

(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
2022年6月2日(02.06.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/114130 A1

(51) 国際特許分類:
G01T 1/115 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/043398

(22) 国際出願日: 2021年11月26日(26.11.2021)

(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 2020-197373 2020年11月27日(27.11.2020) JP

(71) 出願人: 東京都公立大学
法人 (TOKYO METROPOLITAN PUBLIC UNIVERSITY CORPORATION.) [JP/JP];
〒1630926 東京都新宿区西新宿二丁目
3番1号 Tokyo (JP).

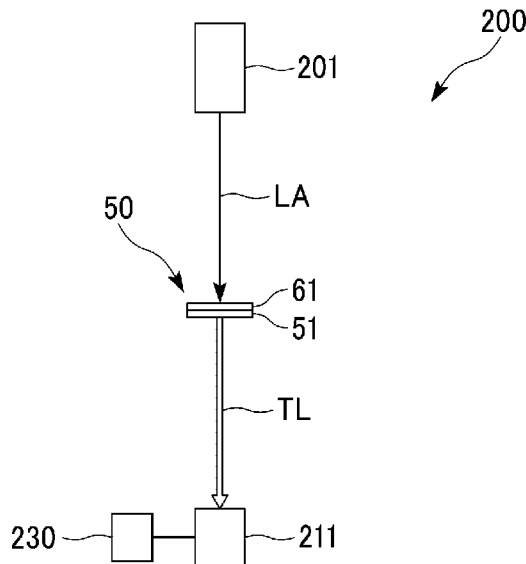
(72) 発明者: 眞 正 浄 光 (SHINSHO Kiyomitsu);
〒1168551 東京都荒川区東尾久7-2-10 東
京都立大学 荒川キャンパス内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 田 ▲ 崎 ▼ 聡, 外 (TAZAKI Akira et al.);
〒1006620 東京都千代田区丸の内一
丁目9番2号 Tokyo (JP).

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

(54) Title: THERMOLUMINESCENCE MEASUREMENT METHOD AND THERMOLUMINESCENCE MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置



(57) Abstract: This thermoluminescence measurement method according to the present invention comprises: heating a to-be-heated substance by irradiating the substance with laser light; and measuring the intensity of thermoluminescence emitted from a measurement-target thermoluminescence substance imparted with heat from the substance being heated by laser light.

(57) 要約: 本発明に係る熱蛍光測定方法では、被加熱物質にレーザ光を照射することによって被加熱物質を加熱し、レーザ光によって加熱された被加熱物質から熱を与えられた測定対象の熱蛍光物質から発せられる熱蛍光の強度を測定する。

[続葉有]



WO 2022/114130 A1

ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置

技術分野

[0001] 本開示は、熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置に関する。本願は、2020年11月27日に、日本に出願された特願2020-197373号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年、ある種の物質が放射線を受けた後に加熱されたときに発光する熱蛍光（Thermoluminescence；TL）現象を用いた放射線の測定技術が進展している。例えば、前述のようにTL現象を生じる物質（以下、TL物質と記載する場合がある）を含む測定対象物が浴びた放射線量を算出することによって、土器や岩石等の年代測定や個人の被爆管理が行われている。

[0003] TL物質は、例えば粉末状態でガラス管に封入された状態、或いは棒状、シート状、薄膜状に形成され且つケースに收容された状態でTL素子（熱蛍光素子）として、取り扱われる場合が多い。TL物質の熱蛍光量を測定する方法としては、例えばTL素子を加熱する加熱機構及びTL素子から発せられる熱蛍光の強度を検知する検知機構等を備えた測定装置を用いる方法が挙げられる。例えば、特許文献1には、熱蛍光シートを所定の温度上昇率で加熱し、熱蛍光シートから発せられる蛍光（熱蛍光）を読み取る測定方法が開示されている。

[0004] TL素子の加熱方式には、赤外線ランプ等の光源からの赤外線を熱蛍光線量計のTL素子に照射する光加熱方式、その他に熱風加熱方式、熱板加熱方式等がある。いずれの方式においても、TL素子を構成するガラス管やその他の部品の溶融や変形を防ぐために、TL物質に蓄積された放射線のエネルギー（即ち、熱蛍光の強度）は、約350℃以下の温度で読み出されている。つまり、TL素子は約350℃以下の温度範囲で加熱される。

[0005] 熱蛍光の強度を読み取った後のＴＬ物質には、検出しきれなかった放射線のエネルギーが残っていることがある。そのため、次にＴＬ素子を使用する前に、ＴＬ物質に残っている放射線のエネルギーを放出させるためのアニール処理が行われる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：日本国特開２０２０－１８１０５７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、従来の熱蛍光の測定技術では、ＴＬ素子の加熱から熱蛍光の強度の読み出しまでには、数十秒から１分程度を要していた。さらに、アニール処理までの準備及びアニール処理自体にも時間を要していた。そのため、ＴＬ素子の加熱開始から熱蛍光読み出し開始までの時間、及びアニール処理にかかる時間の短縮が求められていた。

[0008] また、従来の測定装置の加熱機構では、ＴＬ素子が設置された領域或いは空間全体を加熱するため、本来加熱されるべきＴＬ物質以外の構成要素も加熱され、非効率であった。さらに、測定装置とは別にアニール処理用の装置が必要になる場合が多く、煩雑であった。

[0009] さらに、従来の熱蛍光の測定装置では、ガラス管やその他の構成部品の溶融や変形を防ぐためにＴＬ素子からの熱蛍光を検出する（即ち、熱蛍光を読み出す）ためのＴＬ素子の測定温度の上限が制約を受けていた。そのため、ＴＬ素子からの熱蛍光を検出する際の測定温度がＴＬ素子からの熱蛍光を検出可能な最高温度よりも低く、ＴＬ素子に蓄積された放射線の一部しか読み出せない場合があり、制約を受けた測定温度よりも高温領域でのＴＬ素子の熱蛍光の量及び特性が正確に測定されていなかった。

[0010] 本発明は、ＴＬ物質の熱蛍光を短時間で効率良く、且つ高温領域の熱蛍光を正確に測定可能な熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置を提供する。

課題を解決するための手段

- [0011] 本発明に係る熱蛍光測定方法は、被加熱物質にレーザ光を照射することによって前記被加熱物質を加熱し、前記レーザ光によって加熱された前記被加熱物質から熱を与えられた測定対象の熱蛍光物質から発せられる熱蛍光の強度を測定する。
- [0012] 上述の熱蛍光測定方法では、前記被加熱物質を前記レーザ光によって、前記熱蛍光物質において熱蛍光が生じる所定の加熱温度よりも高く、且つ前記熱蛍光物質が変質する第1変質温度及び前記被加熱物質が変質する第2変質温度のうち低い方の変質温度よりも低い温度で加熱してもよい。
- [0013] 本発明に係る熱蛍光測定装置は、レーザ光を照射されることによって加熱可能な被加熱物質と、前記被加熱物質に前記レーザ光を照射するレーザ光源と、前記被加熱物質に接して配置されて前記被加熱物質によって熱を与えられた熱蛍光物質から発せられる熱蛍光を検出する熱蛍光検出器と、前記熱蛍光検出器によって検出された前記熱蛍光の強度に基づいて前記熱蛍光に関する所定の情報を取得する情報取得装置と、を備える。
- [0014] 上述の熱蛍光測定装置では、前記被加熱物質は、前記熱蛍光物質において熱蛍光が生じる所定の加熱温度よりも高く、且つ前記熱蛍光物質が変質する第1変質温度及び前記被加熱物質が変質する第2変質温度のうち低い方の変質温度よりも低い温度で加熱されてもよい。
- [0015] 上述の熱蛍光測定装置では、前記被加熱物質は、前記レーザ光を吸収可能な吸収剤及び接着剤を含み、前記熱蛍光物質の表面に接して配置されていてもよい。

前記吸収剤は黒体であってもよい。

発明の効果

- [0016] 本発明によれば、TL物質の熱蛍光を短時間で効率良く、且つ高温領域の熱蛍光を正確に測定可能な熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置を提供できる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明に係る一実施形態の熱蛍光測定方法を説明するための模式図である。

[図2]熱蛍光物質のグロー曲線の一例を示すグラフである。

[図3]本発明に係る一実施形態の熱蛍光測定装置の構成の一部の平面図である。

[図4]図3に示す構成の側面図である。

[図5]本発明に係る一実施形態の熱蛍光測定装置の側面図である。

[図6]図5に示す熱蛍光測定装置の熱蛍光検出器の平面図である。

[図7]図6に示す熱蛍光検出器の変形例の平面図である。

[図8]実施例2における熱蛍光測定装置の側面図である。

[図9]実施例2において熱蛍光物質からの熱蛍光を420℃で読み出したとき、及び480℃で読み出した後に980℃で読み出したときの各々の波長に対する熱蛍光の強度と全熱蛍光の強度とを示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、実施形態の熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置を、図面を参照して説明する。なお、以下の説明では、互いに同一又は類似の機能を有する構成に互いに同一の符号を付す。

[0019] 始めに、TL物質（熱蛍光物質）51における熱蛍光の原理について簡単に説明する。図1に示すように、TL物質51に放射線RAが当たると、相互作用によって、価電子帯101にある電子eが励起エネルギーを得て伝導帯103へ移動する。電子eが価電子帯101から抜け出した後には、正孔hが生じる。正孔hは、TL物質51を構成する結晶の格子欠陥又は活性物質による格子のひずみ等によって形成される捕獲中心に捕捉され、蛍光中心準位106近傍に移動する。伝導帯103に移動した電子eは、TL物質51を構成する結晶の格子欠陥又は活性物質による格子のひずみ等によって形成される捕獲中心準位105に捕捉され、準安定状態になる。

