後、混合して得られた第3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。

【0023】

次に、第5工程では、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。

この発明の第2の要旨による熱蛍光板状体の製造方法では、第1工程において、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ン（IV）、及び0.02～2.00wt%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混合体を形成し、及び第3工程において、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ン（IV）、及び0.02～2.00wt%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2混合体を形成する。

【0024】

また、この発明の第3の要旨による熱蛍光板状体の製造方法は、上述した第1の要旨による熱蛍光板状体の製造方法であって、以下の第1工程から第5工程までの各工程を含んでいる。

【0025】

まず、第1工程では、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。

【0026】

次に、第2工程では、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、この第1焼結体を粉砕して粉砕体にする。

【0027】

次に、第3工程では、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2混合体を得る。

【0028】

次に、第4工程では、粉砕体と第2混合体と活性炭とを混合し、しかる後、該混合して得られた第3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。

【0029】

次に、第5工程では、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。

10

20

30

40

50

この発明の第3の要旨による熱蛍光板状体の製造方法では、第1工程において、55.69gの四ホウ酸リチウムに対して、0.0201gの酸化マンガ(IV)を添加することによって前記第1混合体を形成し、第3工程において、1.096gの四ホウ酸リチウムに対して、0.0004gの酸化マンガ(IV)、及び0.025gの酸化アルミニウムを、それぞれ添加することによって、前記第2混合体を形成し、及び第4工程において、12.0gの粉碎体、第2混合体、及び2.16gの活性炭を混合することによって、第3混合体を形成する。

【0030】

また、この発明の第4の要旨による熱蛍光積層体は、以下の特徴を有している。

【0031】

すなわち、第4の要旨による熱蛍光積層体は、上述した第2または第3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が、複数枚積層されて形成されている。

【0032】

また、この発明の第5の要旨による熱蛍光積層体の製造方法は、以下の第1工程及び第2工程を含んでいる。

【0033】

まず、第1工程では、上述した第2または第3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。

【0034】

次に、第2工程では、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。

【0035】

また、この発明の第6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4の要旨による熱蛍光積層体を使用する方法であり、以下の第1過程から第3過程までの各過程を含んでいる。

【0036】

まず、第1過程では、上述した第4の要旨による熱蛍光積層体に対して放射線を照射する。

【0037】

次に、第2過程では、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、放射線の、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、放射線の線量分布情報に対応した、積層面に沿った平面的な光強度分布情報をそれぞれ取得する。

【0038】

次に、第3過程では、取得したそれぞれの光強度分布情報を、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情報を取得する。

【発明の効果】

【0039】

この発明の第1の要旨による熱蛍光板状体、及び第2または第3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は、母体にアルミニウム(III)を含んでいる。その結果、上述した従来周知の熱蛍光板状体、すなわちアルミニウム(III)非含有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、より高感度で放射線の線量分布を得ることができる。

【0040】

また、第1の要旨による熱蛍光板状体、及び第2または第3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では、母体にアルミニウム(III)が含まれることによって、機械的強度が増加する。

【0041】

また、この発明の第4の要旨による熱蛍光積層体は、第2または第3の要旨による熱蛍

10

20

30

40

50

光板状体の製造方法を用いて製造された熱蛍光板状体が、複数枚積層されることによって形成されている。

【0042】

既に説明したように、光強度と線量とは一定の対応関係があることは周知であり、この関係を前提とすると、この熱蛍光板状体によれば、この熱蛍光板状体の、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、第4の要旨による熱蛍光積層体では、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して、各熱蛍光板状体から発生する熱蛍光の光強度分布から、それぞれ放射線の2次元線量分布を得ることができる。このとき、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次元線量分布を取得する。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。

10

【0043】

従って、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。

【0044】

さらに、既に説明したように、第2または第3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、第2または第3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によって構成されている、第4の要旨による熱蛍光積層体は、高感度で放射線の3次元線量分布を取得することができるとともに、良好な機械的強度を有している。

20

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】この発明の第1の参考例を説明するための図であり、第1の参考例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、第1の参考例による熱蛍光積層体の製造方法を説明する工程図である。

30

【図3】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4】熱蛍光本体の発光強度と、アルミニウム(III)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】この発明の第2の実施の形態を説明するための図であり、第2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6】(A)及び(B)は、第2の実施の形態による熱蛍光積層体の製造方法を説明する工程図である。

【図7】第3の実施の形態を説明する、概略的な斜視図で示してある。

40

【図8】第3の実施の形態を説明する、概略的な斜視図で示してある。

【図9】(A)～(E)は、第3の実施の形態に係る第2過程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10】第3の実施の形態を説明する、概略的な斜視図で示してある。

【図11】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形態】

【0046】

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

50

、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。

【0047】

第1の参考例

第1の参考例では、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として、複数枚の熱蛍光板状体が積層されて形成されている熱蛍光積層体、及びその製造方法の好適例について説明する。

10

【0048】

図1は、この発明の第1の参考例を説明するための図であり、第1の参考例に係る熱蛍光積層体を概略的に示した斜視図である。

【0049】

第1の参考例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。

【0050】

この第1の参考例では、熱蛍光板状体13として、従来周知の、例えば上述した特許文献1に開示されているシート状、すなわち平板状の熱蛍光板状体を用いる。この熱蛍光板状体は、特許文献1に開示されている方法で形成すれば、得ることができる。

20

【0051】

第1の参考例に係る熱蛍光板状体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、放射線の線量を測定する目的で用いられる。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)。

【0052】

そこで、第1の参考例では、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、この熱蛍光板状体13における熱蛍光物質としての熱蛍光本体、すなわち実効原子番号が7.24程度である、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む、当該熱蛍光本体を含有している。その結果、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。なお、この第1の参考例において、熱蛍光本体の母体である四ホウ酸リチウムは、アルミニウム(III)非含有である。

30

【0053】

そして、熱蛍光板状体13は、この熱蛍光本体と耐熱性樹脂とで構成されている。耐熱性樹脂は、例えばフッ素樹脂、ポリエーテル樹脂、またはポリアミド樹脂等であり、熱蛍光板状体13中においてバインダとして機能する。

