

(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
2011 年 8 月 25 日(25.08.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/102320 A1

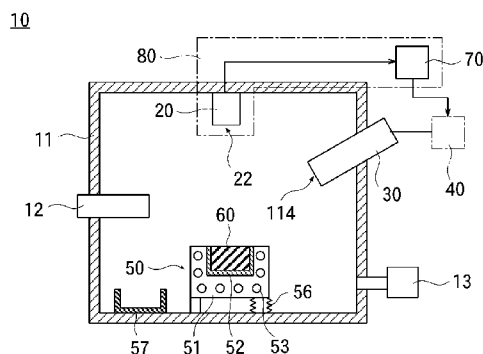
- (51) 国際特許分類:
G21K 5/00 (2006.01) G21K 3/00 (2006.01)
B01J 19/08 (2006.01) G21K 5/04 (2006.01)
C23C 14/30 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/053047
- (22) 国際出願日: 2011 年 2 月 14 日(14.02.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-032472 2010 年 2 月 17 日(17.02.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社アルバック (ULVAC, INC.) [JP/JP]; 〒2538543 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2 5 0 0 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐竹 徹 (SATAKE, Tohru) [JP/JP]; 〒2538543 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2 5 0 0 株式会社アルバック内 Kanagawa (JP). 影山 貴志 (KAGEYAMA, Takashi) [JP/JP]; 〒2538543 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2 5 0 0 株式会社アルバック内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 石島 茂男, 外 (ISHIJIMA, Shigeo et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門 1 丁目 2 - 1 8 虎ノ門興業ビル 3 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, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, 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 (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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ELECTRON BEAM IRRADIATION DEVICE AND ELECTRON BEAM IRRADIATION METHOD

(54) 発明の名称: 電子線照射装置及び電子線照射方法

[図1]



(57) Abstract: Disclosed are an electron beam irradiation method and device which monitor the irradiation position of an electron beam, and can stop electron beam output when the electron beam is moved away from an object to be irradiated. If the wavelength of a characteristic X-ray which is emitted from an element, which is the main component of an object to be irradiated (60) by electron beam irradiation, is considered to be a first wavelength, an outer-side member which emits a characteristic X-ray having a second wavelength, different from the first wavelength, is arranged in at least part of a region which is not the surface region of the object to be irradiated (60) among the regions which can be irradiated by the electron beam. Within the irradiation of the electron beam, the strength of a specified wavelength X-ray is detected from among the X-rays emitted from the object to be irradiated (60) and the outer-side member, and if abnormalities are found in the results of the detection, the electron beam is stopped.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/102320 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

電子線の照射位置をモニタし、電子線が照射対象物から外れた場合に電子線出力を停止できる電子線照射装置及び電子線照射方法を提供する。電子線の照射によって照射対象物 60 の主成分である元素から放出される特性 X 線の波長を第一の波長と呼ぶと、電子線の照射されうる領域のうち照射対象物 60 の表面領域以外の領域の少なくとも一部には、第一の波長と異なる第二の波長の特性 X 線を放出する外側部材が配置されている。電子線の照射中に、照射対象物 60 と外側部材から放出される X 線のうち特定波長の X 線の強度を検出し、検出結果から異常を発見すると、電子線を停止させる。

明 細 書

発明の名称：電子線照射装置及び電子線照射方法

技術分野

[0001] 本発明は、電子線照射装置及び電子線照射方法に関する。

背景技術

[0002] 現在、10kW～300kW程度の比較的エネルギーが大きい電子線を照射して照射対象物を溶解、蒸発、昇華等させることができるハイパワーの電子線応用装置は主に真空蒸着や、真空溶解精製に用いられている。

これらの装置は容積が1m³以上の比較的大きな真空槽と、真空排気系と、電子銃と、溶解する金属を保持するための容器（水冷ハース）とを有している。容器は通常熱伝導の良い銅でできている。真空溶解精製で対象とする金属はチタン等の活性な金属、ステンレス等の真空材料、モリブデン及びタンタル等の高融点金属であり、真空蒸着で対象とする金属はアルミニウム、チタン、銅等である。最近は太陽電池用にシリコンの真空溶解精製も行われている。真空排気された真空槽内で、これらの材料に電子線を照射し、精錬や蒸着を行う。

照射対象物に電子線を照射する過程では、電子線が正常な軌道から逸脱し、照射対象物から逸れて、照射対象物以外の装置構成部材に当たると、その部分が溶解し、破損する虞があった。例えば、容器に電子線が当たると穴が開いて、水漏れを起こし、それまでのプロセスの停止、ハースの破損だけでなく、最悪の場合、水蒸気爆発など大きな災害になる可能性がある。真空槽の槽壁に電子線が当たると一瞬にして穴が開き、大きなリークが生じる。大気が真空中にリークすると、高温状態のフィラメントやカソード等の電子銃部品が損傷を起こす。

[0003] これらの事故を未然に防ぐためには、電子線が照射対象物に照射されていることを常にオンタイムでモニタし、電子線が照射対象物から外れた場合には、すぐに電子線照射を停止し、容器や真空槽などの装置構成部材が溶解、

破損するのを防止する必要がある。

通常考えられるモニタ方法は可視光を利用することになるが、照射電子線が40kW以上のハイパワーになると、電子線が当たる位置の広い範囲で強く発光するため、可視光では照射位置を確認できないという問題があった。

[0004] 現状では電子線の照射位置をオンタイムでモニタする具体的な方法が無いために、以下の二つの間接的な方法が電子線の異常を検知する主な方法となっている。

(1) 制御系の異常（例えば電流異常等）を検知する。

(2) 真空容器内の圧力の異常（圧力の急激な上昇）を検知する。

しかしながら、(1)の制御系の異常を検知する方法では、例えばレンズまたは線偏向コイルの電流がゼロになったと表示されたとしても、制御系の表示部分に問題がある場合には、電子線照射位置は正常であるにもかかわらず電子線出力を停止することになるという問題があった。また、電子銃の筐体内部でのカソードの位置のズレや筐体自身の傾斜による照射位置のずれは制御系を監視していても検知できないという問題があった。

また(2)の圧力異常を検知する方法では、圧力上昇の原因が容器に穴が開いてしまうとか、真空槽に穴が開いてしまう等の溶解破損が既に生じてしまったことによるので、被害の拡大を抑えることはできても、被害を未然に防止することはできないという問題があった。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平11-310871号公報

特許文献2：特開平5-306456号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本発明は上記従来技術の不都合を解決するために創作されたものであり、その目的は、電子線の照射位置をモニタし、電子線が照射対象物から外れた

場合に電子線出力を停止できる電子線照射装置及び電子線照射方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明者らは、電子線が照射された物質はその物質の含有する元素に固有の特性X線を放出することに着目し、X線は可視光と区別して検出でき、X線の波長を分析して元素を同定することにより、その元素を含有する部材の位置を特定し、電子線の照射位置を判定できることを見出した。さらに、特定の材料を選択することにより、特定の波長のX線をその他の波長のX線より大きく減衰させるX線遮断フィルタを作ることが可能であり、この遮断フィルタを分光機能を持たないX線検知器と組み合わせて使用することにより、安価でかつ高速に元素を同定できることを発見し、本発明を完成させた。

[0008] 上記課題を解決するために本発明は、真空槽と、前記真空槽内を真空排気する真空排気装置と、前記真空槽内に電子線を放出可能に構成された電子銃と、を有し、前記真空槽内に配置される照射対象物に前記電子銃から前記電子線を照射して前記照射対象物を加熱するように構成され、前記電子線の照射によって前記照射対象物に90モル%より多く含有される第一の元素から放出される特性X線の波長を第一の波長とすると、前記電子線の照射される領域のうち前記照射対象物の表面領域以外の領域の少なくとも一部には、前記電子線の照射によって前記第一の波長とは異なる第二の波長の特性X線を放出する外側部材が配置された電子線照射装置であって、前記照射対象物と前記外側部材から放出されるX線が入射し、入射したX線のうち特定波長のX線の強度を検出し、検出結果から異常を発見すると、前記電子線を停止させる異常検知装置と、を有する電子線照射装置である。

本発明は電子線照射装置であって、前記外側部材は、前記電子線の照射によって前記第二の波長の特性X線を放出する第二の元素を前記第一の元素よりも多く含有する電子線照射装置である。

本発明は電子線照射装置であって、前記外側部材は、前記真空槽の槽壁と、前記照射対象物を保持する容器のいずれか一方又は両方である電子線照射

装置である。

本発明は電子線照射装置であって、前記異常検知装置は、前記第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、前記第一の波長のX線の強度の減衰率の方が大きい遮断フィルタと、前記遮断フィルタを透過したX線の強度を検出するX線検出装置と、前記X線検出装置が検出したX線の強度が所定のしきい値よりも増大すると、前記電子線を停止させる制御装置と、を有する電子線照射装置である。

本発明は、前記第一の元素がシリコンである電子線照射装置であって、前記遮断フィルタはアルミニウムとマグネシウムのうちいずれか一方の元素又は両方の元素を含有する電子線照射装置である。