[0020] 前述のように放射線RAが照射された状態のTL物質51に、熱THによる活性化エネルギーが外部から与えられると、電子eは、捕獲中心準位10

5から伝導帯103に移動する。電子eが蛍光中心準位106のホールと再結合する時、捕獲中心準位105と蛍光中心準位106の準位差に相当するエネルギーが、熱蛍光TLとして放出される。熱蛍光TLの量は、TL物質51に当たった放射線RAの量に比例する。即ち、放射線RAが照射されたTL物質51に熱THを加えてTL現象を起こさせ、TL物質51の発光量を測定することによって、TL物質51が受けた放射線量を算出することができる。

[0021] 一例として、ツリウムが添加された硫酸カルシウム ($\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$) を昇温速度0.2℃/秒で加熱したときのグロー曲線の典型例を図2に示す。グロー曲線は、横軸にTL物質の温度をとり、縦軸に各温度における熱蛍光の強度をとったグラフで表される。 $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$ では、約190℃の温度に達するまでに自身に対して加わって積算された熱によって、熱蛍光の強度のピーク（グローピークと記載される場合がある）が現れる。即ち、図2のグロー曲線から、 $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$ の熱蛍光を測定する際には、昇温速度に応じて、少なくとも200℃まで、好ましくは300℃まで $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$ を加熱する必要があると想定される。

[0022] [熱蛍光測定装置]

本実施形態では、TL素子50を用いてTL物質（熱蛍光物質）51の熱蛍光TLに関する測定を行う。図3に示すように、TL素子50は、測定対象のTL物質（熱蛍光物質）51と、被加熱物質61と、を有する。

[0023] 図3及び図4に示すように、TL物質51は、所望の平面視形状及び所定の厚みを有する。所望の形状は、例えば図3に示すように、略矩形状であって、矩形の角部が欠落した形状である。

[0024] TL物質51は、不図示の放射線RAが当たった後に加熱された際に、熱蛍光を発する物質である。TL物質51として、例えば、不純物として銅が添加されたホウ酸リチウム ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7 : \text{Cu}$; 実効原子番号7.3)、不純物としてナトリウムが添加された酸化ベリリウム ($\text{BeO} : \text{Na}$; 実効原子番号7.9)、不純物としてナトリウム及びリチウムが添加された酸化ベ

リリウム ($\text{BeO} : \text{Na}, \text{Li}$; 実効原子番号 7.9)、フッ化リチウム (LiF ; 実効原子番号 8.2)、不純物としてテルビウムが添加されたマグネシウム化合物 ($\text{MgB}_4\text{O}_7 : \text{Tb}$; 実効原子番号 8.4、 $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 : \text{Tb}$; 実効原子番号 11.4)、不純物としてツリウムが添加された硫酸カルシウム ($\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$; 実効原子番号 15.4)、不純物としてジスプロシウムが添加されたフッ化カルシウム ($\text{CaF}_2 : \text{Dy}$; 実効原子番号 16.3) が挙げられる。なお、TL 物質 51 の組成は、前述のように熱蛍光を発することができれば、特に限定されない。

[0025] 被加熱物質 61 は、TL 物質 51 の厚み方向で TL 物質 51 に隣接し、TL 物質 51 の表面 51b に接している。被加熱物質 61 は、TL 物質 51 と同様の平面視形状及び所定の厚みを有する。

[0026] 被加熱物質 61 は、後述するレーザ光 LA を照射されることによって加熱可能な物質である。本実施形態の被加熱物質 61 は、レーザ光 LA を吸収可能な吸収剤と、接着剤と、を含む。吸収剤として、放射性を略有しない黒体を用いられている。具体的には、本実施形態の被加熱物質 61 は、黒体又は黒体と同様の放射率を有する物質と接着剤とを含む黒体塗料である。以下では、黒体及び黒体と同様の放射率を有する物質をまとめて黒体と記載する。黒体塗料は、例えばジルコン (SiZrO_4)、酸化クロム (III) (Cr_2O_3) 等の物質を主成分として含み、黒体を接着対象の TL 物質 51 に接着させる接着剤を含む。黒体塗料は、例えば酸化したステンレス鋼等の合金、或いは炭素系の物質を含んでもよい。接着剤は、黒体の放射率及び放射特性に影響を殆ど及ぼさない薬剤である。黒体塗料は、黒体に近い放射率を有する塗料であり、TL 物質 51 の表面に塗布されて TL 物質 51 の表面に接して配置されることによってレーザ光 LA が照射されたときの TL 物質 51 の放射率を高める。このような効果を鑑み、黒体塗料として、0.8 以上の全放射率を有し、少なくとも 400℃、好適には 1000℃ 以上の耐熱温度を有するものが好ましく、例えば市販の黒体塗料 (商品名; JSC-3 号、ジャパンセンサー株式会社製)、黒体スプレー (商品名; TA410KS、株

式会社イチネンＴＡＳＣＯ製）等が挙げられる。被加熱物質６１は、黒体塗料がＴＬ物質５１の表面５１ｂに噴射されることによってＴＬ物質５１の厚み方向に積層されることによって、ＴＬ物質５１と一体に形成されている。なお、レーザ光ＬＡの吸収剤には、前述の黒体塗料に限定されず、前述のように０．８以上の全放射率を有し、１０００℃以上の耐熱温度を有し、ＴＬ物質５１に対して熱エネルギーを供給可能な物質であれば広く含まれる。

[0027] 図４及び図５に示すように、本実施形態の熱蛍光測定装置２００は、上述のＴＬ素子５０と、レーザ光源２０１と、ＴＬ検出器（熱蛍光検出器）２１１と、情報取得装置２３０と、を備える。

[0028] レーザ光源２０１は、被加熱物質６１の表面６１ｂにレーザ光ＬＡを照射するための光源であり、被加熱物質６１を所定の温度に加熱するレーザ光ＬＡを出射する。後述する本実施形態の熱蛍光測定方法について説明するように、レーザ光源２０１からのレーザ光ＬＡの出射条件は適宜設定可能又は制御可能であることが好ましい。レーザ光源２０１から出射されるレーザ光ＬＡの出力及びビームサイズは、ＴＬ素子５０の変質及び破損等が生じない程度に、ＴＬ物質５１の種類や組成等をふまえて大きく設定されている。

[0029] ＴＬ検出器２１１は、ＴＬ物質５１からの熱蛍光ＴＬを検出するための検出器であり、レーザ光ＬＡによって加熱された被加熱物質６１から熱が与えられたＴＬ物質５１の表面５１ａから発せられる熱蛍光ＴＬを検出する。ＴＬ検出器２１１は、例えば高感度のフォトディテクタ、イメージセンサ、ＣＣＤ等であるが、前述のようにＴＬ物質５１から発せられる熱蛍光ＴＬを検出できれば、特に限定されない。ＴＬ検出器２１１は、後述するように熱蛍光ＴＬの波長を測定する機能を有する分光器或いは分光センサであってもよい。

[0030] 情報取得装置２３０は、ＴＬ検出器２１１によって検出された熱蛍光ＴＬの少なくとも強度に基づいて熱蛍光ＴＬに関する情報（所定の情報）を取得する。情報取得装置２３０は、ＴＬ検出器２１１から熱蛍光ＴＬの強度及び波長の情報を受信する。情報取得装置２３０は、受信した情報に基づいて、

例えば波長に対する強度の変化を表すデータやグラフを出不図示の出力装置等に出力する。情報取得装置230は、基本的に前述の作業を実行するソフトウェアで構成されているが、集積回路等のハードウェア、計算機等で構成されていてもよい。

[0031] 熱蛍光測定装置200は、レーザ光源201におけるレーザ光LAの出射条件を制御する不図示の制御装置を備えることが好ましい。また、前述の制御装置は情報取得装置230に接続され、情報取得装置230は、レーザ光LAの出射条件を考慮し、熱蛍光TLの強度及び波長に基づいて熱蛍光TLに関する情報を取得することが好ましい。

[0032] [熱蛍光測定方法]

本実施形態の熱蛍光測定方法は、上述の熱蛍光測定装置200を用いて、TL物質51の熱蛍光TLに関する測定を行う。

[0033] 本実施形態の熱蛍光測定方法では、先ず、図5に示すように、被加熱物質61にレーザ光LAを照射することによって被加熱物質61を加熱する。このとき、被加熱物質61を加熱する温度を、TL物質51において熱蛍光TLが生じる所定の加熱温度よりも高く、且つTL物質51が変質する第1変質温度及び被加熱物質61が変質する第2変質温度のうち低い方の変質温度よりも低い温度とする。本実施形態の熱蛍光測定方法における「熱蛍光TLが生じる所定の加熱温度」とは、TL物質51が変質しない状態においてTL物質51の熱蛍光TLが生じ得る最高温度を意味する。被加熱物質61を加熱する温度を前述のように設定することによって、被加熱物質61によって熱が与えられたTL物質51から熱蛍光TLが略全て発せられ、熱蛍光TLが残存し難くなる。

[0034] 次に、レーザ光LAによって加熱された被加熱物質61によって熱を与えられたTL物質51から発せられる熱蛍光TLの強度を測定する。具体的には、被加熱物質61によって熱を与えられたTL物質51の主に表面51aから発せられる熱蛍光TLをTL検出器211で検出する。TL検出器211で検出した熱蛍光TLに関する強度等に基づいて情報取得装置230によ

って熱蛍光TLに関する情報を取得する。

[0035] 情報取得装置230では、例えばTL素子50におけるTL物質51の温度に対する熱蛍光TLの強度を表すグロー曲線を作成することができる。また、TL検出器211で検出した熱蛍光TLに関する強度及び波長に基づいて、波長に対する熱蛍光TLの強度を表した熱蛍光TLのスペクトルを作成することができる。

[0036] [作用効果]