40

【0054】

ところで、このような熱蛍光板状体13は、これに放射線が照射されると、被照射箇所、すなわち被曝箇所が熱により蛍光を発生する。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次元線量分布を測定することができる。な、光強度分布の測定、及び対応する線量分布の測定については、後述する。

【0055】

この第1の参考例では、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

50

状体 1 3 を積層させて熱蛍光積層体 1 1 を構成する。第 1 の参考例では、各熱蛍光板状体 1 3 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 1 3 の厚み、すなわち熱蛍光積層体 1 1 の積層方向 1 5 に沿った厚みを、例えば 2 mm 程度とするのが好ましい。また、熱蛍光積層体 1 1 を構成する熱蛍光板状体 1 3 の数、及び各熱蛍光板状体 1 3 の、積層方向 1 5 に直交する面、すなわち積層面 1 3 a 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。なお、図 1 では、26 枚の熱蛍光板状体 1 3 を積層させ、かつ各熱蛍光板状体 1 3 の積層面 1 3 a の平面形状を長方形とした、熱蛍光積層体 1 1 の構成例を示している。

【0056】

上述した第 1 の参考例による熱蛍光積層体 1 1 では、熱蛍光本体と耐熱性樹脂とで構成されている熱蛍光板状体 1 3 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、この熱蛍光板状体 1 3 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。従って、第 1 の参考例による熱蛍光積層体 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 を一旦バラす。バラされた各熱蛍光板状体 1 3 に対し加熱を行ってから、熱蛍光を発生させる。各熱蛍光板状体 1 3 に熱蛍光の上述した 2 次元光強度分布をそれぞれ測定する。これら光強度分布から、これら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。

【0057】

また、第 1 の参考例による熱蛍光積層体 1 1 では、この熱蛍光積層体 1 1 を構成する各熱蛍光板状体 1 3 中において熱蛍光を発生させる熱蛍光本体が、実効原子番号が 7.24 である四ホウ酸リチウムを母体として形成されている。従って、熱蛍光積層体 1 1 の実効原子番号は、人体の実効原子番号に近似な値に調整されているとみなすことができる。そのため、第 1 の参考例による熱蛍光積層体 1 1 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、得られた線量分布を以って、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。なお、第 1 の参考例による熱蛍光積層体 1 1 を用いて取得されたデータは、第 1 の参考例に係る熱蛍光本体と近似な実効原子番号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。

【0058】

また、第 1 の参考例による熱蛍光積層体 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、第 1 の参考例による熱蛍光積層体 1 1 は、3 次元線量分布を取得する線量計として使用でき、かつ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といえる。

【0059】

以上説明したこの第 1 の参考例による熱蛍光積層体 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。

【0060】

図 2 (A) 及び (B) は、第 1 の参考例による熱蛍光積層体 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。

【0061】

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。

【 0 0 6 2 】

第1の参考例では、既に説明したように、熱蛍光積層体を構成する熱蛍光板状体13として、従来周知の、例えば上述した特許文献1に開示されている、平板状の熱蛍光板状体を用いる。そこで、この第1工程では、上述した熱蛍光板状体13、すなわちアルミニウム(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、母体中に発光中心としてのマンガンとを含む熱蛍光板状体13を複数枚用意する。これら各熱蛍光板状体13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。また、第1の参考例では、各熱蛍光板状体13の厚みを、例えば2mm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13の数、及び積層面13aの平面形状を、例えば、測定する放射線の線質、線形、または用途に応じて、適宜設定しておく。上述した特許文献1によれば、この熱蛍光板状体13は、スライサによってスライスすることが可能であるため、第1の参考例では、予め各熱蛍光板状体13の厚みを2mmとし、積層面13a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13の積層面13aの平面形状を長方形とした場合の構成例を示している。

10

【 0 0 6 3 】

次に、第2工程では、複数枚の熱蛍光板状体13を積層して、熱蛍光積層体11を形成して図2(B)に示すような構造体を得る。

【 0 0 6 4 】

第1の参考例では、第1工程において用意した複数の熱蛍光板状体13を、例えば接着剤等を用いることなく、各熱蛍光板状体13の積層面13aを直接重ね合わせて、順次積層させて熱蛍光積層体11を得る。

20

【 0 0 6 5 】

第1の実施の形態

第1の実施の形態では、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及びアルミニウム(III)とを含む熱蛍光板状体、及びその製造方法の好適例について説明する。

【 0 0 6 6 】

第1の実施の形態による熱蛍光板状体は、上述した第1の参考例における熱蛍光板状体13(図1または図2参照)と同様に、平板状の熱蛍光板状体である。

30

【 0 0 6 7 】

そして、第1の実施の形態による熱蛍光板状体は、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。

【 0 0 6 8 】

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1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(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1の実施の形態では、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。

40

【 0 0 6 9 】

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感度を高める目的で含まれている。すなわち、第1の実施の形態によ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(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、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、第1の実施の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。

50

【0070】

また、アルミニウム（III）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、第1の実施の形態によ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（III）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。

【0071】

なお、この第1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（III）を添加することによって、母体にアルミニウム（III）を含有させる。従って、この第1の実施の形態では、アルミニウム（III）は、例えば、酸化アルミニウム（III）、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。

10

【0072】

ここで、発明者らは、熱蛍光本体がアルミニウム（III）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8.1keVのエネルギーで約50Gy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/sec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、酸化マンガン（IV）を四ホウ酸リチウムに対して、0.036wt%の割合で添加した。

20

【0073】

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（ ）を目盛ってある。

【0074】

また、図3において、曲線Iは、酸化アルミニウムを無添加の試料についての結果を示している。また、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。また、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。また、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。また、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。また、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。また、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。また、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。また、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。また、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。

30

40

【0075】

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）、1.0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を無添加の試料（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、第1の実施の形態によ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（III）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。

50

【 0 0 7 6 】

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、すなわちこの第 1 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。

【 0 0 7 7 】

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 ）の含有量に比例して増加するが、過剰に添加した場合には発光強度が低下する。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 . 0 w t % の割合で添加した試料（曲線 I X ）、及び酸化アルミニウムを 8 . 0 w t % の割合で添加した試料（曲線 X ）では、酸化アルミニウムを無添加の試料（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 . 6 w t % の割合で添加した試料（曲線 I V ）に、2 5 0 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 . 6 w t % の割合で添加するのが最適といえる。