本発明は電子線照射装置であって、前記異常検知装置は、前記第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、前記第一の波長のX線の強度の減衰率の方が小さい遮断フィルタと、前記遮断フィルタを透過したX線の強度を検出するX線検出装置と、前記X線検出装置が検出したX線の強度が所定のしきい値よりも減少すると、前記電子線を停止させる制御装置と、を有する電子線照射装置である。

本発明は電子線照射装置であって、前記異常検知装置は、入射したX線のうち特定波長のX線の強度を検出するX線検出装置と、前記X線検出装置が検出した特定波長のX線の強度が、電子線が前記照射対象物に照射されている状態のときの特定波長のX線の強度と異なる場合には、前記電子線を停止させる制御装置と、を有する電子線照射装置である。

本発明は電子線照射装置であって、前記電子線の軌道に磁界を形成する磁界形成手段と、前記電子線の照射位置が前記真空槽内に露出する前記照射対象物の表面領域の内側を移動するように前記磁界形成手段による前記磁界の向きと大きさを制御する磁界制御装置とを有する電子線照射装置である。

本発明は、電子線の照射によって照射対象物に90モル%より多く含有される第一の元素から放出される特性X線の波長を第一の波長とすると、前記電子線の照射されうる領域のうち前記照射対象物の表面領域以外の領域の少

なくとも一部に配置され、前記電子線の照射によって前記第一の波長とは異なる第二の波長の特性X線を放出する外側部材を用いて、真空槽内を真空排気しながら、前記真空槽内に配置された前記照射対象物に電子線を照射して、前記照射対象物を加熱する電子線照射方法であって、前記電子線の照射中には、前記照射対象物と前記外側部材から放出されたX線のうち特定波長のX線の強度を検出し、検出結果から異常を発見すると、前記電子線を停止する電子線照射方法である。

本発明は電子線照射方法であって、前記外側部材は、前記電子線の照射によって前記第二の波長の特性X線を放出する第二の元素を前記第一の元素よりも多く含有する電子線照射方法である。

本発明は電子線照射方法であって、前記外側部材は、前記真空槽の槽壁と、前記照射対象物を保持する容器のいずれか一方又は両方である電子線照射方法である。

本発明は電子線照射方法であって、前記第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、前記第一の波長のX線の強度の減衰率の方が大きい遮断フィルタを用いて、X線の強度のしきい値をあらかじめ定めておき、前記電子線の照射中には、前記照射対象物と前記外側部材から放出され、前記遮断フィルタを透過したX線の強度を検出し、検出したX線の強度が所定のしきい値よりも増大すると、前記電子線を停止する電子線照射方法である。

本発明は、前記第一の元素がシリコンである電子線照射方法であって、前記遮断フィルタはアルミニウムとマグネシウムのうちいずれか一方の元素又は両方の元素を含有する電子線照射方法である。

本発明は電子線照射方法であって、前記第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、前記第一の波長のX線の強度の減衰率の方が小さい遮断フィルタを用いて、X線の強度のしきい値をあらかじめ定めておき、前記電子線の照射中には、前記照射対象物と前記外側部材から放出され、前記遮断フィルタを透過したX線の強度を検出し、検出したX線の強度が所定のしきい値よりも減少すると、前記電子線を停止する電子線照射方法である。

本発明は電子線照射方法であって、前記電子線の照射中には、前記照射対象物と前記外側部材から放出されたX線のうち特定波長のX線の強度を検出し、検出した特定波長のX線の強度が、電子線が前記照射対象物に照射されている状態のときの特定波長のX線の強度と異なる場合には、前記電子線を停止する電子線照射方法である。

本発明は電子線照射方法であって、前記電子線の照射中には、前記電子線の照射位置を前記真空槽内に露出する前記照射対象物の表面領域の内側で移動させながら前記照射対象物を加熱する電子線照射方法である。

[0009] 電子線を照射された物質からのX線の放出現象について説明する。

電子線を物質に照射すると、照射電子線のエネルギーとほぼ同じ範囲の連続したエネルギーを持つ制動X線（白色X線とも呼ばれる）と、物質の含有する元素に特有の特性X線が発生する。

特性X線は白色X線に比べて桁違いに強度が強く、一般にX線の検知にはこれらの特性X線を対象としており、本発明でも特性X線を対象としてX線検知器を選択している。

[0010] 特性X線は主に二種類のエネルギーを持つ。

それぞれエネルギーの低い方からK α 線、K β 線と呼ばれる。また、K α 線、K β 線は原子番号の大きいものほどエネルギーが大きくなる。従って、K α 線、K β 線のエネルギー（又は波長）を知ることにより元の元素を高感度に同定できる。この原理は元素分析装置に利用されている。K α 線、K β 線は元素の原子軌道におけるK殻電子を励起してたたき出したときに生じるX線を示す。

重い元素ではK殻電子を励起するのに必要なエネルギーが大きくなり、照射電子線のエネルギーを超えるとK殻電子をたたき出すことができなくなる。その場合は、K殻の外側の電子軌道であるL殻にある電子を励起して、たたき出すことになり、この場合に生じる特性X線はL α 線、L β 線と呼ばれる。

[0011] X線は材料に吸収されるとき、材料の元素で決まる特定のエネルギーのと

ころで強く吸収される。このエネルギーの位置は吸収端と呼ばれる。ある元素の吸収端のエネルギーは同じ元素から発生する特性X線エネルギーより高く、従ってその元素自身には吸収されにくい。しかし、原子番号が1～2小さい元素には強く吸収される。

発明の効果

[0012] 10kW以上のハイパワーの電子線照射中に、照射対象物以外の場所への電子線照射をオンタイムに検知し、電子線の緊急停止を行うことが可能となる。

これにより、ハイパワーの電子線が照射対象物以外の構成部材に当たるトラブルが生じて、電子線が構成部材を溶解して破壊し、場合によっては人身事故にまで及ぶことを未然に防ぎ、時間やコスト、及び人災等による生産資源の大幅な損失を無くすことができ、極めて安全な運転を行うことが可能となる。

分光機能を持たないX線検知器を用いれば、ハイパワーの電子線を用いる全ての装置に低コストで本発明を付帯させることができる。例えば、高速の連続巻き取り蒸着装置、高融点金属の溶解精製装置、活性金属の溶解精製装置、太陽電池向け高純度シリコン生成用シリコン溶解精製装置等に利用できる。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1]本発明である第一例の電子線照射装置の内部構成図
[図2]第一例の電子線照射装置のX線検出装置の内部構成図
[図3]スリット板の平面図
[図4]電子銃の内部構成図
[図5]本発明である第二例の電子線照射装置の内部構成図
[図6]本発明である第三例の電子線照射装置の内部構成図
[図7]第二例の電子線照射装置のX線検出装置の内部構成図

発明を実施するための形態

[0014] <第一例の電子線照射装置の構造>

本発明である第一例の電子線照射装置の構造を、シリコン（Si）を主成分とする照射対象物を溶解精製する装置を例に説明する。本発明で「主成分」とはその物質に90モル%より多く含有される元素をいう。

図1は第一例の電子線照射装置10の内部構成図を示している。

第一例の電子線照射装置10は、真空槽11と、真空槽11内を真空排気する真空排気装置13と、真空槽11内に電子線を放出可能に構成された電子銃30とを有している。

また真空槽11の材質はステンレス又は鉄であり、鉄の元素をシリコンの元素よりも多く含有している。

真空排気装置13は真空槽11に接続され、真空槽11内を真空排気可能に構成されている。

真空槽11内には照射対象物60を保持する容器50が配置されている。容器50は、外側容器51と、外側容器51の内側に配置された内側容器52とを有している。

[0015] 外側容器51の内部には流路53が設けられ、流路53内には温度管理された液体を流すことができるようになっている。内側容器52は内側に照射対象物60を保持できるように構成されている。

ここでは外側容器51の材質は銅であり、銅の元素をシリコンの元素よりも多く含有している。内側容器52の材質はグラファイトである。

なお、本発明の容器50は上記構成に限定されず、内側容器52を省いて、外側容器52の内側に直接照射対象物60を載置するように構成してもよい。

[0016] 電子銃30は、後述するように円筒形状に形成され、一端に銃口114を有している。電子銃30は銃口114が真空槽11の内側に位置するように真空槽11の側壁に気密に挿設されている。

電子銃30には電子銃電源40が電氣的に接続され、電子銃電源40から電力を供給されると、電子銃30は容器50内の照射対象物60に電子線を照射して加熱できるように構成されている。

電子線の照射によって照射対象物 60 の主成分である第一の元素（ここでは、シリコン）から放出される特性 X 線の波長を第一の波長とすると、電子線の照射されうる領域のうち照射対象物 60 の表面領域以外の領域の少なくとも一部には、電子線の照射によって第一の波長とは異なる第二の波長の特性 X 線を放出する外側部材が配置されている。

本実施例では外側部材は、真空槽 11 の槽壁と、照射対象物を保持する容器 50 のいずれか一方又は両方であり、電子線の照射によって第二の波長の特性 X 線を放出する第二の元素（ここでは、鉄又は銅）を第一の元素よりも多く含有している。