以上説明した本実施形態の熱蛍光測定方法は、被加熱物質61にレーザ光LAを照射することによって被加熱物質61を加熱する。レーザ光LAによって加熱された被加熱物質61から熱を与えられた、熱蛍光TLの測定対象のTL物質51から発せられる熱蛍光TLの強度を測定する。本実施形態の熱蛍光測定方法では、被加熱物質61を介してレーザ光LAによってTL物質51に熱TH（図1参照）のエネルギーを与える。本実施形態の熱蛍光測定方法によれば、連続光等に比べて高出力なレーザ光LAを用いるため、従来の熱蛍光測定方法よりも短時間でTL物質51に大きな熱THのエネルギーを加えることができる。このことによって、従来の熱蛍光測定方法よりも短時間且つ高温で熱蛍光TLを読み出して測定することができる。また、本実施形態の熱蛍光測定方法によれば、被加熱物質61を直接加熱するため、被加熱物質61及び隣接するTL素子50に対して選択的に熱THを加え、これらの素子の周囲の空間を加熱せずに済む。このことによって、従来の熱蛍光測定方法よりも効率良く熱蛍光TLを読み出して測定することができる。したがって、本実施形態の熱蛍光測定方法によれば、TL物質51の熱蛍光TLに関して短時間で且つ効率良く測定することができる。その結果、熱蛍光TLを高感度に測定することができる。

[0037] 本実施形態の熱蛍光測定方法では、被加熱物質61をレーザ光LAによって、TL物質51において熱蛍光TLが生じる最高温度（所定の加熱温度）よりも高く、且つTL物質51が変質する第1変質温度及び被加熱物質61が変質する第2変質温度のうち低い方の変質温度よりも低い温度で加熱する

。ＴＬ物質５１を加熱するためにヒーター等を用いる従来の熱蛍光測定方法では、測定装置の構成要素の熔融や破損、変質を発生させないために、ＴＬ物質５１が発する熱蛍光ＴＬは、約３５０℃以下、少なくとも４００℃以下の温度で読み出されている。従来の熱蛍光測定方法では、ＴＬ物質５１において３５０℃以上、或いは４００℃以上の高い温度に対応する熱ＴＨで読み出されるべき熱蛍光ＴＬが実際には読み出されない可能性が高い。一方、本実施形態の熱蛍光測定方法では、被加熱物質６１を介してＴＬ物質５１に対して、熱蛍光ＴＬが生じる最高温度よりも高く且つ第１変質温度及び第２変質温度のうち低い方の変質温度よりも低い適当な温度に対応する熱ＴＨのエネルギーを与える。本実施形態の熱蛍光測定方法では、被加熱物質６１及びＴＬ物質５１を変質させずに、ＴＬ物質５１における熱蛍光ＴＬを全て読み出すことができる。したがって、本実施形態の熱蛍光測定方法によれば、従来のように制約を受けた測定温度よりも高温領域でのＴＬ物質５１の熱蛍光ＴＬの量及び特性を正確に測定することができる。

[0038] 従来の熱蛍光測定方法では、測定装置に関して上限に制約を受けていた測定温度での測定の後の時間の経過と共に、測定温度よりも高い準位に捕獲されていた電子や正孔に基づく熱蛍光を読み出すために必要なエネルギーが低下することによって、前述のように上限に制約を受けていた測定温度での測定中に読み出しきれなかった熱蛍光ＴＬが読み出され、検出可能になる場合がある。そのため、従来の熱蛍光測定方法の測定後、次にＴＬ素子５０を使用するときには、残存している熱蛍光ＴＬを放出するためのアニール処理が必須であった。本実施形態の熱蛍光測定方法によれば、前述のようにＴＬ物質５１における熱蛍光ＴＬを略全て読み出すことが可能であるため、アニール処理を行わなくてもよい。なお、次にＴＬ素子５０を使用するときまでの経過時間が長い場合は、従来の熱蛍光測定方法と同様に、次の使用時のできる限り直前に、ＴＬ素子５０のアニール処理を行った方がよい。これは、ＴＬ素子５０の周囲の例えば空気中から僅かでも放射線ＲＡがＴＬ物質５１に照射されるからである。その場合でも、本実施形態の熱蛍光測定方法によ

れば、連続光等に比べて高出力なレーザ光L Aを用いるため、アニール処理にかかる時間を短縮することができる。したがって、本実施形態の熱蛍光測定方法によれば、TL物質5 1の熱蛍光TLに関して短時間で且つ効率良く測定することができる。

[0039] 本実施形態の熱蛍光測定方法では、上述の作用効果をふまえ、実効原子番号が比較的低いTL物質についても、被加熱物質6 1を介して短時間で所望の高い温度に加熱し、TL物質から発せられる熱蛍光TLを測定することができる。

[0040] 本実施形態の熱蛍光測定装置2 0 0は、上述の被加熱物質6 1と、レーザ光源2 0 1と、TL検出器2 1 1と、情報取得装置2 3 0と、を備える。被加熱物質6 1は、レーザ光L Aを照射されることによって加熱可能な物質である。レーザ光源2 0 1は、被加熱物質6 1にレーザ光L Aを照射する。TL検出器2 1 1は、被加熱物質6 1によって熱THを与えられるように被加熱物質6 1に接して配置されたTL物質5 1から発せられる熱蛍光TLを検出する。情報取得装置2 3 0は、TL検出器2 1 1によって検出された熱蛍光TLの強度に基づいて熱蛍光TLに関する所定の情報を取得する。このような構成を備える熱蛍光測定装置2 0 0では、TL物質5 1に対して、連続光等に比べて高出力なレーザ光L Aで従来の熱蛍光測定方法よりも短時間に大きな熱THのエネルギーが加わる。熱蛍光測定装置2 0 0によれば、従来の熱蛍光測定方法よりも短時間且つ高温で熱蛍光TLを読み出して測定することができる。また、熱蛍光測定装置2 0 0によれば、被加熱物質6 1が直接加熱されるため、被加熱物質6 1及び隣接するTL素子5 0に対して選択的に熱THが加わる。このことによって、従来の熱蛍光測定装置よりも効率良く熱蛍光TLを読み出して測定することができる。したがって、本実施形態の熱蛍光測定装置2 0 0によれば、TL物質5 1の熱蛍光TLに関して短時間で且つ効率良く測定することができる。

[0041] 本実施形態の熱蛍光測定装置2 0 0によれば、前述のように従来の熱蛍光測定装置よりもTL物質5 1の熱蛍光TLに関して短時間で且つ効率良く測

定可能であるため、熱蛍光TLを高感度に測定することができる。また、本実施形態の熱蛍光測定装置200によれば、従来の熱蛍光測定装置で用いられている赤外線ランプ、タングステンフィラメントヒーターや、熱風或いは熱板を用いた加熱に比べてTL素子50におけるTL物質51の温度を容易に且つ正確に制御することができ、且つ熱蛍光測定装置200の消費エネルギーを抑え、長期に使用可能とする。

[0042] 本実施形態の熱蛍光測定装置200では、被加熱物質61は、TL物質51において熱蛍光TLが生じる最高温度（所定の加熱温度）よりも高く、且つ第1変質温度及び第2変質温度のうち低い方の変質温度よりも低い温度で加熱される。熱蛍光測定装置200では、被加熱物質61を介してTL物質51に対して、熱蛍光TLが生じる最高温度よりも高く且つ第1変質温度及び第2変質温度のうち低い方の変質温度よりも低い適当な温度に対応する熱THのエネルギーを与える。本実施形態の熱蛍光測定装置200によれば、被加熱物質61及びTL物質51を変質させずに、TL物質51において従来の熱蛍光測定装置では読み出せずに残存していた高温域の熱蛍光TLを読み出すことができる。

[0043] 本実施形態の熱蛍光測定装置200では、被加熱物質61は、レーザ光LAを吸収可能な吸収剤及び接着剤を含み、測定対象のTL物質51の表面51bに接して配置されている。熱蛍光測定装置200によれば、被加熱物質61は吸収剤を含むため、照射されるレーザ光LAを良好に吸収して加熱される。また、熱蛍光測定装置200によれば、被加熱物質61は接着剤を含むため、被加熱物質61はTL物質51に対して高い接着強度で且つ安定した状態で隣接するように配置されている。そのため、レーザ光LAによって加熱される被加熱物質61から熱THが効率良くTL物質51に供給される。また、前述のように互いに隣接するTL物質51及び被加熱物質61を有するTL素子50は、専用のケース等を必要とせず、任意の姿勢で熱蛍光測定装置200に設置可能である。

[0044] 本実施形態の熱蛍光測定装置200では、被加熱物質61の吸収剤は黒体

であり、被加熱物質 6 1 は黒体塗料である。熱蛍光測定装置 2 0 0 によれば、照射されるレーザ光 L A が可視光であれば波長によらず、被加熱物質 6 1 はレーザ光 L A を吸収し、加熱される。即ち、レーザ光源 2 0 1 の選択自由度が高まる。

[0045] 以上、本発明に係る好ましい実施形態について詳述した。本発明は、上述の実施形態に限定されない。本発明は、特許請求の範囲内に記載された本発明の要旨の範囲内において、変更可能である。

[0046] 例えば、上述の実施形態の熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置 2 0 0 では、「熱蛍光 T L が生じる所定の加熱温度」は、T L 物質 5 1 が変質しない状態であれば、必ずしも T L 物質 5 1 の熱蛍光 T L が生じ得る最高温度に限定されない。即ち、被加熱物質 6 1 は熱蛍光 T L が生じ得る最高温度よりも低い所定の加熱温度より僅かに高く、且つ第 1 変質温度及び第 2 変質温度のうち低い方の変質温度よりも低い適当な温度で加熱されてもよい。その場合、熱蛍光 T L の測定後に、熱蛍光測定装置 2 0 0 を用いて T L 素子 5 0 のアニール処理を行うことが好ましい。

[0047] 例えば、上述の実施形態の T L 素子 5 0 は平面視で略矩形状を有するが、T L 素子 5 0 の平面視形状は、角部が欠落していない矩形状、矩形以外の多角形状、楕円形状、星形状やその他の任意の形状であってもよく、熱蛍光測定装置における配置等を考慮して適宜設定されていてもよい。