【 0 0 7 8 】

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、高い含有量でアルミニウム（ I I I ）を含有させ、その結果、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。

【 0 0 7 9 】

そこで、この発明に係る発明者らは、熱蛍光本体、すなわちこの第 1 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。

【 0 0 8 0 】

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 / 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。

【 0 0 8 1 】

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（ ）を目盛ってある。

【 0 0 8 2 】

また、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を無添加の試料についての結果を示している。また、曲線 I I は、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを 0 . 2 w t % 、また、酸化ホウ素を 0 . 6 w t % の割合で添加した試料についての結果を示している。また、曲線 I I I は、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを 0 . 4 w t % 、また、酸化ホウ素を 1 . 2 w t % の割合で添加した試料についての結果

を示している。また、曲線 I V は、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを 0 . 6 w t %、また、酸化ホウ素を 1 . 8 w t % の割合で添加した試料についての結果を示している。また、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 . 0 w t %、また、酸化ホウ素を 3 . 0 w t % の割合で添加した試料についての結果を示している。また、曲線 V I は、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを 2 . 0 w t %、また、酸化ホウ素を 6 . 0 w t % の割合で添加した試料についての結果を示している。また、曲線 V I I は、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを 4 . 0 w t %、また、酸化ホウ素を 1 2 w t % の割合で添加した試料についての結果を示している。また、曲線 V I I I は、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを 6 . 0 w t %、また、酸化ホウ素を 1 8 w t % の割合で添加した試料についての結果を示している。また、曲線 I X は、四ホウ酸リチウムに対して、酸化アルミニウムを 8 . 0 w t %、また、酸化ホウ素を 2 4 w t % の割合で添加した試料についての結果を示している。

10

【 0 0 8 3 】

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 . 0 w t %、また、酸化ホウ素を 6 . 0 w t % の割合で添加した試料 (曲線 V I) に、2 5 3 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 . 0 w t % 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 . 6 w t % 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、第 1 の実施の形態による熱蛍光板状体は、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。

20

【 0 0 8 4 】

また、第 1 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、上述した第 1 の参考例に係る熱蛍光板状体と同様に、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、第 1 の実施の形態による熱蛍光板状体は、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。

30

【 0 0 8 5 】

さらに、第 1 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。

【 0 0 8 6 】

ここで、既に説明したように、第 1 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、第 1 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、第 1 の実施の形態による熱蛍光板状体は、人体により近似な密度を有している。

40

【 0 0 8 7 】

なお、第 1 の実施の形態によ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)、及び酸化ホウ素と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、第 1 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、熱処理される、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って、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。

【 0 0 8 8 】

50

第1の実施の形態による熱蛍光板状体では、上述した第1の参考例に係る熱蛍光板状体の場合と同様に、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、第1の実施の形態による熱蛍光板状体は、上述した第1の参考例に係る熱蛍光板状体の場合と同様に、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、第1の実施の形態による熱蛍光板状体は、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2mm程度とするのが好ましい。また、第1の実施の形態によ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。

10

【0089】

次に、以上説明したこの第1の実施の形態による熱蛍光板状体の製造方法について説明する。この製造方法は、第1工程から第5工程までを含んでいる。以下、第1工程から順に各工程につき説明する。

【0090】

まず、第1工程では、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。

【0091】

既に説明したように、製造される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、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、及び続く第2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する目的で添加される。

20

【0092】

そして、第1の実施の形態では、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、この第1工程において、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ン (IV)、及び0.02~2.00wt%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。

30

【0093】

また、この第1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)、及び酸化アルミニウムを粉砕して混合する。

【0094】

次に、第2工程では、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。

【0095】

第1の実施の形態では、この第2工程における熱処理に際して、まず、上述した第1工程によって得た第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。

40

【0096】

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。

【0097】

次に、第3工程では、第1混合体とは別に、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粉砕混合して第2混合体を得る。

【0098】

この第3工程において形成される、第2混合体に含まれる四ホウ酸リチウム、酸化マンガン (IV)、及び酸化アルミニウムは、上述した第1工程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、製造される熱蛍光板状体において、熱蛍光本体の母体と

50

なる。また、酸化マンガンを(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、及び後の第5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する目的で添加される。

【0099】

また、第1の実施の形態では、上述の第2混合体をそのまま以後の工程で使用しても良い。しかし、この第2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。

10

【0100】

そして、第1の実施の形態では、これらの目的を達成するために、この第3工程において、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ンを(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2混合体を形成するのが好ましい。

【0101】

また、この第3工程では、第2混合体を形成するために、これら四ホウ酸リチウム、酸化マンガンを(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。

20

【0102】

なお、第1の実施の形態では、この第2混合体を得る第3工程と、上述した第1焼結体を得る第1工程及び第2工程とは、いずれを先に行っても良い。

【0103】

次に、第4工程では、まず、上述した第1工程及び第2工程によって得た第1焼結体の粉砕体、及び第3工程で得た第2混合体と活性炭とを混合して、第3混合体を得る。

【0104】

既に説明したように、この第1の実施の形態では、熱蛍光板状体を得るための熱処理、すなわち続く第5工程における熱処理の前に、熱蛍光板状体の前駆体、すなわち第3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、この第4工程では、第1焼結体の粉砕体、第2混合体、及び活性炭を、1.00:0.10:0.18の重量比で混合する。

30

【0105】

また、この第4工程では、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2混合体及び活性炭を混合して、第3混合体を得る。

【0106】

しかる後、得られた第3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、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。

40

【0107】

既に説明したように、この第1の実施の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、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、この第4工程では、続く第5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、この第4工程では、板状体の、厚み方向に直交す

50

る面の平面形状を、例えば直径が90 mm程度の円形に成型しておくのが好ましい。

【0108】

次に、第5工程では、上述した第4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。

【0109】

第1の実施の形態では、第3混合体の板状体を、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を得られる。このとき、上述した第4工程において、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

10

【0110】

また、この第5工程における熱処理によって、上述した第4工程において、第3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。

【0111】

以上の第1工程から第5工程までの各工程を行うことによって、第1の実施の形態による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