第一例の電子線照射装置 10 は、照射対象物 60 と外側部材から放出される X 線が入射し、入射した X 線のうち特定波長の X 線の強度を検出し、検出結果から異常を発見すると、電子線の照射を停止させる異常検知装置 80 を有している。

本実施例では、異常検知装置 80 は、照射対象物 60 から放出される X 線と外側部材から放出される X 線とが入射する位置に配置され、第二の波長の X 線の強度の減衰率よりも、第一の波長の X 線の強度の減衰率の方が大きい遮断フィルタ 22 と、遮断フィルタ 22 を透過した X 線の強度を検出する X 線検出装置 20 と、X 線検出装置 20 が検出した X 線の強度が所定のしきい値よりも増大すると、前記電子線を停止させる制御装置 70 とを有している。

図 2 は遮断フィルタ 22 と X 線検出装置 20 の内部構成図を示している。

X 線検出装置 20 は一端に開口が設けられた有底筒状のケース 21 を有している。ケース 21 は X 線を遮断する材質で形成されている。

ケース 21 の内側には X 線検知部 24 と検知窓 23 が、ケース 21 の底部から開口に向かってこの順に並んで配置されている。X 線検知部 24 には X 線検出装置電源 25 が電氣的に接続されている。

[0017] 本実施形態での電子線のエネルギーは後述するように数 keV ~ 40 keV 程度であるので、電子線を照射された対象物から放出される X 線のエネル

ギーも同様の範囲となる。X線検知部24はこの範囲のエネルギー（波長）のX線に感度を持つ検知器が使用される。

X線検知部24は上記要件を満たすならば、市販されている検知器の中から特徴を選んで様々なタイプのものを使用することができる。

例えば、ガスの電離を利用するタイプの検知器にはGMカウンタ（ガイガーミュラーカウンタ）や比例計数管が代表的なものとしてある。しかしながら、これらのガス検知器は原理的にサイズが大きくなるので、ガス検知器よりも半導体ダイオード検出器に代表される固体検知器を使用する方が望ましい。

検知器としてX線によって引き起こされる閃光（シンチレーション：scintillation）を利用するシンチレーションカウンタも使用できる。この方式はX線により発生した閃光を光電子増倍管で検出するものである。光を発生させる材料（シンチレータ）としては気体、液体、固体を問わず数多く存在するが、よく使用されるのは微量のヨウ化タリウムを添加したヨウ化ナトリウム（NaI（Tl））結晶である。

[0018] 検知窓23には上述した市販の検知器に付けられている物がそのまま使用できる。一般に、検知窓23には広いエネルギー範囲を持つX線を透過できる材料を選ぶ必要があるが、高いエネルギーのX線ほど透過する力が大きいので、低いエネルギーのX線も透過できる材料を選べばよく、従って、検知窓23の材料には低原子番号の元素でできている材料が一般に選ばれる。たとえば、金属ではBe材が用いられ、非金属ではガラス類やプラスチック材料が用いられる。

遮断フィルタ22は、ここでは照射対象物60の主成分であるシリコンより原子番号が1～2小さい元素であるアルミニウム（Al）とマグネシウム（Mg）のうちいずれか一方の元素又は両方の元素を含有している。従って、遮断フィルタ22はシリコンから放出される特性X線の波長（第一の波長）のX線を他の波長のX線より大きく減衰させるように構成されている。

遮断フィルタ22は、ケース21の開口より大きい平板形状に形成され、

ケース 21 の開口を気密に蓋するように配置されている。

[0019] 遮断フィルタ 22 は真空壁としてケース 21 内部の気密を保つために十分な強度を有し、X線検出装置 20 が真空排気された真空槽 11 内に配置されたとき、ケース 21 内部のX線検知部 24 と検知窓 23 は真空槽 11 内の真空雰囲気から隔離されるように構成されている。

遮断フィルタ 22 上、すなわち遮断フィルタ 22 から見て検知窓 23 とは逆側には円板状のスリット板 26 が遮断フィルタ 22 に平行に配置されている。スリット板 26 の中心には回転軸 27 が垂直に固定され、回転軸 27 にはモーター 28 が取り付けられている。

モーター 28 にはモーター用外部電源 73 が電氣的に接続され、回転制御装置 74 から制御信号を受けると、モーター 28 はスリット板 26 を回転軸 27 の中心軸線の周りに回転させるように構成されている。

[0020] 図 3 はスリット板 26 の平面図を示している。スリット板 26 には帯状のスリット穴 75 が設けられている。

図 1 を参照し、X線検出装置 20 は真空槽 11 内でここでは容器 50 の真上位置に配置され、遮断フィルタ 22 を真下方向に向けられている。

従って照射対象物 60 から放出されたX線と、真空槽 11 の槽壁から放出されたX線と、容器 50 から放出されたX線とが遮断フィルタ 22 に入射する。

ここでは遮断フィルタ 22 は上述のように第一の波長のX線を吸収する元素が含有されており、照射対象物 60 から放出された特性X線は他の波長のX線よりも大きく減衰される。

遮断フィルタ 22 を透過したX線はX線検出装置 20 のX線検知部 24 に入射して強度を検出される。

[0021] 制御装置 70 はX線検出装置 20 に接続されている。制御装置 70 はX線検出装置 20 で検出されたX線の強度をモニタし、ここでは検出されたX線の強度が所定のしきい値よりも増大し、すなわち電子線が照射対象物 60 に照射されている状態のときの強度よりも増大すると、電子銃電源 40 に停止

信号を送信して、電子銃 30 からの電子線の放出を停止させるように構成されている。

[0022] <電子銃の構造>

次に上述の電子銃 30 の構造を説明する。図 4 は電子銃 30 の内部構成図を示している。

電子銃 30 は一端に開口である銃口 114 が設けられた有底筒状の筐体 31 を有している。

筐体 31 の内側には中心軸線上にガン室 110 と接続路 111 と中間室 112 と放出路 113 とが、筐体 31 の底部から銃口 114 に向かってこの順に並んで設けられている。

ガン室 110 と中間室 112 にはそれぞれ電子銃用真空排気部 117a、117b が接続され、電子銃用真空排気部 117a、117b は各室 110、112 内をそれぞれ真空排気可能に構成されている。接続路 111 は内周がガン室 110 や中間室 112 よりも小さく形成され、ガン室 110 内と中間室 112 内を接続するように構成され、従って、ガン室 110 と中間室 112 と接続路 111 とで差動排気構造を成している。接続路 111 の内側には仕切バルブ 39 が配置されている。

中間室 112 内は放出路 113 を介して銃口 114 に接続されている。

以下、筐体 31 の銃口 114 に対して底部側を上流、その逆側を下流と呼ぶ。

[0023] ガン室 110 内には、筐体 31 の中心軸線上にフィラメント 32 とカソード 33 とウェーネルト 34 とアノード 35 とが、筐体 31 の上流から下流に向かってこの順に並んで配置されている。

フィラメント 32 にはフィラメント電源 41 が電氣的に接続されている。フィラメント電源 41 はフィラメント 32 に電流を流してフィラメント 32 を加熱できるように構成されている。

フィラメント 32 とカソード 33 にはカソード加熱電源 42 が電氣的に接続されている。カソード加熱電源 42 はフィラメント 32 に対してカソード

３３の電位が正になるように、フィラメント３２とカソード３３との間に電圧を印加可能に構成されている。

[0024] ウェーネルト３４はカソード３３よりも内周の大きい無底の円筒形状に形成され、自身の中心軸線が筐体３１の中心軸線と一致するように向けられている。ウェーネルト３４はカソード３３に電氣的に接続されている。

アノード３５は無底の円筒形状に形成され、自身の中心軸線が筐体３１の中心軸線と一致するように向けられている。アノード３５は筐体３１に電氣的に接続されている。

[0025] 筐体３１とカソード３３には高電圧電源４３が電氣的に接続されている。高電圧電源４３は筐体３１の電位、すなわちアノード３５の電位に対してカソード３３の電位が負になるように筐体３１とカソード３３との間に電圧を印加可能に構成されている。

アノード３５よりも下流には筐体３１の中心軸線に沿って第一のレンズ３６と第二のレンズ３７と揺動コイル（磁界形成手段）３８がこの順に並んで配置されている。

ここでは第一のレンズ３６は接続路１１１の外側に接続路１１１を囲むように配置され、第二のレンズ３７は放出路１１３の外側に放出路１１３を囲むように配置されている。

第一、第二のレンズ３６、３７にはそれぞれレンズ電源４４が電氣的に接続されている。レンズ電源４４は第一、第二のレンズ３６、３７にそれぞれ電流を流して、それぞれ接続路１１１、放出路１１３内に磁界を形成できるように構成されている。

[0026] 揺動コイル（磁界形成手段）３８は放出路１１３の外側で銃口１１４を囲むように配置されている。揺動コイル３８にはコイル電源４５が電氣的に接続されている。コイル電源４５は揺動コイル３８に電流を流して、銃口１１４の内側（電子線の軌道）に磁界を形成できるように構成されている。