[0048] 例えば、上述の実施形態の熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置 2 0 0 では、被加熱物質 6 1 は黒体塗料であるが、被加熱物質 6 1 はレーザ光 L A を吸収することによって加熱可能であれば、特に限定されない。例えば、レーザ光 L A が赤色の可視光であれば、被加熱物質 6 1 は少なくとも赤色のレーザ光 L A を吸収可能な赤色或いは紫色の着色剤と接着剤とを含む塗料であってもよい。また、被加熱物質 6 1 は、レーザ光 L A を吸収可能な塗料に限定されず、レーザ光 L A を吸収可能な固体材料や化合物であってもよい。また、接着剤がレーザ光 L A を照射され且つ所定の温度に加熱されても変質せず、熱蛍光 T L の特性に影響を与えない場合は、T L 物質 5 1 の表面 5 1 b と接

着剤を含まない被加熱物質 61 の表面 61 a が前述の接着剤によって接着されているもよい。

[0049] また、被加熱物質 61 は、自身がレーザ光 L A によって加熱されることによって熱 T H を T L 物質 51 に与えられれば、接着剤を介して T L 物質 51 に接着されていなくてもよい。例えば、T L 物質 51 の表面 51 b と被加熱物質 61 の表面 61 a とが隙間をあけずに互いに密着し、T L 物質 51 及び被加熱物質 61 の厚み方向で積層された状態で、両物質の平面視で周縁部分の少なくとも一部が支持具等によって厚み方向で挟まれて固定されていてもよい。その場合、支持具はレーザ光 L A を照射され且つ加熱されても溶融或いは変質しないものであることが好ましい。但し、支持具が溶融或いは変質する可能性がある場合は、熱蛍光測定装置 200 においてレーザ光 L A が被加熱物質 61 の中央部に照射されるようにレーザ光 L A の照射パターンを制御してもよい。

[0050] 次に、T L 検出器 211 のより好ましい形態について、説明する。T L 検出器 211 は、前述したように熱蛍光 T L の波長を測定する機能を有し、具体的には熱蛍光 T L のピーク波長を基準として高い信号対雑音比 (S/N 比) で熱蛍光 T L を検出可能な分光器或いは分光センサであることが好ましい。図 6 に示すように、T L 検出器 211 の好ましい一形態である T L 検出器 211 A は、回折格子 (分光素子) 222 と、スリット 224 と、フォトディテクタ (光検出器) 228 と、を備える。回折格子 222 は、図 5 に示す T L 物質 51 から発せられた熱蛍光 T L の進路上に配置され、熱蛍光 T L が入射する格子面 222 a を有する。回折格子 222 の格子面 222 a には、反射型の周期構造 223 が形成されている。

[0051] 回折格子 222 の格子面 222 a に入射した熱蛍光 T L は、波長毎に互いに異なる回折角によって互いに異なる方向に回折される。格子面 222 a に直交する不図示の基準線に対する熱蛍光 T L の入射角 θ_{in} と前述の基準線に対する回折角 θ_m には、グレーティング方程式 ; $d (\sin \theta_{in} + \sin \theta_m) = m \lambda$ で表される関係が成り立つ。d は、周期構造 223 の周期を表す。

m は回折次数を表し、本実施形態では例えば $m = 1$ である。 λ は、熱蛍光TLに含まれる k 番目のスペクトル成分TS (k)の波長を表す。 k は、熱蛍光TLのスペクトルの最も短い波長から所定の波長間隔で数えたときの順番を示す番号である。なお、前述の波長間隔は形式的なものであって、熱蛍光TLのスペクトルは波長軸上で所定の範囲内に連続的に分布している。グレーティング方程式によれば、所定の周期 d 及び入射角 θ_{in} に対して、波長 λ を設定すれば、熱蛍光TLの波長 λ のスペクトル成分TS (k)の回折角 θ_{m-k} が一意に決まる。

[0052] スリット224は、回折格子222で回折された熱蛍光TLの進路上に形成されている。スリット224は、回折格子222によって回折された熱蛍光TLの進路に交差する方向（以下、D1方向）に延在する遮蔽板225に形成されている。スリット224のD1方向の幅を s とする。フォトディテクタ228は、スリット224を通過する熱蛍光TLのスペクトル成分TS (k)のスリット224よりも前方に配置されている。フォトディテクタ228は、回折格子222によって回折された熱蛍光TLのうち、スリット224を通ったスペクトル成分TS (k)を受光し、スペクトル成分TS (k)の光強度を示す定量的な電気信号を図5に示す情報取得装置230に出力する。

[0053] TL検出器211Aでは、遮蔽板225すなわちスリット224の位置と、スリット224を通るスペクトル成分TS (k)を受光するフォトディテクタ228は、固定されている。一方、回折格子222が熱蛍光TLの進路に平行な平面内でR方向に回転することによって、スリット224を通過してフォトディテクタ228で受光される熱蛍光TLのスペクトル成分TS (k)の番号 k が変化する。したがって、回折格子222をTL物質51から発せられる熱蛍光TLのスペクトル帯域に応じた所定の角度範囲及び所定の角度間隔でR方向に回転させ、所定の角度間隔ごとに熱蛍光TLのスペクトル成分TS (k) ($k = 1 \sim j$ 、 j は整数)の光強度をフォトディテクタ228によって測定及び検出することによって、熱蛍光TLのスペクトル情報を

取得することができる。

[0054] TL検出器211Aでは、TL物質51から発せられた熱蛍光TLの進路上で、回折格子222、スリット224が形成された遮蔽板225、フォトディテクタ228が順次配置されている。このように回折格子222、スリット224及びフォトディテクタ228を備えるTL検出器211の変形例として、図7に示すように、熱蛍光TLの進路上で、スリット224が形成された遮蔽板225、回折格子222、フォトディテクタ228が順次配置されたTL検出器211Bが挙げられる。

[0055] TL検出器211Bでは、図5に示すTL物質51から発せられた熱蛍光TLが幅sのスリット224を通り、回折格子222の周期構造223に入射する。周期構造223によって回折された熱蛍光TLは、波長 λ 毎に異なる回折角 θ_{m-k} で回折し、回折格子222からフォトディテクタ228に向けて出射される。TL検出器211Bのフォトディテクタ228は、フォトディテクタアレイで構成され、D1方向に沿って配列された複数の光検出部を有する。互いに異なる波長 λ のスペクトル成分TS(k) ($k=1\sim j$ 、jは整数)は、フォトディテクタ228の互いに異なる光検出部で受光される。

[0056] TL検出器211Bでは、TL検出器211Aと同様に、遮蔽板225すなわちスリット224の位置と、スリット224を通るスペクトル成分TS(k)を受光するフォトディテクタ228は、固定されている。一方、TL検出器211Bでは、回折格子222についても回転不要であり、固定されている。TL検出器211Bでは、TL検出器211Aと同様に、熱蛍光TLのスペクトル成分TS(k) ($k=1\sim j$ 、jは整数)の光強度をフォトディテクタ228の複数の光検出部によって測定及び検出することによって、熱蛍光TLのスペクトル情報を取得することができる。

[0057] 上述のTL検出器211A、211Bでは、熱蛍光TLのスペクトル情報の波長 λ 、すなわち熱蛍光TLのスペクトル分布を表すグラフの横軸の波長 λ は、回折格子222の周期構造223の周期d、熱蛍光TLの入射角 θ_{in}

、スリット224を通してフォトディテクタ228で検出される熱蛍光TLのk番目のスペクトル成分TS(k)の回折角 θ_{m-k} 、すなわち回折格子222に対してスリット224及びフォトディテクタ228が配置及び固定されている相対位置、回折次数mによって算出される。

[0058] 上述の熱蛍光TLのスペクトル情報の波長 λ の間隔は、回折格子222の周期構造223の周期d、及びスリット224の幅sによって変わる。つまり、周期d及び幅sによって、上述の熱蛍光TLのスペクトル分布の波長分解能が決まる。周期dが大きくなる程、また、幅sが広くなる程、熱蛍光TLのスペクトル分布の波長分解能が低下するとともに、スリット224に熱蛍光TLのスペクトル成分TS(k)以外のノイズ成分が通り、フォトディテクタ228で受光され、熱蛍光TLの測定及び検出におけるS/N比が低下する。回折格子222の周期構造223の周期d、及びスリット224の幅sは、TL物質51の熱蛍光TLのスペクトルの最も高いピークの半値幅の少なくとも2倍未満の波長分解能を達成するように設定されることが好ましく、当該半値幅と同等の波長分解能を達成するように設定されることがより好ましく、当該半値幅の1/2の波長分解能を達成するように設定されることがさらに好ましい。例えば、TL物質51の熱蛍光TLのスペクトルの最も高いピークの半値幅が約5nmであれば、周期d及び幅sは、熱蛍光TLのスペクトル情報及びスペクトル分布の測定時に約5nmの波長分解能を達成するように設定されることが好ましく、約2nmの波長分解能を達成するように設定されることが好ましい。従来のように例えばガラス板等を基板として用いた波長フィルタを備える分光器では、波長分解能は約10nm以上であり、上述のように数nm、或いは1nm以下の波長分解能を実現するのは難しい。適切な周期dを有する回折格子222及び周期dに応じた幅sで形成されたスリット224を備えるTL検出器211A、211Bでは、従来よりも高いS/N比で熱蛍光TLを測定することができる。