20

【0112】

また、上述した第1の実施の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。

【0113】

すなわち、第1工程では、14.00 gの四ホウ酸リチウム、0.005 gの酸化マンガン(IV)、及び0.319 g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、第3工程では、1.4000 gの四ホウ酸リチウム、0.0004 gの酸化マンガン(IV)、及び0.0250 gの酸化アルミニウム、及び0.0780 gの酸化ホウ素を混合して、第2混合体を形成する

30

【0114】

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±0.10 g cm⁻³の範囲内に収まっている。熱蛍光板状体得ることができる。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

40

【0115】

$$Z_{eff} = (a_1 Z_1^2 \cdot 9^4 + a_2 Z_2^2 \cdot 9^4 + a_3 Z_3^2 \cdot 9^4 + \dots)^{1/2} \cdot 9^4 = (a_i Z_i^2 \cdot 9^4) \cdot \dots \cdot (1)$$

この式(1)において、a₁、a₂、a₃、...は、化合物または混合物に含まれる各原子の原子番号Z₁、Z₂、Z₃、...に属する電子の、全電子数に対する割合を示す。

【0116】

以上説明した第1の実施の形態による熱蛍光板状体は、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(III)を含んでいる。その結果、第1の実施の形態による熱蛍光板状体では、以下の効果を奏し得る。

50

【 0 1 1 7 】

すなわち、第1の実施の形態によ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、上述した第1の参考例にかかる熱蛍光板状体、すなわち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、第1の実施の形態によ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。

【 0 1 1 8 】

また、第1の実施の形態による熱蛍光板状体では、母体にアルミニウム(III)が含まれることによって、機械的強度が増加する。

10

【 0 1 1 9 】

ここで、この発明に係る発明者らは、上述した、第1の実施の形態による熱蛍光板状体の製造方法について、第1工程から第5工程までを、上述した第1混合物及び第2混合物に、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(III)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。

【 0 1 2 0 】

このように、第1の実施の形態による熱蛍光板状体では、アルミニウム(III)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ため、上述した第1の参考例に係る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。そのため、第1の実施の形態では、上述した製造方法における第4工程において、熱蛍光板状体の前駆体である第3混合体に活性炭を加え、第5工程における熱処理によって、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、第1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。また、既に説明したように、第1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、第1の実施の形態によ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、第1の実施の形態による熱蛍光板状体を用いて取得されたデータは、この第1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。

20

30

【 0 1 2 1 】

また、この発明に係る発明者らは、上述した、第1の実施の形態によ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2混合物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(IV)、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。この結果から、第1の実施の形態による熱蛍光板状体を得るためには、第1焼結体及び第2混合物を個別に形成し、さらに、これらを混合した第3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。

40

【 0 1 2 2 】

また、第1の実施の形態による熱蛍光板状体は、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、第1の実施の形態による熱蛍光板状体は、保存及び品質管理が容易な線量計であるといえる。また、第1の実施の形態による熱蛍光板状体は、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、第1の実施の形態による熱蛍光板状体は、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、第1の実

50

施の形態による熱蛍光板状体は、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。

【0123】

第1の変形例

第1の変形例では、上述した第1の実施の形態による熱蛍光板状体の製造方法について、上述したのとは別の製造方法について説明する。

【0124】

なお、この第1の変形例では、上述した第1の実施の形態の場合と同様に、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1の変形例では、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いて、各原料の添加量、及び後述する第4工程において形成する第3混合体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。

10

【0125】

この製造方法は、第1工程から第5工程までを含んでいる。以下、第1工程から順に各工程につき説明する。

【0126】

なお、この第1の変形例による熱蛍光板状体の製造方法が、上述した第1の実施の形態による熱蛍光板状体の製造方法と相違するのは、第1工程において、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の実施の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。

20

【0127】

まず、第1工程では、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。

【0128】

この第1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ン(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、55.69gの四ホウ酸リチウムに、0.0201gの酸化マンガン(IV)を添加するのが好ましい。

30

【0129】

また、この第1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。

【0130】

次に、第2工程では、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。

【0131】

第1の変形例に係る製造方法では、上述した第1の実施の形態に係る製造方法と同様に、この第2工程における熱処理に際して、まず、上述した第1工程によって得た第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。

40

【0132】

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。

【0133】

次に、第3工程では、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2混合体を得る。

【0134】

第1の変形例では、この第3工程において、1.096gの四ホウ酸リチウムに対して

50

、0.0004gの酸化マンガン(IV)、及び0.025gの酸化アルミニウムを添加するのが好ましい。

【0135】

また、第1の変形例では、第2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1の変形例では、第2混合体に、0.078gの酸化ホウ素を添加するのが好ましい。

【0136】

また、この第3工程では、第2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。

10

【0137】

なお、第1の変形例では、この第2混合体を得る第3工程と、上述した第1焼結体を得る第1工程及び第2工程とは、いずれを先に行っても良い。

【0138】

次に、第4工程では、まず、第1焼結体の粉砕体及び第2混合体と活性炭とを混合する。

【0139】

この第1の変形例では、上述した第1の実施の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、すなわち続く第5工程における熱処理の前に、熱蛍光板状体の前駆体、すなわち第3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、この第4工程では、第2工程で得られた第1焼結体の粉砕体を12.0g、第3工程で得られた第2混合体を全て、及び活性炭を2.16g混合する。

20

【0140】

また、この第4工程では、上述した第1の実施の形態に係る製造方法と同様に、第3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2混合体及び活性炭を混合して、第3混合体を得る。

【0141】

しかる後、得られた第3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、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。

30

【0142】

既に説明したように、製造される熱蛍光板状体は、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。そこで、この第1の変形例では、上述した第1の実施の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、この第4工程では、続く第5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、この第4工程では、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。

40

【0143】

次に、第5工程では、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。

【0144】

第1の変形例では、上述した第1の実施の形態に係る製造方法と同様に、第3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、上述した第4工程において、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

50

86mm程度の円形である熱蛍光板状体が得られる。

【0145】

また、この第5工程における熱処理によって、上述した第4工程において、第3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。

【0146】

以上の第1工程から第5工程までの各工程を行うことによって、この第1の変形例では、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得ることができる。