コイル電源４５には磁界制御装置４９が接続されている。磁界制御装置４９はコイル電源４５から揺動コイル３８に供給される電流を変更して、電子

線の軌道に形成する磁界の向きと大きさを制御するように構成されている。

電子銃 30 の電源装置を電子銃電源 40 と呼ぶと、電子銃電源 40 はフィラメント電源 41 とカソード加熱電源 42 と高電圧電源 43 とレンズ電源 44 とコイル電源 45 とで構成されている。

[0027] <電子線照射方法>

次に上述の電子線照射装置 10 を用いた電子線照射方法を説明する。

異常発見の判断に用いる X 線の強度のしきい値を、電子線が照射対象物 60 に照射されている状態のときの強度がしきい値以下になるように、あらかじめ定めておく。

図 1 を参照し、真空排気装置 13 により、真空槽 11 内を真空排気する。以後、真空排気を継続して、真空槽 11 内の真空雰囲気を維持しておく。

X 線検出装置 20 のスリット板 26 を遮断フィルタ 22 上（すなわち遮断フィルタ 22 の露出する表面と対面する位置）で回転させておく。

真空槽 11 の側壁には溶解材料追加装置 12 が気密に挿設されている。溶解材料追加装置 12 は、真空槽 11 内の真空雰囲気を維持したまま、真空槽 11 の外側から内側に照射対象物 60 を搬入し、照射対象物 60 を内側容器 52 の内側に載置可能に構成されている。

溶解材料追加装置 12 を動作させて、真空槽 11 内の真空雰囲気を維持したまま、真空槽 11 内に照射対象物 60 を搬入し、内側容器 52 の内側に照射対象物 60 を載置する。

外側容器 51 の内部に設けられた流路 53 内に温度制御された液体を循環させる。以後、温度制御された液体の循環を継続しておく。

[0028] 図 4 を参照し、真空槽 11 内を真空排気すると、真空槽 11 の側壁に気密に挿設された電子銃 30 の筐体 31 内も真空排気される。

真空槽 11 内の圧力が 10^{-2} Pa 台に入ったら、電子銃用真空排気部 117a、117b により電子銃 30 のガン室 110 と中間室 112 内を真空排気し、仕切バルブ 39 を開く。

中間室 112 を設けて作動排気構造にしているため、以後、真空槽 11 内

の圧力が電子線照射等により上昇し、 $1 \times 10^{-1} \text{ Pa}$ 程度になってもガン室 110内の圧力を $5 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 以下に保つことができる。このことにより、ガン室 110内での異常放電を防ぎ、フィラメント 32 及びカソード 33 の焼損を防ぐことができる。

電子銃 30 の筐体 31、アノード 35、真空槽 11、容器 50 をいずれも電氣的に接地しておく。

[0029] フィラメント 32 の電位に対してカソード 33 の電位が正になるようにフィラメント 32 とカソード 33 の間に電圧を印加しておく。さらに、アノード 35 の接地電位 (0 V) に対してカソード 33 の電位が負 (ここでは -40 kV) になるようにカソード 33 とアノード 35 の間に電圧を印加しておく。また、第一、第二のレンズ 36、37 に電流を流して、接続路 111 と放出路 113 にそれぞれ磁界を形成しておき、揺動コイル 38 に電流を流して銃口 114 に磁界を形成しておく。

中間室 112 内が 10^{-3} Pa 台、ガン室 110 内が 10^{-4} Pa 台に入ったら、フィラメント電源 41 からフィラメント 32 に電流を流し、フィラメント 32 を加熱する。フィラメント 32 が高温になると (ここでは 2800 K)、フィラメント 32 から熱電子が発生する。

熱電子はカソード 33 に向かって加速され、カソード 33 に衝突し、カソード 33 を加熱する。

[0030] 加熱されたカソード 33 から熱電子が発生する。熱電子の発生量はカソード 33 の温度が高いほど多くなる。カソード 33 の温度はカソード加熱電源 42 により制御され、従って、熱電子発生量はカソード加熱電源 42 により制御される。

ウェーネルト 34 はカソード 33 と同電位であり、カソード 33 からの電子の発散を抑え、アノード 35 へ導く役割を果たす。

アノード 35 の円筒形の内側を通過した電子は第一のレンズ 36 の磁界で収束され、仕切バルブ 39 の開口を通り、中間室 112 を通過した後、第二のレンズ 37 の磁界で再度収束される。さらに、電子は揺動コイル 38 の磁

界で軌道補正を加えられ、真空槽 11 内に放出される。

このようにカソード 33 から生成した電子は電子銃 30 の筐体 31 内部で線状に整形されて輸送されるので、通常電子線と呼ばれる。

[0031] 上述のように電子銃 30 の筐体 31、アノード 35、真空槽 11、容器 50 はいずれも電氣的に接地されており、容器 50 を介して照射対象物 60 も電氣的に接地されている。

電子線は最初にカソード 33 の電位（ここでは 40 kV）とアノード 35 の接地電位（0 V）との差（40 kV）で加速され、40 keV のエネルギーを獲得する。その後は接地電位の空間（すなわち電界フリーの空間）を通り、40 keV のエネルギーで接地電位にある照射対象物 60 に照射され、照射対象物 60 は加熱される（図 1 参照）。

[0032] 電子線の照射によって照射対象物 60 の主成分であるシリコンから、1.739 keV（K α 線）又は 1.840 keV（K β 線）のエネルギー（第一の波長）の特性 X 線が放出される。

照射対象物 60 から放出された X 線は遮断フィルタ 22 に入射する。遮断フィルタ 22 には第一の波長の X 線を吸収する元素が含有されているので、入射する X 線は遮断フィルタ 22 で他の波長の X 線より大きく減衰される。

遮断フィルタ 22 を通過した X 線は X 線検出装置 20 に入射し、強度が検出される。制御装置 70 は X 線検出装置 20 で検出される X 線の強度の値をモニタしている。

真空槽 11 内に露出する照射対象物 60 の表面領域（照射面と呼ぶ）に電子線が照射されている間、X 線検出装置 20 で検出される X 線の強度はほぼ一定（ノイズの範囲内）であり、所定のしきい値以下である。

このとき揺動コイル 38 の磁界を制御して、電子線の照射位置が照射対象物 60 の照射面内を移動するように電子線の軌道を揺動させてもよい。照射対象物 60 の照射面が均一に加熱されるので、局所的な加熱によって照射面に凹凸が生じることを防止できる。

[0033] 電子線を照射中に例えば揺動コイル 38 に異常な電流が供給され、電子線

の照射位置が照射対象物 60 の照射面から外れると、電子線は照射面の外側である内側容器 52 と外側容器 51 に順に当たる。

ここでは外側容器 51 の材質は銅 (Cu) であり、銅の元素をシリコンの元素よりも多く含有しているので、電子線を照射された外側容器 51 からは銅の特性 X 線のエネルギー (第二の波長) である 8.040 keV ($K\alpha$ 線) 又は 8.979 keV ($K\beta$ 線) の X 線が第一の波長の X 線よりも大きな強度で放出される。

容器 50 から放出された X 線は遮断フィルタ 22 に入射する。第二の波長の X 線は第一の波長の X 線よりは減衰されずに遮断フィルタ 22 を通過し、X 線検出装置 20 に入射する。

従って、X 線検出装置 20 で検出される X 線の強度は、電子線が照射対象物 60 に照射されている状態のときの強度より増大し、所定のしきい値より増大する。制御装置 70 は電子銃電源 40 に停止信号を送信して、電子銃 30 からの電子線の放出を停止させる。

これによって、外側容器 51 が溶解、破損する前に電子線の放出を停止でき、外側容器 51 に穴が開いて真空中に水漏れが生じることを防止できる。

[0034] 電子線を照射中に例えば揺動コイル 38 に異常な電流が供給され、電子線の照射位置が照射対象物 60 の照射面から上記場合よりも大きく外れると、電子線は照射面の外側である真空槽 11 の槽壁に当たる。

ここでは真空槽 11 の材質はステンレス又は鉄であり、鉄 (Fe) の元素をシリコンの元素よりも多く含有しているので、電子線を照射された真空槽 11 の槽壁からは鉄の特性 X 線のエネルギー (第二の波長) である 6.398 keV ($K\alpha$ 線) 又は 7.110 keV ($K\beta$ 線) の X 線が第一の波長の X 線よりも大きな強度で放出される。

真空槽 11 の槽壁から放出された X 線は遮断フィルタ 22 に入射する。第二の波長の X 線は第一の波長の X 線よりは減衰されずに遮断フィルタ 22 を通過し、X 線検出装置 20 に入射する。

従って、X 線検出装置 20 で検出される X 線の強度は、電子線が照射対象

物 6 0 に照射されている状態のときの強度より増大し、所定のしきい値より増大する。制御装置 7 0 は電子銃電源 4 0 に停止信号を送信して、電子銃 3 0 からの電子線の放出を停止させる。

これによって、真空槽 1 1 の槽壁が溶解、破損する前に電子線の放出を停止でき、真空槽 1 1 の槽壁に穴が開いて真空槽 1 1 内に大気が入り、高温状態のカソード 3 3 やフィラメント 3 2 が損傷するのを防止できる。