[0059] 熱蛍光TLのスペクトルのピークの半値幅や数は、TL物質51の種類によって異なる。また、同じTL物質51においても、測定波長によって熱蛍

光 TL に対するノイズ成分の強度が異なる場合がある。そのため、TL 検出器 211A、211B では、スリット 224 の幅 s が調節可能であることが好ましい。具体的には、情報取得装置 230 は、スリット 224 の幅 s を調節可能に構成された不図示の制御部を備える。制御部は、情報取得装置 230 に入力されたフォトディテクタ 228 からの熱蛍光 TL のスペクトル成分 $TS(k)$ の光強度に関する情報、及び熱蛍光 TL のスペクトル成分 $TS(k)$ の測定時の S/N 比に応じてリアルタイムでスリット 224 の幅 s を調整する。制御部は、スリット 224 の幅 s に加えて位置を調整可能に構成されてもよい。情報取得装置 230 が制御部を備え、スリット 224 の幅 s を調整可能であることによって、あらゆる TL 物質 51 の熱蛍光特性に最適な波長分解能及び測定条件を導くと共に、最適な波長分解能及び測定条件で熱蛍光 TL を高精度に測定することができる。

[0060] スリット 224 の幅 s を最適に設定するためには、実測に用いる TL 物質 51 の予備測定が可能であれば、或いは実測に用いる TL 物質 51 と同種類の TL 物質があれば、予め図 5 に示す熱蛍光測定装置 200 を用いて実測に用いる TL 物質 51 或いは TL 物質 51 と同種類の TL 物質の熱蛍光 TL のスペクトル分布を測定してもよい。測定波長帯域の波長毎に S/N 比が所定の条件を満たす良好な状態でスペクトル成分 $TS(k)$ の光強度を測定可能なスリット 224 の幅 s を決め、情報取得装置 230 に波長 λ と番号 k と決定した幅 s とのデータテーブルが記憶され、実測時に制御部が前述のデータテーブルに基づいてスリット 224 の幅 s を調節することができる。なお、予め前述のデータテーブルの作成が難しい場合は、熱蛍光 TL の実測時において、測定波長帯域の波長毎に S/N 比が所定の条件を満たすように、スリット 224 の幅 s がリアルタイムで調整されればよい。

[0061] なお、TL 検出器 211A、211B では、回折格子 222 の格子面 222a に透過型の周期構造が形成されていてもよい。また、TL 検出器 211A、211B では、回折格子 222 に替えて、プリズム等の分光素子が用いられてもよい。また、TL 検出器 211A では、遮蔽板 225 及びスリット

224に替えて不図示のグリッドが用いられてもよい。グリッドは、D1方向（互いに異なる方向に交差する方向）に沿って並べて配置された複数の格子を備える。回折格子222によって回折されてD1方向に交差する方向に沿って進む熱蛍光TLが各々の格子を通過する。各々の格子を通ることができる熱蛍光TLのスペクトル成分TS(k)の波長は、格子のD1方向での位置によって異なる。つまり、回折格子222の格子面222aに対して回折角 θ_{m-k} をなす方向（互いに異なる方向）の進路上のグリッドには、スペクトル成分TS(k)が通過可能である。回折格子222の格子面222aに対して回折角 θ_{m-k} をなす方向の進路上の格子を通して、スペクトル成分TS(k)の波長すなわち番号kに応じた特定の波長に関する熱蛍光TLの光強度の情報がフォトディテクタ228で取得される。したがって、遮蔽板225及びスリット224に替えてグリッドを備えるTL検出器211Aでは、フォトディテクタ228はフォトディテクタアレイで構成され、グリッドの各々の格子にフォトディテクタアレイの各々の検出部が対応するように配置され、回折格子222をR方向に回転させることなく、TL検出器211Bと同様に、熱蛍光TLのスペクトル成分TS(k)（ $k=1\sim j$ 、jは整数）の光強度をフォトディテクタ228の複数の光検出部によって測定及び検出することができる。このことによって、熱蛍光TLのスペクトル情報を取得し、熱蛍光TLの分光測定を行うことができる。前述のグリッドを用いた場合、熱蛍光TLのスペクトル情報を検出する際の波長分解能及びS/N比は、グリッドの複数の格子のD1方向での開口の大きさ、すなわち複数の格子での熱蛍光TLの通過可能な幅寸法によって決まる。つまり、グリッドの複数の格子のD1方向での開口の大きさは、S/N比が所定の条件を満たし、良好な状態且つ高精度でスペクトル成分TS(k)の波長毎の光強度を測定可能な大きさに設定されている。前述のグリッドの各々の格子を通ったスペクトル成分TS(k)の番号kに応じた波長とフォトディテクタ228で受光された光強度に関する情報は、TL検出器211Aについて説明したように、情報取得装置230に出力される。例えば、CMOS（C o m p l e

mentary Metal Oxide Semiconductor)

カメラの受光面よりも熱蛍光TLの入射側すなわち熱蛍光TLの進路の手前側に前述のグリッドを配置することによって、熱蛍光TLのスペクトル情報を取得し、熱蛍光TLの分光測定を行うことができる。さらに、前述のグリッドの各々の格子にダイクロイックミラー、波長フィルタ等のように波長選択機能を有する光学素子を組み合わせることによって、光学素子を用いない場合に比べて熱蛍光TLに対するノイズを低減することができる。フォトディテクタ228に替えて光電子増倍管等の光検出器が用いられてもよい。さらに、TL検出器211Aでは、熱蛍光TLの進路上で、回折格子222よりも手前側、回折格子222と遮蔽板225との間、及び遮蔽板225とフォトディテクタ228との間のうち少なくとも1つの領域内に、熱蛍光TLのビーム径を拡大又は縮小するための不図示のレンズ、熱蛍光TLの進路を屈折させるための不図示の反射ミラー、ダイクロイックミラー、或いは所望の光学機能を有するフィルタ等が適宜配置されてもよい。TL検出器211Bでは、熱蛍光TLの進路上で、遮蔽板225と回折格子222との間、及び回折格子222とフォトディテクタ228との間のうち少なくとも1つの領域内に、熱蛍光TLのビーム径を拡大又は縮小するための不図示のレンズ、熱蛍光TLの進路を屈折させるための不図示の反射ミラー、ダイクロイックミラー、或いは所望の光学機能を有するフィルタ等が適宜配置されてもよい。

[0062] 上述の熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置200では、レーザ光LAを被加熱物質61に直接照射し、被加熱物質61を介してTL物質51を従来のアニール処理時の温度やガラスの耐熱温度よりも高温、すなわち少なくとも400℃以上に秒単位の超短時間で加熱し、高いS/N比で熱蛍光TLを測定することができる。熱蛍光測定装置200において上述で詳しく説明していない部材や被加熱物質61及びTL物質51の支持部材等も少なくとも400℃以上に耐熱性を有することが好ましい。つまり、被加熱物質61、TL物質51、及びこれらの物質の支持部材の耐熱温度は、400℃以上であ

ることが好ましい。

[0063] TL物質51からの熱放射によって発せられる光の波長は、被加熱物質61を加熱する温度に応じてTL物質51が加熱される所定の加熱温度に依存し、当該加熱温度が高くなる程高まる。例えば400℃以上の加熱温度の状況では、TL物質51からの熱放射による光の波長帯が熱蛍光TLの波長帯と少なくとも部分的に互いに重なる。例えば、TL物質51からの熱蛍光TLのスペクトルをガラスフィルタのように固体材料からなる波長フィルタを通して検出すると、固体材料の光学特性、耐熱性等に起因して熱蛍光TLを信号光とするS/N比が低下し、本来得るべき熱蛍光TLのスペクトル特性を正確に検出することが困難である。つまり、熱蛍光TLの波長帯の少なくとも一部の帯域とTL物質51からの熱放射による光の波長帯の少なくとも一部の帯域とが互いに重なる加熱温度（温度）の状況では、従来のガラスフィルタ等の固定材料からなる波長フィルタによって熱蛍光TLを分光する装置を線量計として用いることが難しい。前述の加熱温度の状況では、高いS/N比で熱蛍光TLを測定可能とするために、熱蛍光TLの受光時の波長分解能やスリット幅を調整可能な構成が求められる。上述の熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置200は、前述の構成を備えるので、熱蛍光TLの波長帯の少なくとも一部の帯域とTL物質51からの熱放射による光の波長帯の少なくとも一部の帯域とが互いに重なる加熱温度の状況であっても、高いS/N比での熱蛍光TLの測定を実現する。

実施例

[0064] 次いで、本発明に係る実施例について説明する。なお、本発明は、以下の実施例に限定されない。

[0065] [実施例1]

TL物質51には、酸化ベリリウム（BeO）のセラミックス板を用いた。被加熱物質61には、黒体塗料として、市販の黒体塗料（商品名；JSC-3号、ジャパンセンサー株式会社製）を用いた。TL素子50の形状及び構成は図3及び図4に示すものと同様にした。TL素子50の平面視での大

きを $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ とした。前述の黒体塗料は、ＴＬ物質 51 の表面 51 b に前述の市販の黒体塗料をスプレー噴射式で噴射することによって積層し、被加熱物質 61 を形成し、ＴＬ素子 50 を作製した。図 5 に示すＴＬ素子 50 以外の各構成と同様の構成を備える測定装置として、市販のレーザ平面瞬間加熱装置（製品名；E x L A S E R（登録商標）、坂口電熱株式会社製）を用意した。

[0066] レーザ平面瞬間加熱装置のレーザ光源からレーザ光をＴＬ素子に照射した。レーザ光源の平均出力は 3000 W であり、出力密度は 95.6 W/cm^2 であった。レーザ光 L A のピーク波長は 940 nm であり、ビームサイズは基本的に $\phi 56\text{ mm}$ であった。このような条件において、照射開始から 1 秒でＴＬ素子の温度が 500°C まで上昇し、照射開始から 5 秒でＴＬ素子の温度が 1000°C まで上昇した。また、照射開始から 30 秒間でＴＬ素子の温度が 1000°C になるまで 10 回繰り返し加熱しても、ＴＬ素子の変質や変形は見られなかった。即ち、レーザ光をＴＬ素子の被加熱物質に照射することによって、従来よりも短時間で 1000°C 近くの高温にＴＬ素子を加熱可能であることを確認した。