10

【0147】

第2の実施の形態

第2の実施の形態では、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として、上述した第1の実施の形態による熱蛍光板状体が、複数枚積層されて形成されている熱蛍光積層体、及びその製造方法について説明する。

【0148】

図5は、この発明の第2の実施の形態を説明するための図であり、第2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。

【0149】

第2の実施の形態に係る熱蛍光積層体17は、図5に示すように複数枚の熱蛍光板状体19が積層されて形成されている。

20

【0150】

この第2の実施の形態では、熱蛍光板状体19として、上述した第1の実施の形態による、平板状の熱蛍光板状体を用いる。

【0151】

既に説明したように、第1の実施の形態による熱蛍光板状体19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。従って、熱蛍光板状体19を複数枚用意し、これらを重ね合わせた積層体に対して放射線を照射することによって、各熱蛍光板状体19からそれぞれ放射線の2次元線量分布を測定することができる。このとき、各熱蛍光板状体19からは、これら各熱蛍光板状体19の被曝位置、及びこれら被曝位置における放射線の強度及び線形に対応した熱蛍光の光強度分布を以って、2次元線量分布がそれぞれ測定される。従って、各2次元線量分布を重ね合わせることによって、積層体に照射された放射線の立体的な、すなわち3次元線量分布を測定することができる。

30

【0152】

また、既に説明したように、第1の実施の形態による各熱蛍光板状体19は、放射線の3次元線量分布を詳細に測定するために、厚み、すなわち熱蛍光積層体17の積層方向21に沿った厚みが、2mm程度に設定されている。また、熱蛍光積層体17を構成する熱蛍光板状体19の数、及び各熱蛍光板状体19の、積層方向21に直交する面、すなわち積層面19a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。なお、図5では、26枚の熱蛍光板状体19を積層させ、かつ各熱蛍光板状体19の積層面19aの平面形状を長方形とした、熱蛍光積層体17の構成例を示している。

40

【0153】

以上説明した、第2の実施の形態による熱蛍光積層体17では、上述した第1の実施の形態に係る熱蛍光積層体と同様に、熱蛍光積層体17に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。なお、この熱蛍光積層体17を用いた、放射線の3次元線量分布の取得方法は後に詳細に説明する。

【0154】

50

また、既に説明したように、上述した第1の実施の形態による熱蛍光板状体19は、実効原子番号のみならず、密度についても、人体に近似な値に設定されている。従って、第2の実施の形態による熱蛍光積層体17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、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2の実施の形態による熱蛍光積層体17を用いて取得されたデータは、第1の実施の形態による熱蛍光板状体19と近似な実効原子番号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。

【0155】

なお、この第2の実施の形態では、仮に、上述した第1の実施の形態によって得た各熱蛍光板状体19の密度が、人体に近似な値、すなわち $1 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ の範囲から大きく外れている場合には、熱蛍光積層体17を構成する各熱蛍光板状体19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17全体の密度を $1 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ の範囲内に収める構成としてもよい。

【0156】

また、既に説明したように、第1の実施の形態による熱蛍光板状体19は、アルミニウム(III)を含有しているため、発光強度及び機械的強度に優れている。従って、この第1の実施の形態による熱蛍光板状体19によって構成されている、第2の実施の形態による熱蛍光積層体17は、放射線の3次元線量分布を高感度で取得することが可能であり、かつ良好な機械的強度を有している。

【0157】

また、既に説明したように、第1の実施の形態による熱蛍光板状体19は、保存及び品質管理が容易であり、かつ使用に際しての特別な設備を必要とせず、さらに繰り返し使用することが可能である。従って、この第1の実施の形態による熱蛍光板状体19によって構成されている、第2の実施の形態による熱蛍光積層体17は、3次元線量分布を取得する線量計として使用でき、かつ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といえる。

【0158】

以上説明した第2の実施の形態による熱蛍光積層体17の製造方法について、図6(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。

【0159】

図6(A)及び(B)は、第2の実施の形態による熱蛍光積層体17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。

【0160】

まず、第1工程では、図6(A)に示すように、上述した第1の実施の形態による熱蛍光板状体19を複数枚用意する。

【0161】

第2の実施の形態では、既に説明したように、熱蛍光積層体17を構成する複数の熱蛍光板状体として、上述した第1の実施の形態による熱蛍光板状体19を用いる。これら第1の実施による各熱蛍光板状体19は、上述したように、熱蛍光本体の実効原子番号及び密度が、人体に近似な値に調整されている。また、第2の実施の形態では、各熱蛍光板状体19の厚みを、例えば2mm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19の数、及び積層面19aの平面形状を、例えば、測定する放射線の線質、線形、または用途に応じて、適宜設定しておく。既に説明したように、この第1の実施の形態による熱蛍光板状体19は、例えばダイヤモンド切削器具等によって裁断することが可能であるため、第2の実施の形態では、予め積層面19a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6では、各熱蛍光板状体19の積層面19aの平面形状を長方形とした場合の構成例を示している。

10

20

30

40

50

【 0 1 6 2 】

次に、第 2 工程では、複数枚の熱蛍光板状体 1 9 を積層して、熱蛍光積層体 1 7 を形成して図 6 (B) に示すような構造体を得る。

【 0 1 6 3 】

第 2 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 9 を、接着剤を用いることなく、各熱蛍光板状体 1 9 の積層面 1 9 a を重ね合わせて、順次積層させる。

【 0 1 6 4 】

なお、この第 2 の実施の形態では、仮に、用意した各熱蛍光板状体 1 9、すなわち第 1 の実施の形態によって得た各熱蛍光板状体 1 9 の密度が、人体に近似な値、すなわち $1 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ の範囲から大きく外れている場合には、この第 2 工程において、各熱蛍光板状体 1 9 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 7 全体の密度を $1 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ の範囲内に調整してもよい。

【 0 1 6 5 】

第 3 の実施の形態

第 3 の実施の形態では、上述した第 1 の実施の形態及び第 2 の実施の形態による熱蛍光積層体の使用方法、すなわちこれら第 1 の実施の形態及び第 2 の実施の形態による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。なお、この第 3 の実施の形態では、一例として、第 2 の実施の形態による熱蛍光積層体を使用して、放射線の 3 次元線量分布を取得する方法について説明する。また、この第 3 の実施の形態では、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。