[0035] 電子線の照射中に、例えば揺動コイル 3 8 がショートして、照射対象物 6 0 の照射面を局所的に加熱し続けると、照射対象物 6 0 に穴が開いて、電子線は内側容器 5 2 の内側表面に当たる。内側容器 5 2 は薄いため瞬時に穴が開き、電子線は外側容器 5 1 の内側表面に当たる。

外側容器 5 1 の材質は銅であり、銅の元素をシリコンの元素よりも多く含有しているので、電子線を照射された外側容器 5 1 からは銅の特性 X 線のエネルギー（第二の波長）である 8.040 keV ($K\alpha$ 線) 又は 8.979 keV ($K\beta$ 線) の X 線が第一の波長の X 線よりも大きな強度で放出される。

[0036] 外側容器 5 1 から放出された X 線は遮断フィルタ 2 2 に入射する。第二の波長の X 線は第一の波長の X 線よりは減衰されずに遮断フィルタ 2 2 を通過し、X 線検出装置 2 0 に入射する。

従って、X 線検出装置 2 0 で検出される X 線の強度は、電子線が照射対象物 6 0 に照射されている状態のときの強度より増大し、所定のしきい値より増大する。制御装置 7 0 は電子銃電源 4 0 に停止信号を送信して、電子銃 3 0 からの電子線の放出を停止させる。

これによって、外側容器 5 1 を溶解、破損する前に電子線の放出を停止でき、外側容器 5 1 に穴が開いて、溶解した照射対象物 6 0 が外側容器 5 1 の外側に漏れ出すことを防止できる。

つまり、本発明の電子線照射装置 1 0 では、電子線の照射によって照射対象物 6 0 の主成分である第一の元素（シリコン）から放出される特性 X 線の波長を第一の波長とすると、電子線の照射されうる領域のうち照射対象物 6

0の表面領域以外の領域の少なくとも一部には、電子線の照射によって第一の波長とは異なる第二の波長の特性X線を放出する外側部材が配置され、遮断フィルタ22は第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、第一の波長のX線の減衰率の方が大きくされている。

[0037] 本実施形態においては、照射電子線のパワーは電子線の電流で決まる。電流が1 Aの場合は、 $40\text{ kV} \times 1\text{ A} = 40\text{ kW}$ となる。

電子線が照射され、加熱された照射対象物60は、溶解され、照射対象物60に含有されている不純物が蒸発する。

蒸気がX線検出装置20の遮断フィルタ22に付着堆積すると、遮断フィルタ22のX線透過量が減少し、X線検出装置20の検知感度の減少に繋がるのだが、ここでは遮断フィルタ22上（すなわち遮断フィルタ22の露出する表面と対面する位置）でスリット板26を回転させているので、遮断フィルタ22に蒸気が到達することが抑制されている。

スリット板26のスリット穴75の幅を変えることで遮断フィルタ22への蒸気の到達量を調整できる。スリット穴75の幅を狭くして、蒸気の到達量を減少させると、遮断フィルタ22に入射するX線の量も減少することになるが、本実施形態において照射対象物60から放出されるX線の強度はX線検知部24の検知性能に比べて十分に大きく、X線の強度測定上の問題はない。

真空槽11内は真空排気されているため、不純物の蒸気は除去されて、照射対象物60の精製が行われる。

[0038] 容器50には傾斜機構56が接続されている。傾斜機構56は容器50を水平位置から所定角度（ここでは90度）傾けることができるように構成されている。

溶解精製が終了した後、傾斜機構56を動作させて、溶解した照射対象物60は真空槽11内に設置されている鋳型容器57内に空けられる。

次に、傾斜機構56を動作させて容器50を水平位置に戻し、溶解材料追加装置12を動作させて照射対象物60を内側容器52内に載置し、再び電

子銃 30 から電子線を照射対象物 60 に照射し、溶解精製を行う。

このサイクルを繰り返し、鑄型容器 57 が満杯になったら、真空槽 11 を大気に解放し、鑄型容器 57 から精製した照射対象物を取り出したあと、鑄型容器 57 を真空槽 11 内の元の位置に戻し、真空槽 11 内の真空排気を再開し、次の溶解精製サイクルに入る。

[0039] 上記説明では本発明をシリコンの真空溶解精製を例に説明したが、10 kW 以上のハイパワーの電子線を照射対象物 60 に照射して加熱する工程を有するならば本発明はこれに限定されず、チタン等の活性な金属、ステンレス等の真空材料、モリブデン及びタンタル等の高融点金属の溶解精製にも利用できる。また、アルミニウム、チタン、銅等の真空蒸着にも利用できる。

照射対象物 60 の種類によって電子線のパワーを調整する。シリコン、チタン、ステンレス鋼に比べて高融点金属であるタンタルやタングステンを溶解するためには、より大きなパワーを必要とする。

照射対象物 60 がチタン (Ti) の場合は、遮断フィルタ 22 としてスカンジウム (Sc)、カルシウム (Ca)、カリウム (K) のうちいずれか一種類の元素又は二種類以上の元素を含有する材料を用いればよい。カルシウムとカリウムは酸素との反応性が高いのでそれらの化合物を利用してもよい。

[0040] 照射対象物 60 が原子番号の大きい元素の場合、例えばタンタル (Ta) や、タングステン (W) の場合は、 $K\alpha$ 線、 $K\beta$ 線の励起に必要な電子エネルギーが 40 keV を超えるため、本実施形態の電子線のエネルギーでは $K\alpha$ 線、 $K\beta$ 線は発生しないので、このエネルギーで発生する $L\alpha$ 線、 $L\beta$ 線の遮蔽を考える。この場合は遮断フィルタ 22 の材料として、鉄又は銅のうちいずれか一方の元素又は両方の元素を含有する材料を用いることができる。鉄や銅をフィルタにした場合、それらの吸収端は自身の特性 X 線より大きいので、真空槽 11 の槽壁や容器 50 から生じる鉄や銅の特性 X 線は吸収されずに透過させることができる。

[0041] 本発明で使用する遮断フィルタ 22 は、第一、第二の波長の X 線の強度の

いずれか一方を他方より大きく減衰させるハイパスフィルタ又はバンドパスフィルタ機能を有している限りでは、上記のように第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、第一の波長のX線の減衰率の方が大きく形成されている場合に限定されず、第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、第一の波長のX線の減衰率の方が小さく形成されていてもよい。

例えばシリコンの真空溶解精製の場合には、遮断フィルタ22は銅より原子番号が1～2小さい元素と、鉄より原子番号が1～2小さい元素が含有され、第一の波長のX線の強度よりも第二の波長のX線の強度を大きく減衰させるように構成し、制御装置70は、検出されたX線の強度が電子線が照射対象物60に照射されている状態のときの強度よりも減少し、所定のしきい値よりも減少すると、電子銃電源40に停止信号を送信して、電子銃30からの電子線の放出を停止させるように構成する。

なお、ハイパスフィルタは対象とするエネルギー以下のX線をそれ以上のエネルギーを持つX線より大きく減衰させる機能であり、バンドパスフィルタは対象とする範囲外のエネルギーのX線を、範囲内のエネルギーのX線より大きく減衰させる機能である。

第一例の電子線照射装置10では、分光機能を持たないX線検知器20を使うために安価であり、ハイパワーの電子線を用いる全ての装置に低コストで本発明を付帯させることができる。また、分光機能を持ったX線検知器に比べて、特定波長のX線の強度の検出速度が速く、電子線が照射対象物から外れた場合の被害をより小さくできる。

[0042] <第二例の電子線照射装置の構造>

本発明の第二例の電子線照射装置の構造を説明する。

図5は本発明を用いた電子線照射装置の第二例の実施形態を説明するための図であり、第二例の電子線照射装置10'の内部構成図である。第二例の電子線照射装置10'のうち、第一例の電子線照射装置10の構造と同じ部分には同じ符号を付して説明を省略する。

第二例の電子線照射装置10'では、第一例の電子線照射装置10とは異

なり、異常検知装置 80c の遮断フィルタ 22 と X 線検出装置 20 は、真空槽 11 内で容器 50 の横方向（水平方向）に容器 50 からできるだけ離れて配置されている。

一般に蒸気が到達する量は、蒸発源（本発明では照射対象物 60）からの距離の二乗に反比例する。また蒸気の角度分布は蒸発源の真上方向を 0 度とし、そこからの角度を ϕ とすると、 $\cos^n \phi$ に比例する（ n は 4～8 の値を取る）。従って、蒸気が横方向へ放出される量は $\cos^n 90^\circ = 0$ となる。また、壁に到達する蒸気は、壁に付着し、堆積するので、壁で反射することはほとんど無い。従って、第二例の電子線照射装置 10' では X 線検出装置 20 に蒸気はほとんど到達しない。

[0043] 一方、X 線は真空槽 11 の内壁や他の構造部材（すなわち電子銃 30 の筐体 31、溶解材料追加装置 12、容器 50）で反射する割合が大きいので、照射対象物 60 から放出された特性 X 線は X 線検出装置 20 に入射し、強度が検出される。