[0067] [実施例 2]

本実施例では、図 8 に示すように、上述の実施形態の熱蛍光測定装置 200 の変形例として、熱蛍光測定装置 250 を試作した。熱蛍光測定装置 250 では、ＴＬ物質 51 の表面 51 a 及び被加熱物質 61 の表面 61 b が不図示の水平面に対して略垂直に立つようにＴＬ素子 50 を配置した。レーザ光 L A を被加熱物質 61 の表面 61 b に対して斜入射するようにレーザ光源 201 を配置した。また、ＴＬ物質 51 の主に表面 51 a から出射される熱蛍光 T L を斜め上方の角度で検出するようにＴＬ検出器 211 を配置した。

[0068] ＴＬ物質 51 には、不純物としてクロムが添加された酸化アルミニウム（ $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Cr}$ ）を用いた。被加熱物質 61 には、黒体塗料として、実施例 1 と同じ黒体塗料（商品名；J S C - 3 号、ジャパンセンサー株式会社製）を用いた。ＴＬ素子 50 の形状及び構成は図 3 及び図 4 に示すものと同様に

した。TL素子50の平面視での大きさを10mm×10mmとした。TL物質51の表面51bに前述の市販の黒体塗料を噴射することによって積層し、被加熱物質61を形成し、TL素子50を作製した。熱蛍光測定装置250のレーザ光源201には、市販のレーザダイオード(LD)加熱光源(型番; LD-HEATER L10060-7、浜松ホトニクス株式会社製)を使用した。TL検出器211として、TL素子50の温度を検出するために市販の二色放射温度計(型番; EF2RL-F0-1-0-0-01BLL、FLUKE Process Instruments製)を使用し、熱蛍光TLの波長及び強度を検出するために市販のマルチチャンネル分光器(型番; PMA12 C10027-01、浜松ホトニクス株式会社製)を使用した。

[0069] 上述の熱蛍光測定装置250を用いて、先ず、TL素子50の加熱時における耐久性を調べた。レーザ光源の出力を35Wにして、TL素子50を420℃に加熱した。また、レーザ光源の出力を80Wにして、TL素子50を980℃に加熱した。何れの加熱温度においてもビームサイズを $\phi 10\text{ mm}$ とした。レーザ光の照射距離(即ち、レーザ光源の出射口からTL素子の入射面までの距離)を約150mmとした。何れの温度においても、TL素子50の全体にレーザ光LAを照射した場合は、TL素子50の変質や変形は生じなかった。TL素子50の一部分のみにレーザ光LAを照射した場合は、TL素子50が破損した。

[0070] 続いて、上述の熱蛍光測定装置250を用いて、上述の実施形態の熱蛍光測定方法に沿って420℃及び980℃において、TL素子50の熱蛍光TLを読み出し、熱蛍光TLの感度を比較した。レーザ光LAの照射距離(即ち、レーザ光源の出射口からTL素子の入射面までの距離)を480mmとした。420℃でTL素子50からの熱蛍光TLを測定した結果、480℃で読み出した後に980℃でTL素子50からの熱蛍光TLを測定した結果、及び取得した全熱蛍光を図9に示す。

[0071] 図9に示すグラフからわかるように、 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$ からなるTL物質5

1を有するTL素子50を480℃で読み出した後に980℃で読み出したときの熱蛍光量は、420℃で読み出した熱蛍光量に比べて5.9倍多いという結果が得られた。TL素子50からの全ての熱蛍光量は、420℃で読み出した熱蛍光量に比べて6.9倍多いという結果が得られた。 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$ はTL物質51の一例であるが、従来の熱蛍光TLの読み出しが行われていた温度帯の420℃ではTL物質51からの全ての熱蛍光TL（即ち、全熱蛍光）の一部しか読み出せていなかったことが明らかになった。また、420℃よりも高温領域の980℃では熱蛍光TLを全熱蛍光に近い、且つ従来よりも正確に読み出すことができ、被加熱物質61へのレーザ光LAの適切な照射によってTL素子50を変質させることなく高温領域まで加熱可能であることが明らかになった。熱蛍光TLの読み出しにかかった時間は、約6秒であった。熱蛍光TLの読み出し時間が短くなる程、単位時間あたりの熱蛍光TLの強度が高くなるため、さらなる高感度化が期待される。なお、実施例2では、TL物質51として $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$ を用いたが、 $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$ 以外の全てのTL素子にて同様の結果が得られることが期待される。即ち、融点以下或いは変質点以下の温度での読み出しによって、従来TL素子に蓄積された情報を高効率で測定することができる。また、レーザ光源から出射されるレーザ光の出力を高めることによって、熱蛍光TLの読み出しにかかる時間を短縮することができる。

[0072] 以上説明した実施例で得られた結果から、上述の実施形態で説明した熱蛍光測定方法及び熱蛍光測定装置によれば、レーザ光LAで加熱した被加熱物質を介してTL物質に対して短時間で熱を与え、熱蛍光に関して従来よりも効率良く且つ高感度に測定可能であることを確認した。

符号の説明

[0073] 51…TL物質（熱蛍光物質）、61…被加熱物質、200、250…熱蛍光測定装置、201…レーザ光源、211…TL検出器（熱蛍光検出器）、230…情報取得装置、LA…レーザ光

請求の範囲

- [請求項1] 被加熱物質にレーザ光を照射することによって前記被加熱物質を加熱し、
前記レーザ光によって加熱された前記被加熱物質から熱を与えられた測定対象の熱蛍光物質から発せられる熱蛍光の強度を測定する、
熱蛍光測定方法。
- [請求項2] 前記被加熱物質を前記レーザ光によって、
前記熱蛍光物質において熱蛍光が生じる所定の加熱温度よりも高く、且つ前記熱蛍光物質が変質する第1変質温度及び前記被加熱物質が変質する第2変質温度のうち低い方の変質温度よりも低い温度で加熱する、
請求項1に記載の熱蛍光測定方法。
- [請求項3] 前記温度は400℃以上である、
請求項2に記載の熱蛍光測定方法。
- [請求項4] 前記熱蛍光物質が加熱される温度では前記熱蛍光の波長帯の少なくとも一部の帯域と前記熱蛍光物質の熱放射によって生じる光の波長帯の少なくとも一部の帯域が互いに重なる、
請求項1から3の何れか一項に記載の熱蛍光測定方法。
- [請求項5] レーザ光を照射されることによって加熱可能な被加熱物質と、
前記被加熱物質に前記レーザ光を照射するレーザ光源と、
前記被加熱物質に接して配置されて前記被加熱物質によって熱を与えられた熱蛍光物質から発せられる熱蛍光を検出する熱蛍光検出器と、
前記熱蛍光検出器によって検出された前記熱蛍光の強度に基づいて前記熱蛍光に関する所定の情報を取得する情報取得装置と、
を備える、
熱蛍光測定装置。
- [請求項6] 前記被加熱物質は、前記熱蛍光物質において熱蛍光が生じる所定の

加熱温度よりも高く、且つ前記熱蛍光物質が変質する第1変質温度及び前記被加熱物質が変質する第2変質温度のうち低い方の変質温度よりも低い温度で加熱される、

請求項5に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項7] 前記温度は400℃以上の温度である、

請求項6に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項8] 前記被加熱物質は、前記レーザ光を吸収可能な吸収剤及び接着剤を含み、前記熱蛍光物質の表面に接して配置されている、

請求項5から7の何れか一項に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項9] 前記吸収剤は黒体である、

請求項8に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項10] 前記黒体はジルコン及び酸化クロムを含む、

請求項9に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項11] 前記熱蛍光検出器は、

前記熱蛍光物質から発せられる前記熱蛍光を分光して前記熱蛍光に含まれる互いに異なる波長を有するスペクトル成分を互いに異なる方向に出射する分光素子と、

前記分光素子から出射された前記スペクトル成分を受光して前記スペクトル成分の光強度に関する情報を前記情報取得装置に出力する光検出器と、

所定の幅のスリットが形成された遮蔽板と、

を備え、

前記分光素子に入射する前記熱蛍光、又は前記分光素子から出射されて前記光検出器で受光される前の前記スペクトル成分は前記スリットを通る、

請求項5から10の何れか一項に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項12] 前記情報取得装置は制御部を有し、

前記制御部は前記スペクトル成分の光強度の信号対雑音比が所定の

条件を満たすように前記スリットの所定の幅を調整可能に構成されている、

請求項 11 に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項13]

前記熱蛍光検出器は、

前記熱蛍光物質から発せられる前記熱蛍光を分光して前記熱蛍光に含まれる互いに異なる波長を有するスペクトル成分を互いに異なる方向に出射する分光素子と、

前記互いに異なる方向に交差する方向に並んで配置された複数の格子を有するグリッドと、

を備え、

前記複数の格子のそれぞれには前記互いに異なる方向に応じた特定の前記波長を有する前記スペクトル成分が通過可能であり、それぞれの前記格子を通った前記スペクトル成分の波長及び光強度に関する情報は前記情報取得装置に出力され、

前記格子の幅は前記スペクトル成分の光強度の信号対雑音比が所定の条件を満たすように設定されている、

請求項 5 から 10 の何れか一項に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項14]

前記熱蛍光物質が加熱される温度では前記熱蛍光の波長帯の少なくとも一部の帯域と前記熱蛍光物質の熱放射の波長帯の少なくとも一部の帯域が互いに重なっている、

請求項 11 から 13 の何れか一項に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項15]

前記被加熱物質に対して前記レーザ光源から出射された前記レーザ光が直接照射される、

請求項 5 から 14 の何れか一項に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項16]