【 0 1 6 6 】

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。

【 0 1 6 7 】

図 7、図 8、及び図 1 0 は、第 3 の実施の形態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 9 (A) ~ (E) は、第 3 の実施の形態に係る第 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。

【 0 1 6 8 】

まず、第 1 過程では、図 7 に示すように、上述した第 2 の実施の形態による熱蛍光積層体 1 7 に対して放射線 2 3 を照射する。

【 0 1 6 9 】

第 3 の実施の形態では、まず、この第 1 過程において、線量分布を測定すべき放射線 2 3、例えば、上述した放射線治療に使用される照射装置から放射線等を、熱蛍光積層体 1 7 に対して照射し、熱蛍光積層体 1 7 を被曝させる。

【 0 1 7 0 】

第 3 の実施の形態では、この第 1 過程において、放射線 2 3 を、熱蛍光積層体 1 7 のいずれの面、すなわち、熱蛍光積層体 1 7 の積層方向 2 1 に直交する主表面、または、積層方向 2 1 に沿った側面の、どの側に対して照射しても良い。図 7 では、熱蛍光積層体 1 7 に対して、異なる 2 方向からの放射線 2 3、すなわち放射線 2 3 a 及び 2 3 b を、熱蛍光積層体 1 7 の積層方向 2 1 に直交する主表面 1 7 a 側から、照射した場合を示している。また、図 7 の構成例では、放射線 2 3 a 及び 2 3 b が、熱蛍光積層体 1 7 に対して、この熱蛍光積層体 1 7 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 2 3 a 及び 2 3 b は、熱蛍光積層体 1 7 の主表面 1 7 a から入射し、それぞれ矢印 2 3 a a 及び 2 3 b a の方向に伝搬している。

【 0 1 7 1 】

ここで、図 8 は、図 7 に示した構成例について、照射された放射線 2 3 a 及び 2 3 b が熱蛍光積層体 1 7 内を進行する態様、及び熱蛍光積層体 1 7 を構成する、熱蛍光板状体 1

10

20

30

40

50

9の被曝箇所を説明する図である。なお、図8では、熱蛍光積層体17を構成する、複数の熱蛍光板状体19を、部分的に省略して示している。

【0172】

図8に示すように、熱蛍光積層体17を構成する各熱蛍光板状体19は、照射された放射線23a及び23bに接触した箇所が被曝する。すなわち、熱蛍光積層体17を構成する、熱蛍光板状体25aでは、放射線23a及び23bに接触することによって、これら接触した箇所が、それぞれ被曝箇所27aa及び27abとなる。また、熱蛍光板状体25bでは、放射線23a及び23bに接触することによって、この接触した箇所が、それぞれ被曝箇所27ba及び27bbとなる。また、熱蛍光板状体25cでは、放射線23a及び23bが交差する部分において、これら放射線23a及び23bと接触することによって、この接触した箇所が被曝箇所27cとなる。また、熱蛍光板状体25dでは、放射線23a及び23bに接触することによって、これら接触した箇所が、それぞれ被曝箇所27da及び27dbとなる。また、熱蛍光板状体25eでは、放射線23a及び23bに接触することによって、これら接触した箇所が被曝箇所27ea及び27ebとなる。

10

【0173】

次に、第2過程では、熱蛍光積層体17を構成する複数の熱蛍光板状体19の各々から加熱により発生する熱蛍光を、放射線23の、複数の熱蛍光板状体19の積層面19aに直交する方向からそれぞれ撮影して放射線23の線量分布情報に対応した、積層面19aに沿った平面的な光強度分布情報をそれぞれ取得する。

20

【0174】

そのために、ここでは、まず、第1の実施の形態による熱蛍光板状体19を、26枚積層させて形成した、第2の実施の形態による熱蛍光積層体17を使用して撮影された。この撮影を行うために、放射線として、4MeVのX線を、図7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17の積層方向21に直交する主表面17aに対して照射した。

【0175】

そして、熱蛍光積層体17を構成する各熱蛍光板状体19にバラした後、熱蛍光板状体19を各々1枚ずつ暗箱中に収容する。このとき、熱蛍光板状体19を、例えば300に熱した金属板上に載置した状態で、暗箱に収容することによって、この熱蛍光板状体19を急速加熱する。その結果、熱蛍光板状体19は、各々放射線23と接触した箇所、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。

30

【0176】

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19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19を、それぞれ積層面19a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19から発生する熱蛍光の光強度の、積層面19aに沿った2次元分布に関する光強度情報を取得することができる。

【0177】

この撮影して得られた光強度情報を、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imageJ、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9(A)~(E)に示す画像を得る。

40

【0178】

図9(A)~(E)は、この第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。

【0179】

この図9(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。

【0180】

50

また、これら図9(A)~(E)の各画像は、図8に示した各熱蛍光板状体25a、25b、25c、25d、及び25eにそれぞれ対応している。

【0181】

すなわち、図8の構成例における熱蛍光板状体25aを、上述した方法で撮影したとき、積層面25aaに沿った被曝箇所27aa及び27abの線量分布は、図9(A)に示す熱蛍光箇所29aa及び29abとして画像化される。

【0182】

また、図8の構成例における熱蛍光板状体25bを、上述した方法で撮影したとき、積層面25baに沿った被曝箇所27ba及び27bbの線量分布は、図9(B)に示す熱蛍光箇所29ba及び29bbとして画像化される。

10

【0183】

また、図8の構成例における熱蛍光板状体25cを、上述した方法で撮影したとき、積層面25caに沿った被曝箇所27cの線量分布は、図9(C)に示す熱蛍光箇所29cとして画像化される。上述したように、被曝箇所27cは、放射線23a及び23b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29cでは、線量が大きいいため、この熱蛍光箇所29cに対応する2次元光強度分布の画像は、熱蛍光箇所29cとして淡い色を呈している。

【0184】

また、図8の構成例における熱蛍光板状体25dを、上述した方法で撮影したとき、積層面25daに沿った被曝箇所27da及び27dbの線量分布は、図9(D)に示す熱蛍光箇所29da及び29dbとして画像化される。

20

【0185】

また、図8の構成例における熱蛍光板状体25eを、上述した方法で撮影したとき、積層面25eaに沿った被曝箇所27ea及び27ebの線量分布は、図9(E)に示す熱蛍光箇所29ea及び29ebとして画像化される。