従って、第二例の電子線照射装置 10' では、X 線検出装置 20 の遮断フィルタ 22 への蒸気の付着堆積が減り、遮断フィルタ 22 の交換頻度を減少できる。さらに、X 線検出装置 20 からスリット板 26、回転軸 27、モーター 28 を除くこともできる。

第二例の電子線照射装置 10' を用いた電子線照射方法は、第一例の電子線照射装置 10 を用いた電子線照射方法と同様であり、説明を省略する。

<第三例の電子線照射装置の構造>

本発明の第三例の電子線照射装置の構造を説明する。

図 6 は第三例の電子線照射装置 110 の内部構成図である。第三例の電子線照射装置 110 のうち、第一例の電子線照射装置 10 の構造と同じ部分には同じ符号を付して説明を省略する。

第三例の電子線照射装置 110 は、第一例の電子線照射装置 10 の異常検知装置 80 とは異なる構成の異常検知装置 180 を有している。すなわち、第三例の電子線照射装置 110 の異常検知装置 180 は、照射対象物 60 か

ら放出されるX線と外側部材から放出されるX線とが入射する位置に配置され、入射したX線のうち特定波長のX線の強度を検出するX線検出装置120と、X線検出装置120が検出した特定波長のX線の強度が、電子線が照射対象物60に照射されているときの特定波長のX線の強度と異なる場合には、電子線を停止させる制御装置170とを有している。

図7はX線検出装置120の内部構成図を示している。第一例の電子線照射装置10のX線検出装置20と構造が同じ部分には同じ符号を付して説明を省略する。

X線検出装置120のケース21の内側にはX線検知部124が配置されている。X線検知部124にはX線検出装置電源25が電氣的に接続されている。

本実施形態での電子線エネルギーは数keV～40keV程度であるので、電子線を照射された対象物から放出されるX線のエネルギーも同様の範囲となる。X線検知部124には、この範囲のエネルギー（波長）のX線に感度を持つ、X線用として市販されている元素分析用の検出器（回折格子を使用したタイプやリチウムドリフト型半導体タイプ）が使用される。

ケース21の開口には検知窓123がケース21の内側を気密に蓋するように配置されている。検知窓123はX線を透過させるために薄く（ $10\mu\text{m}$ ～ $50\mu\text{m}$ ）かつ真空壁としてケース21内部の気密を保つために十分な強度を有するものが用いられ、本実施例では低原子番号のBe金属箔やプラスチックフィルムに金属メッシュが補強剤として組み合わされたものが用いられる。

制御装置170はX線検出装置120に接続され、X線検出装置120で検出された特定波長のX線の強度（特定波長ごとの強度の分布、分光スペクトル）をモニタし、電子線が照射対象物60に照射されている状態のときの特定波長のX線の強度との波長ごとの差分を求め、検出された特定波長のX線の強度が、電子線が照射対象物60に照射されている状態のときの特定波長のX線の強度と異なる場合には、電子銃電源40に停止信号を送信して、

電子銃 30 からの電子線の放出を停止させるように構成されている。

第三例の電子線照射装置 110 を用いた電子線照射方法は、第一例の電子線照射装置 10 を用いた電子線照射方法と比べて、異常検知方法以外は同じであり、異常検知方法以外の説明を省略する。

第三例の電子線照射装置 110 を用いた電子線照射方法の異常検知方法を説明する。

第一例の電子線照射装置 10 を用いた電子線照射方法と同様にして、電子銃 30 から照射対象物 60 に電子線を照射すると、照射対象物 60 の主成分であるシリコンから、第一の波長の特性 X 線が放出され、X 線検出装置 120 に入射する。制御装置 170 は X 線検出装置 120 で検出される特定波長の X 線の強度をモニタしている。

電子線を照射中に例えば揺動コイル 38 に異常な電流が供給され、電子線の照射位置が照射対象物 60 の照射面から外れると、電子線は照射面の外側である容器 50 や真空槽 11 の壁面に当たる。

外側容器 51 の材質は銅 (Cu) であり、銅の元素をシリコンの元素よりも多く含有しているので、電子線を照射された外側容器 51 からは第一の波長とは異なる第二の波長の特性 X 線が放出される。

また真空槽 11 の材質はステンレス又は鉄であり、鉄の元素をシリコンの元素よりも多く含有しているので、電子線を照射された真空槽 11 の槽壁からは第一の波長とは異なる第二の波長の特性 X 線が放出される。

容器 50 や真空槽 11 の槽壁から放出された第二の波長の特性 X 線は X 線検出装置 120 に入射し、X 線検出装置 120 は、電子線が照射対象物 60 に照射されている状態のときの特定波長の X 線の強度とは異なる特定波長の X 線の強度を検出する。制御装置 170 は電子銃電源 40 に停止信号を送信して、電子銃 30 からの電子線の放出を停止させる。

これによって、容器 50 や真空槽 11 の槽壁が溶解、破損する前に電子線の放出を停止できる。

第一例の電子線照射装置 10 では照射対象物 60 の種類に応じて所定の元

素を含有する遮断フィルタ 22 が必要であったが、第三例の電子線照射装置 110 では遮断フィルタ 22 が不要になるという利点がある。

第三例の電子線照射装置 110 の X 線検出装置 120 の配置は上記構成に限定されず、第二例の電子線照射装置 10' と同様に、容器 50 の横方向（水平方向）に容器 50 からできるだけ離れて配置された構成も本発明に含まれる。この場合には、X 線検出装置 120 への蒸気の付着が減り、X 線検出装置 120 の交換頻度を減少できる。

符号の説明

- [0044] 10、10'、110……電子線照射装置
11……真空槽
13……真空排気装置
20、120……X 線検出装置
22……遮断フィルタ
30……電子銃
38……磁界形成手段（揺動コイル）
49……磁界制御装置
52……るつぼ部
60……照射対象物
70、170……制御装置
80、180……異常検知装置

請求の範囲

[請求項1]

真空槽と、

前記真空槽内を真空排気する真空排気装置と、

前記真空槽内に電子線を放出可能に構成された電子銃と、
を有し、

前記真空槽内に配置される照射対象物に前記電子銃から前記電子線を照射して前記照射対象物を加熱するように構成され、

前記電子線の照射によって前記照射対象物に90モル%より多く含有される第一の元素から放出される特性X線の波長を第一の波長とすると、

前記電子線の照射されうる領域のうち前記照射対象物の表面領域以外の領域の少なくとも一部には、前記電子線の照射によって前記第一の波長とは異なる第二の波長の特性X線を放出する外側部材が配置された電子線照射装置であって、

前記照射対象物と前記外側部材から放出されるX線が入射し、入射したX線のうち特定波長のX線の強度を検出し、検出結果から異常を発見すると、前記電子線を停止させる異常検知装置と、

を有する電子線照射装置。

[請求項2]

前記外側部材は、前記電子線の照射によって前記第二の波長の特性X線を放出する第二の元素を前記第一の元素よりも多く含有する請求項1記載の電子線照射装置。

[請求項3]

前記外側部材は、前記真空槽の槽壁と、前記照射対象物を保持する容器のいずれか一方又は両方である請求項1又は請求項2のいずれか1項記載の電子線照射装置。

[請求項4]

前記異常検知装置は、

前記第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、前記第一の波長のX線の強度の減衰率の方が大きい遮断フィルタと、

前記遮断フィルタを透過したX線の強度を検出するX線検出装置と

、

前記X線検出装置が検出したX線の強度が所定のしきい値よりも増大すると、前記電子線を停止させる制御装置と、

を有する請求項1記載の電子線照射装置。

[請求項5]

前記第一の元素がシリコンである請求項4記載の電子線照射装置であって、

前記遮断フィルタはアルミニウムとマグネシウムのうちいずれか一方の元素又は両方の元素を含有する電子線照射装置。

[請求項6]

前記異常検知装置は、

前記第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、前記第一の波長のX線の強度の減衰率の方が小さい遮断フィルタと、

前記遮断フィルタを透過したX線の強度を検出するX線検出装置と

、

前記X線検出装置が検出したX線の強度が所定のしきい値よりも減少すると、前記電子線を停止させる制御装置と、

を有する請求項1記載の電子線照射装置。

[請求項7]

前記異常検知装置は、

入射したX線のうち特定波長のX線の強度を検出するX線検出装置と、

前記X線検出装置が検出した特定波長のX線の強度が、電子線が前記照射対象物に照射されている状態のときの特定波長のX線の強度と異なる場合には、前記電子線を停止させる制御装置と、

を有する請求項1記載の電子線照射装置。

[請求項8]

前記電子線の軌道に磁界を形成する磁界形成手段と、

前記電子線の照射位置が前記真空槽内に露出する前記照射対象物の表面領域の内側を移動するように前記磁界形成手段による前記磁界の向きと大きさを制御する磁界制御装置とを有する請求項1記載の電子線照射装置。