前記被加熱物質及び前記熱蛍光物質の耐熱温度は 400℃以上である、

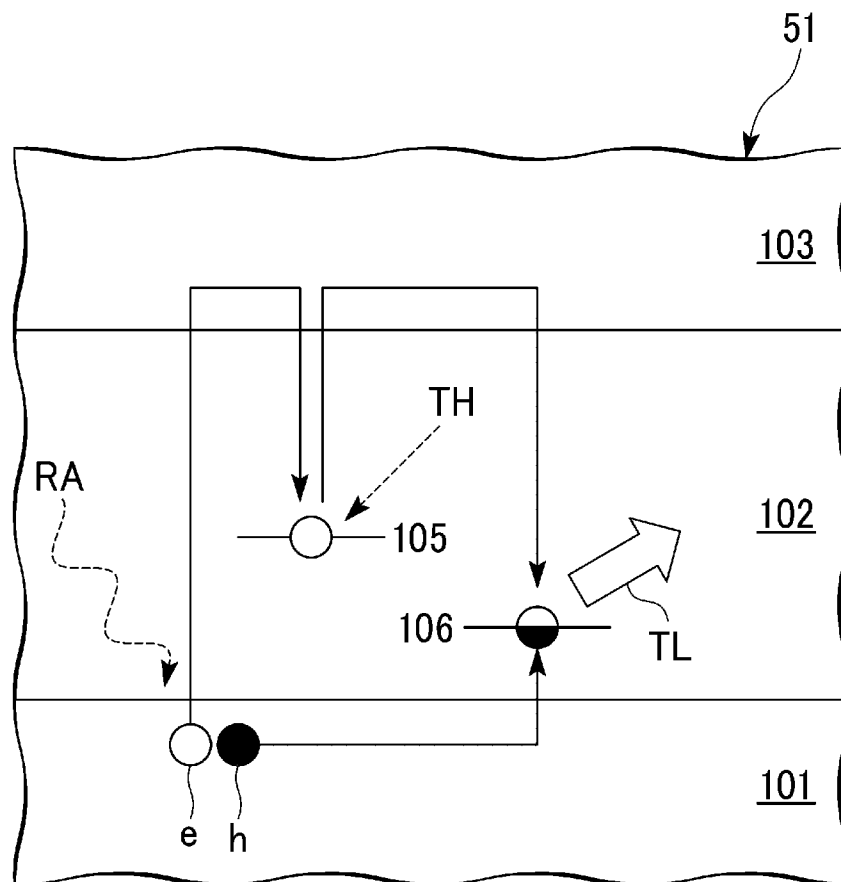
請求項 5 から 15 の何れか一項に記載の熱蛍光測定装置。

[請求項17]

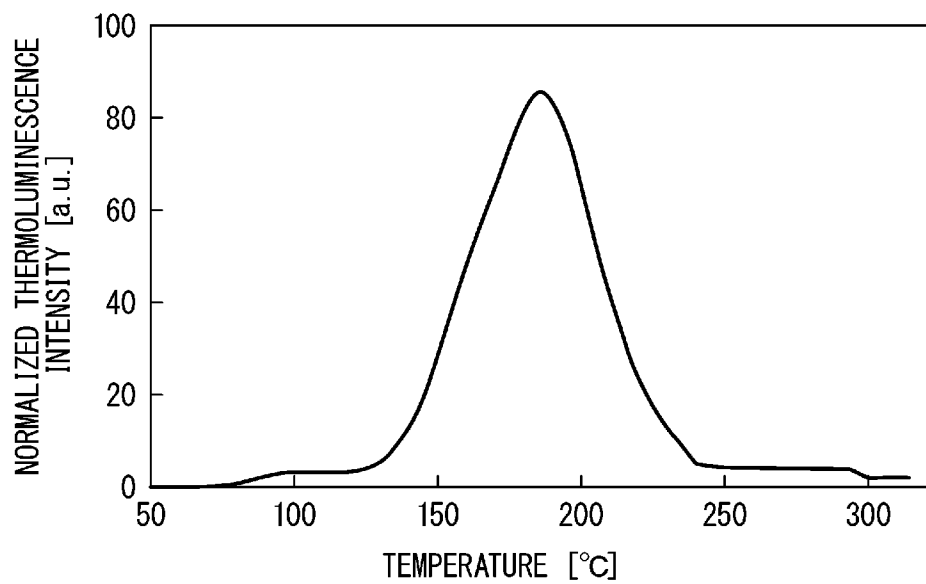
前記熱蛍光物質は酸化ベリリウムを含む、

請求項 5 から 1 6 の何れか一項に記載の熱蛍光測定装置。

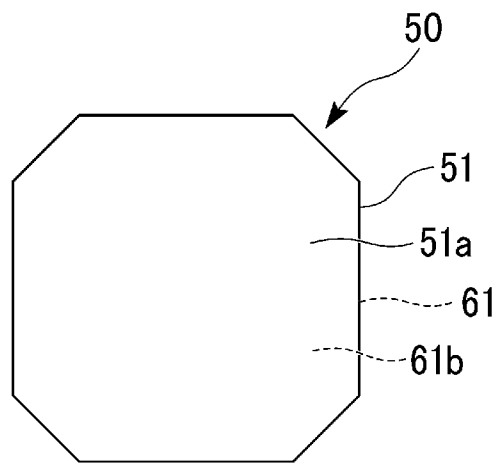
[図1]



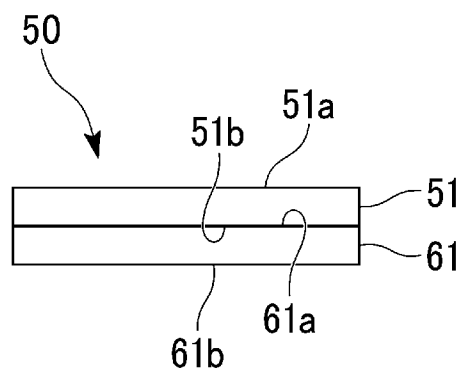
[図2]



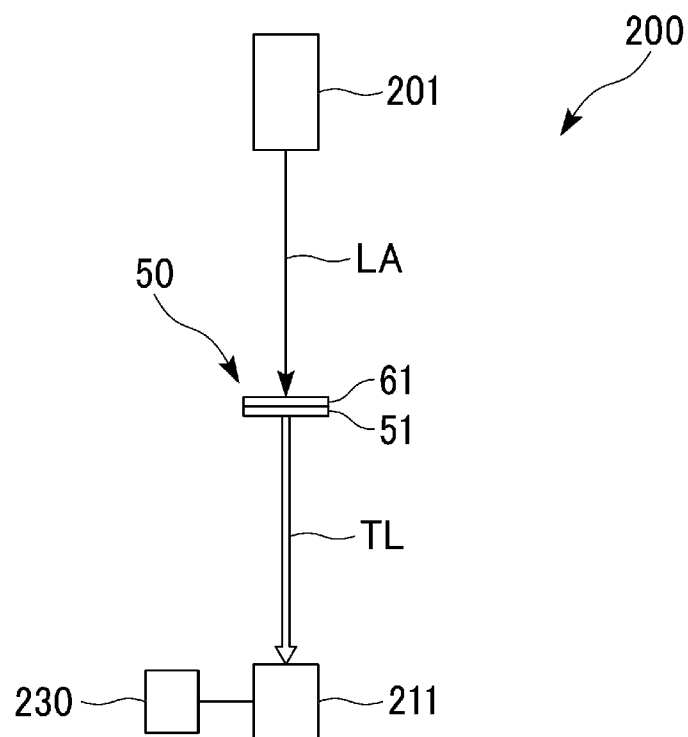
[図3]



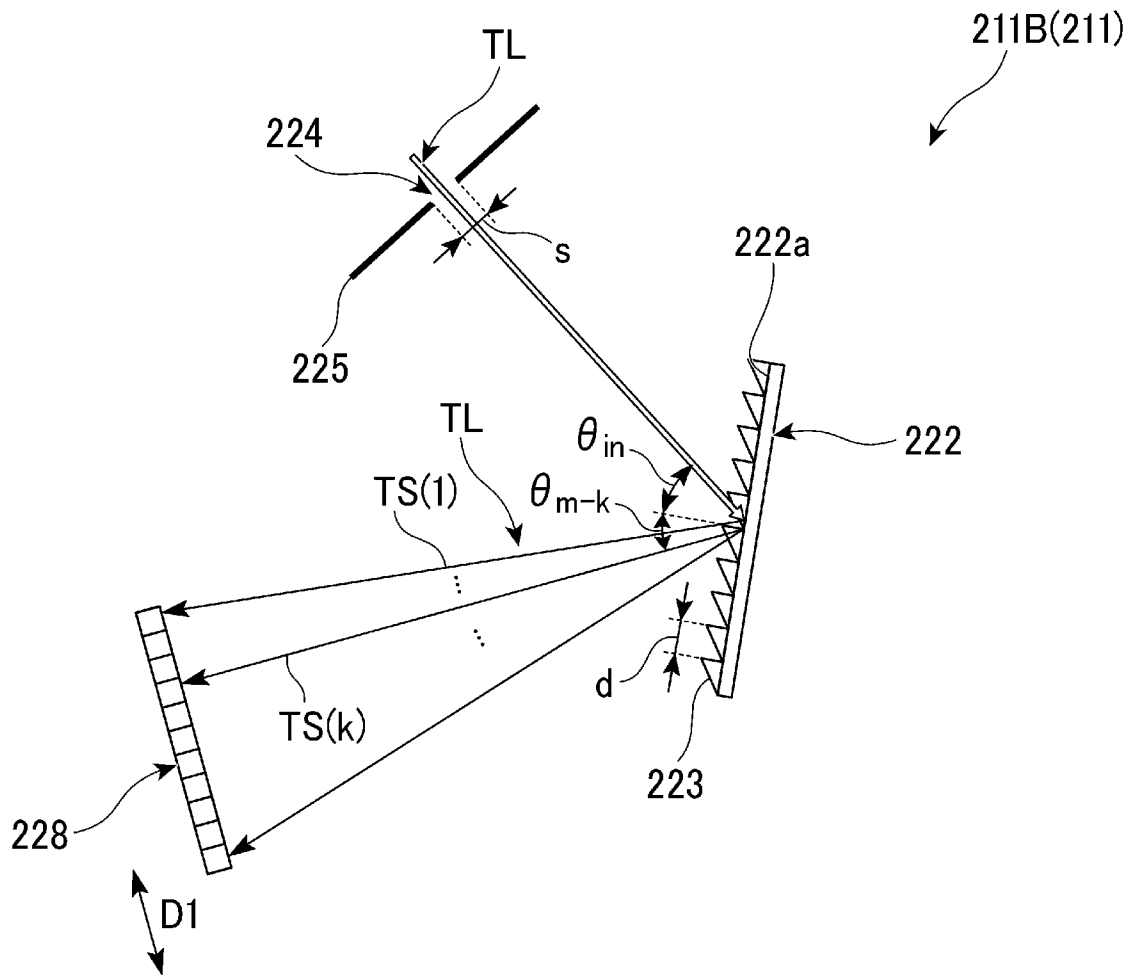
[図4]