【0186】

このように、第2過程では、上述した撮影を、熱蛍光積層体17を構成する全ての熱蛍光板状体19について行うことによって、図9(A)~(E)に示すような熱蛍光の2次元強度分布の画像を与える情報を、熱蛍光積層体17を構成する、複数の熱蛍光板状体19の各々から取得する。

30

【0187】

次に、第3過程では、取得したそれぞれの光強度分布情報を、積層方向21に、積層順に順次重ね合わせることによって、図10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17における、立体的な光強度分布に対応した、放射線23の立体的な線量分布情報を取得する。

【0188】

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9(A)~(E)に示したような2次元光強度分布の各画像を、図7に示した熱蛍光積層体17の積層順に順次重ね合わせる。

40

【0189】

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19の、各積層面19a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17の立体的な被曝部に対応する、立体的な熱蛍光部31として得られ、この熱蛍光部31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。

【0190】

このように、第3の実施の形態では、上述した第2の実施の形態による熱蛍光積層体17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

50

ができる。

【0191】

なお、この第3の実施の形態では、一例として第2の実施の形態による熱蛍光積層体17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、第1の参考例による熱蛍光積層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。

【0192】

また、この第3の実施の形態では、一例として、熱蛍光積層体17の積層方向21に直交した主表面17a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、この第3の実施の形態では、熱蛍光積層体17の積層方向21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。

10

【0193】

例えば、図7の構成例において、熱蛍光積層体17の積層方向21に沿った側面17b側から、異なる2方向からの放射線を、積層面19a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11に示すような、積層面19aに沿った熱蛍光箇所33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17を構成する各熱蛍光板状体19の、積層面19a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、この第3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。

20

【符号の説明】

【0194】

11、17：熱蛍光積層体

13、19、25a、25b、25c、25d、25e：熱蛍光板状体

15、21：積層方向

23、23a、23b：放射線

27aa、27ab、27ba、27bb、27c、27da、27db、27ea、27eb：被曝箇所

29aa、29ab、29ba、29bb、29c、29da、29db、29ea、29eb、33：熱蛍光箇所

30

31：熱蛍光部

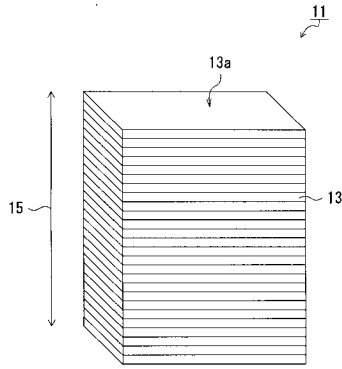
【要約】

【課題】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。

【解決手段】熱蛍光積層体17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及びアルミニウム(III)とを含む熱蛍光板状体19が、複数枚積層されて形成されている。

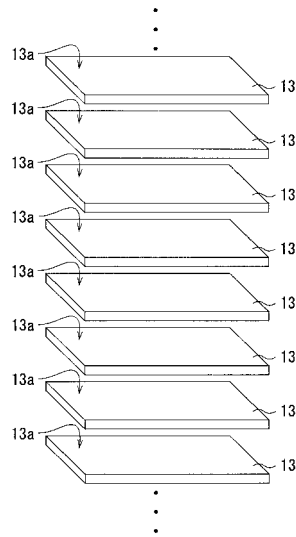
【選択図】図6

【 図 1 】

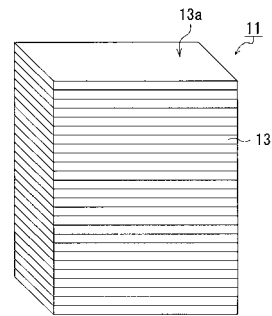


【 図 2 】

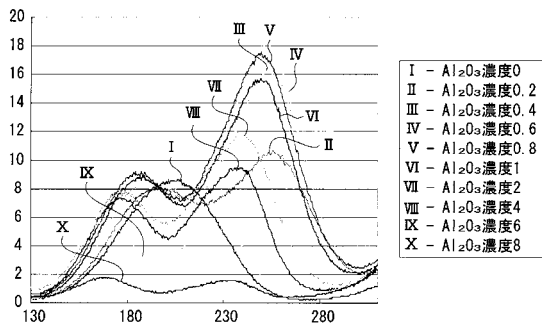
(A)



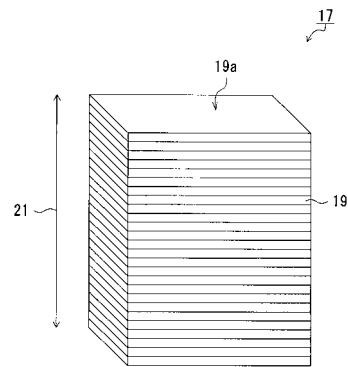
(B)



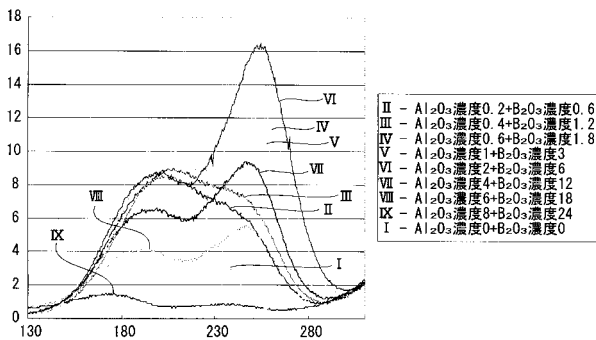
【 図 3 】



【 図 5 】

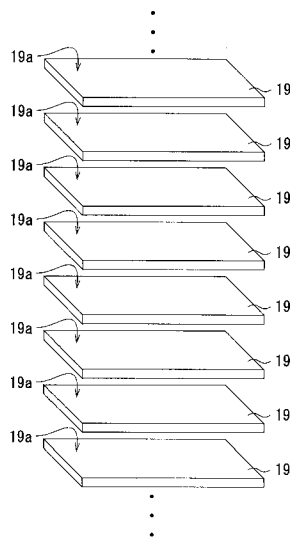


【 図 4 】

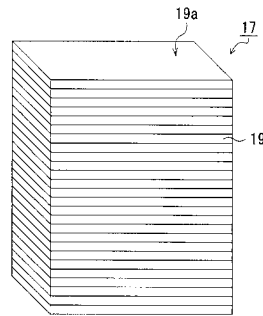


【 図 6 】

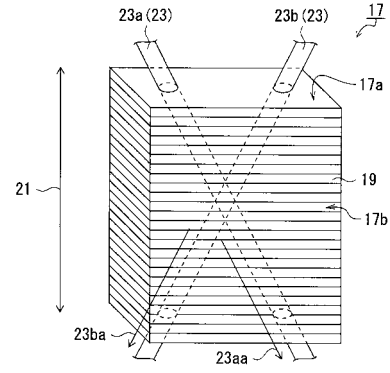
(A)