- [請求項9] 電子線の照射によって照射対象物に90モル%より多く含有される第一の元素から放出される特性X線の波長を第一の波長とすると、
- 前記電子線の照射されうる領域のうち前記照射対象物の表面領域以外の領域の少なくとも一部に配置され、前記電子線の照射によって前記第一の波長とは異なる第二の波長の特性X線を放出する外側部材を用いて、
- 真空槽内を真空排気しながら、前記真空槽内に配置された前記照射対象物に電子線を照射して、前記照射対象物を加熱する電子線照射方法であって、
- 前記電子線の照射中には、前記照射対象物と前記外側部材から放出されたX線のうち特定波長のX線の強度を検出し、検出結果から異常を発見すると、前記電子線を停止する電子線照射方法。
- [請求項10] 前記外側部材は、前記電子線の照射によって前記第二の波長の特性X線を放出する第二の元素を前記第一の元素よりも多く含有する請求項9記載の電子線照射方法。
- [請求項11] 前記外側部材は、前記真空槽の槽壁と、前記照射対象物を保持する容器のいずれか一方又は両方である請求項9又は請求項10のいずれか1項記載の電子線照射方法。
- [請求項12] 前記第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、前記第一の波長のX線の強度の減衰率の方が大きい遮断フィルタを用いて、
- X線の強度のしきい値をあらかじめ定めておき、
- 前記電子線の照射中には、前記照射対象物と前記外側部材から放出され、前記遮断フィルタを透過したX線の強度を検出し、検出したX線の強度が所定のしきい値よりも増大すると、前記電子線を停止する請求項9記載の電子線照射方法。
- [請求項13] 前記第一の元素がシリコンである請求項12記載の電子線照射方法であって、
- 前記遮断フィルタはアルミニウムとマグネシウムのうちいずれか一

方の元素又は両方の元素を含有する電子線照射方法。

[請求項14] 前記第二の波長のX線の強度の減衰率よりも、前記第一の波長のX線の強度の減衰率の方が小さい遮断フィルタを用いて、

X線の強度のしきい値をあらかじめ定めておき、

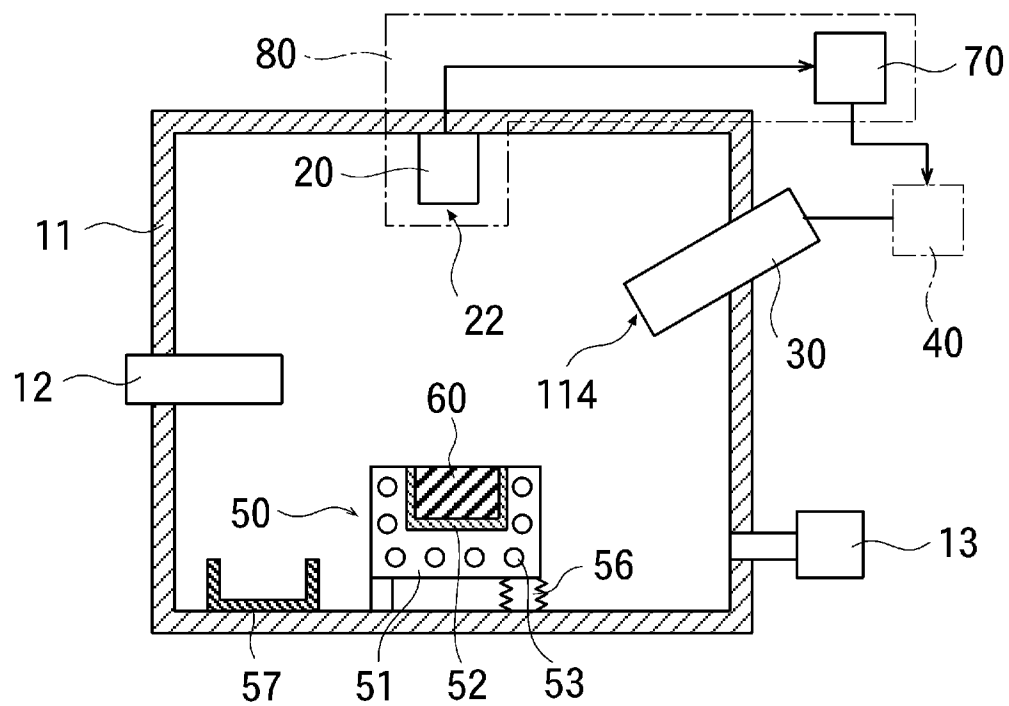
前記電子線の照射中には、前記照射対象物と前記外側部材から放出され、前記遮断フィルタを透過したX線の強度を検出し、検出したX線の強度が所定のしきい値よりも減少すると、前記電子線を停止する請求項9記載の電子線照射方法。

[請求項15] 前記電子線の照射中には、前記照射対象物と前記外側部材から放出されたX線のうち特定波長のX線の強度を検出し、検出した特定波長のX線の強度が、電子線が前記照射対象物に照射されている状態のときの特定波長のX線の強度と異なる場合には、前記電子線を停止する請求項9記載の電子線照射方法。

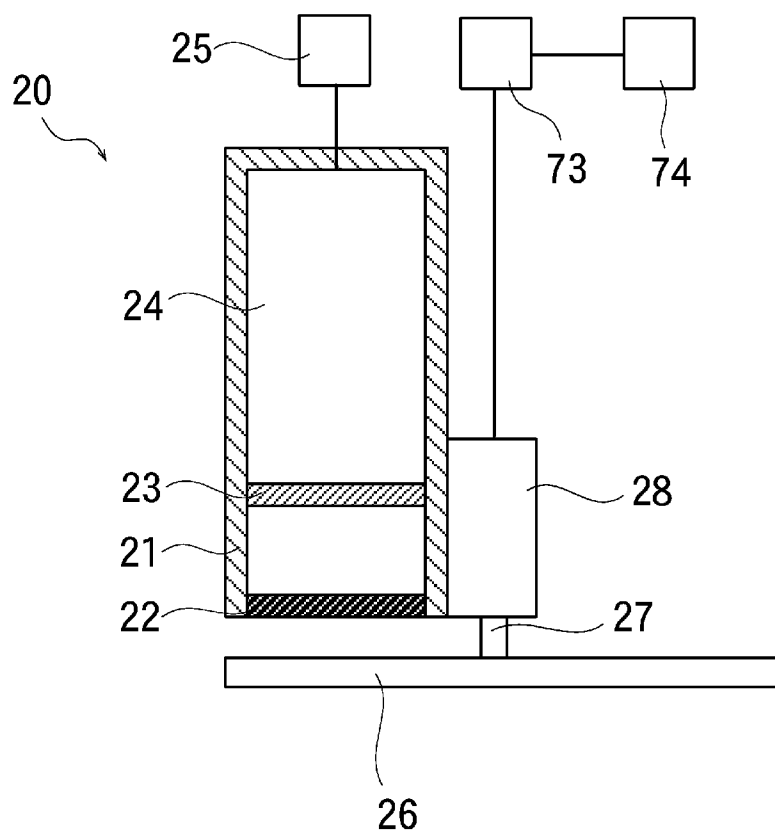
[請求項16] 前記電子線の照射中には、前記電子線の照射位置を前記真空槽内に露出する前記照射対象物の表面領域の内側で移動させながら前記照射対象物を加熱する請求項9記載の電子線照射方法。

[図1]