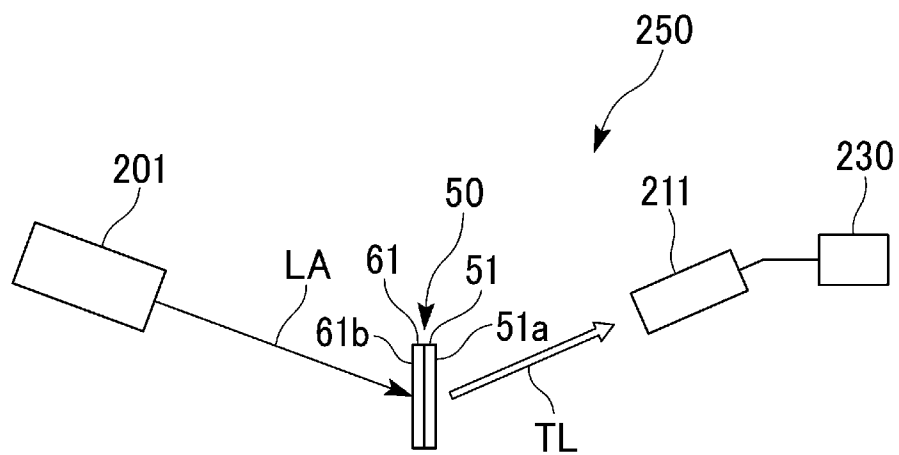
[図5]



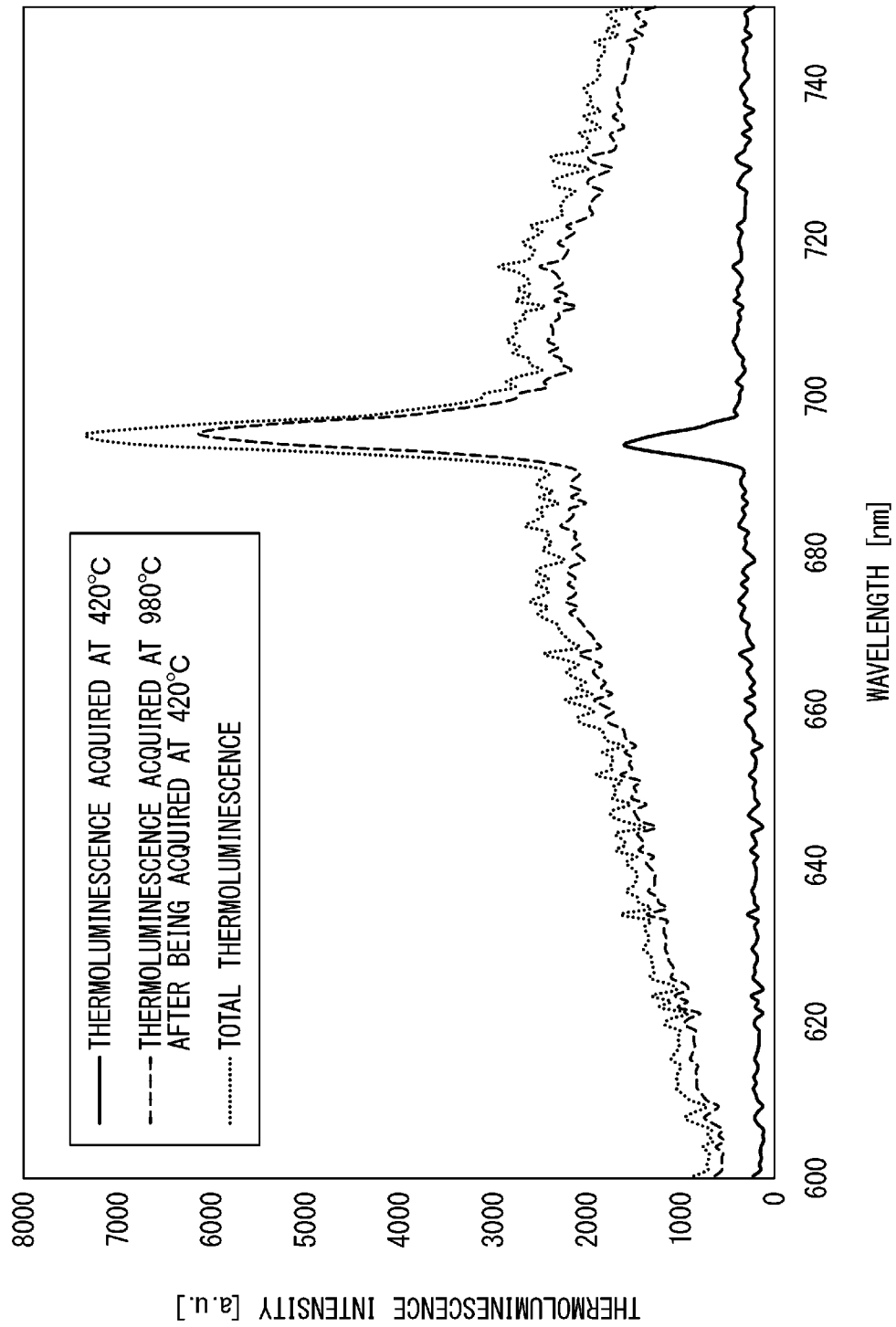
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/043398

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01T 1/115**(2006.01)i

FI: G01T1/115 D

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)

G01T1/115

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KIM, Samgho S. Depth-dependent temperature effects on thermoluminescence in multilayers. Journal of Applied Physics. 07 August 2013, vol. 114, 053519, pp. 1-8 section II-IV, fig. 2-8	1-7, 11-12, 14-17
Y		11-14
A		8-10
Y	JP 50-016955 B2 (MATSUSHITA ELECTRIC IND. CO., LTD.) 17 June 1975 (1975-06-17) column 2, line 26 to column 4, line 21	1-17
Y	JP 53-039178 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND. CO., LTD.) 10 April 1978 (1978-04-10) specification, page 2, lower left column, line 8 to page 3, lower left column, line 10	1-17
Y	BRAUNLICH, P. et al. Laser heating of thermoluminescent dielectric layers. Appl. Phys. Lett. 11 August 1981, vol. 39, no. 9, pp. 769-771 page 770, lines 17-31	13
A		1-12, 14-17



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

28 January 2022

Date of mailing of the international search report

15 February 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/043398**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 3605045 A1 (NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR TOEGEPAST - NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK TNO) 05 February 2020 (2020-02-05)	13
A	paragraph [0030], fig. 1A	1-12, 14-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/043398

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	50-016955	B2	17 June 1975	US	3729630	A	
				column 2, lines 20-42			
				GB	1327863	A	
				DE	2104264	A	
JP	53-039178	A	10 April 1978	US	4204119	A	
				column 2, line 13 to column 3, line 17			
				GB	1587267	A	
				DE	2742556	A1	
EP	3605045	A1	05 February 2020	WO	2020/027657	A1	
				page 12, lines 5-11, fig. 1A			

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01T 1/115(2006.01)i FI: G01T1/115 D														
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）） G01T1/115 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年													
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
X	KIM Sangho S. , Depth-dependent temperature effects on thermoluminescence in multilayers, Journal of Applied Physics, 2013.08.07, Vol. 114, 053519, pp. 1-8 Section II - IV, Figs. 2-8	1-7, 11-12, 14-17												
Y		11-14												
A		8-10												
Y	JP 50-016955 B2（松下電器産業株式会社）17.06.1975（1975 - 06 - 17） 第2欄第26 - 第4欄第21行目	1-17												
Y	JP 53-039178 A（松下電器産業株式会社）10.04.1978（1978 - 04 - 10） 明細書第2頁左欄第8行目 - 第3頁左欄第10行目	1-17												
Y	BRAUNLICH P. et al., Laser heating of thermoluminescent dielectric layers, Appl. Phys. Lett., 1981.08.11, Vol. 39, No. 9, pp. 769-771 page 770, ll. 17-31	13												
A		1-12, 14-17												
☒ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 28.01.2022		国際調査報告の発送日 15.02.2022												
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 中尾 太郎 2G 1765 電話番号 03-3581-1101 内線 3226												

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	EP 3605045 A1 (Nederlandse Organisatie voor toegepast- natuurwetenschappelijk onderzoek TNO) 05.02.2020 (2020 - 02 - 05)	13
A	[0030], Fig. 1A	1-12, 14-17

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/043398

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	50-016955	B2	17.06.1975	US	3729630	A	
				col. 2 ll. 20 - 42			
				GB	1327863	A	
				DE	2104264	A	
JP	53-039178	A	10.04.1978	US	4204119	A	
				col. 2 line 13 - col. 3			
				line 17			
				GB	1587267	A	
				DE	2742556	A1	
EP	3605045	A1	05.02.2020	WO	2020/027657	A1	
				page 12, ll. 5-11, Fig.			
				1A			