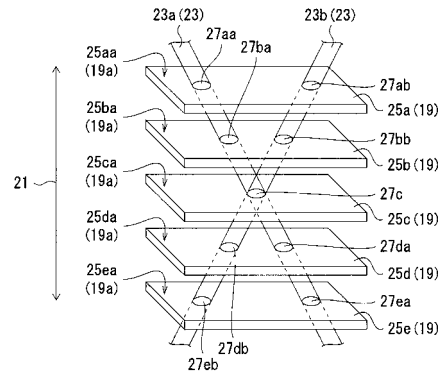
(B)



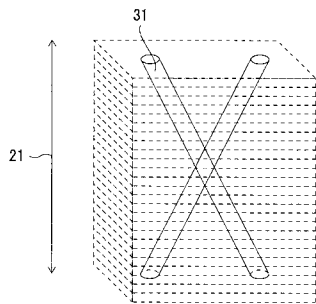
【 図 7 】



【 図 8 】

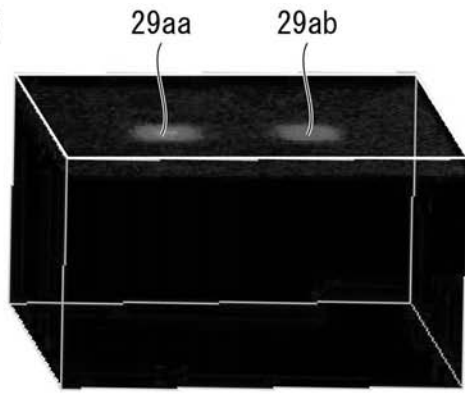


【 図 10 】

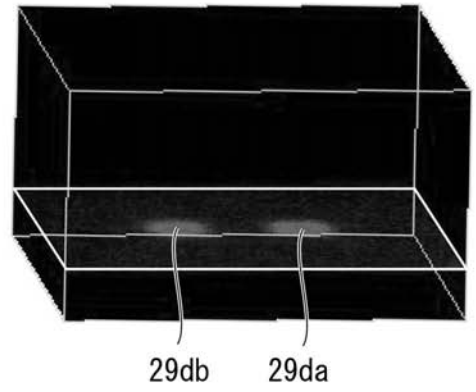


【 図 9 】

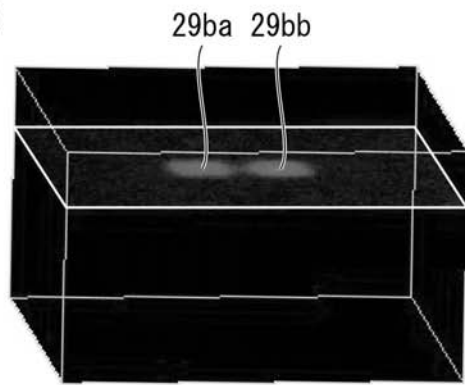
(A)



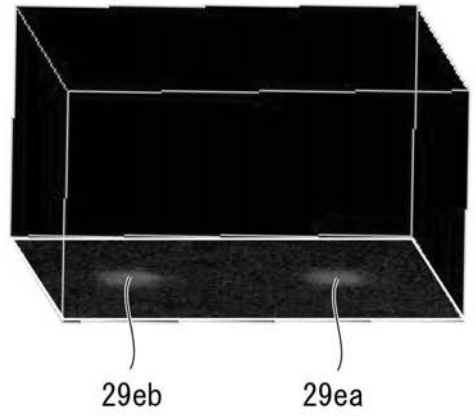
(D)



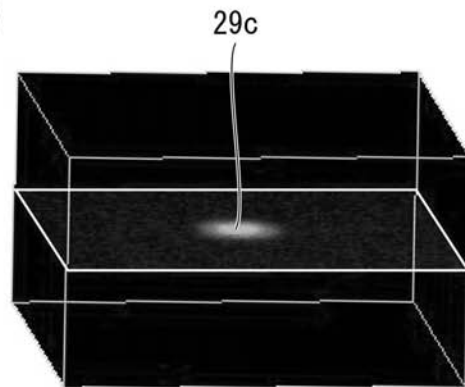
(B)



(E)

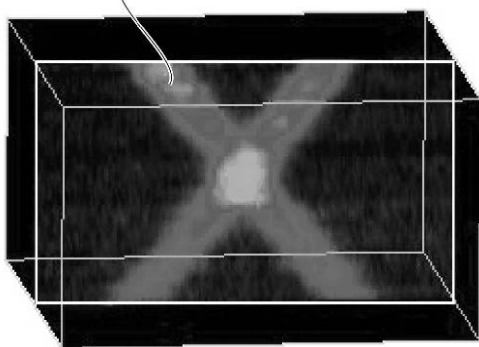


(C)



【 図 11 】

33



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 2 1 K 4/00 Z

(72)発明者 富澤 祐司
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

審査官 中西 祐子

(56)参考文献 特開昭52-065186(JP,A)
特開2002-341034(JP,A)
国際公開第2004/023159(WO,A1)
米国特許第04506157(US,A)
特開2003-119070(JP,A)
Haiyong Jung, A personal thermoluminescence dosimeter using LiF:Mg,Cu,Na,Si detectors
for photon fields, Applied Radiation and Isotopes, 2003年, Vol 59, p87-93

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C09K11/00-11/89、G01T1/00-7/12、G21K4/00、JSTP
lus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)