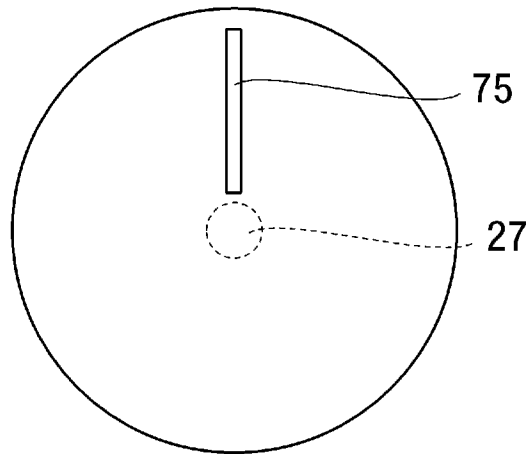
10



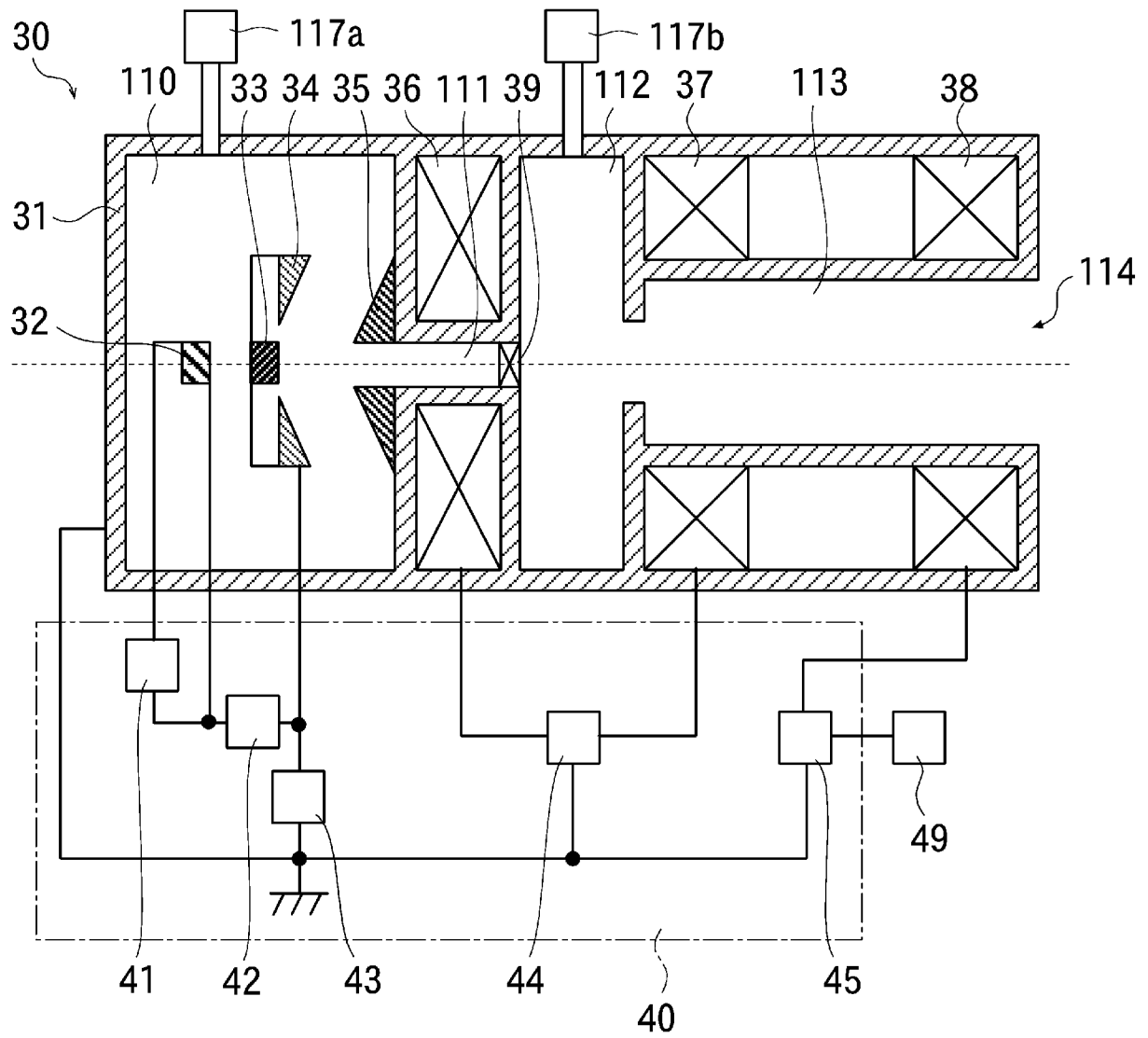
[図2]



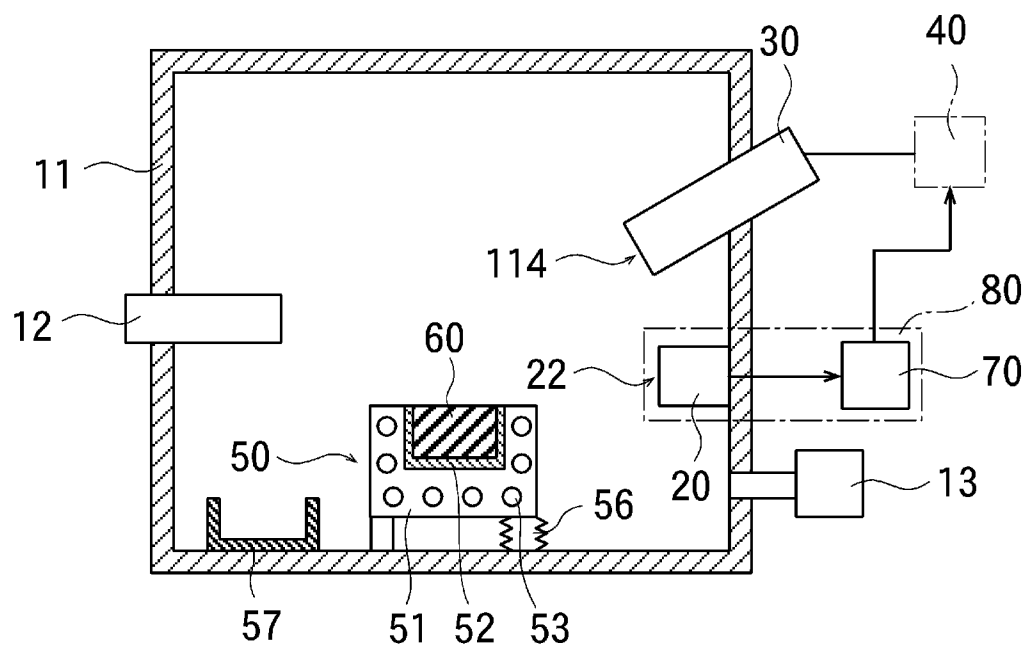
[図3]

26

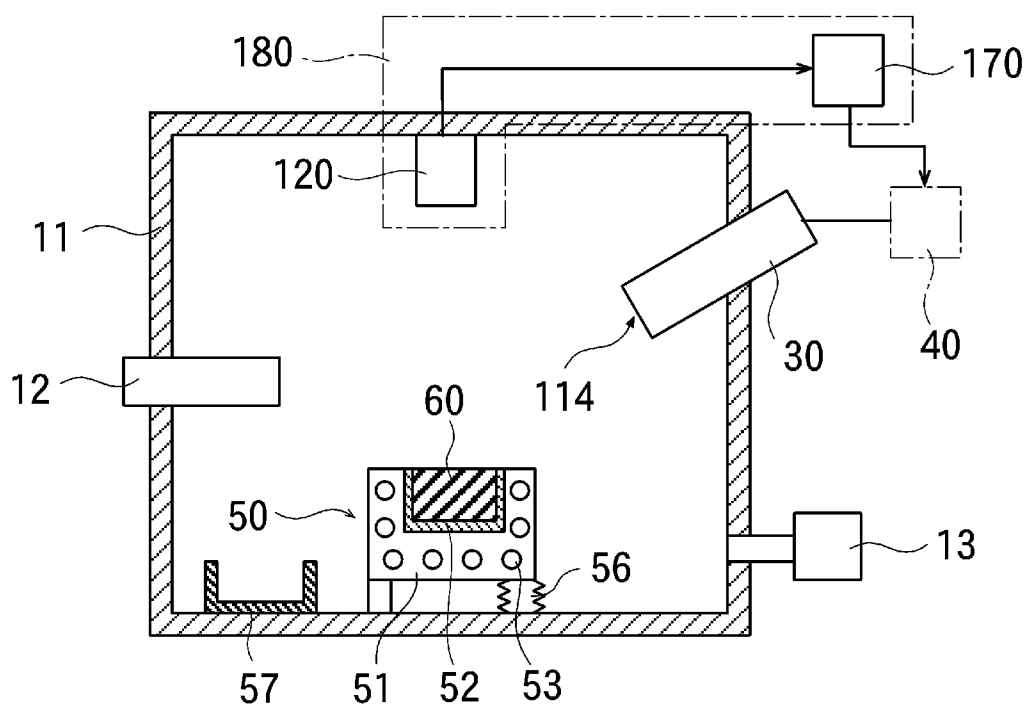
[図4]



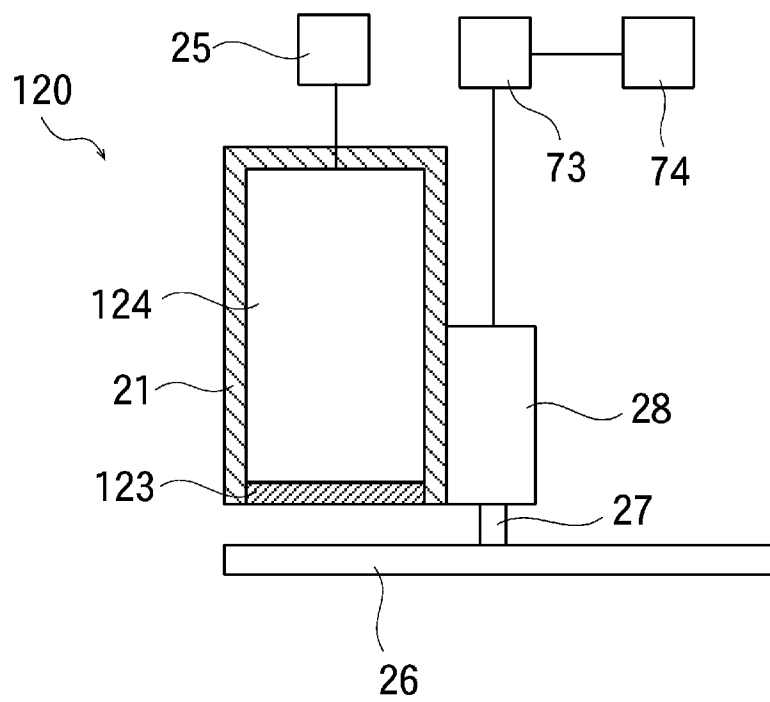
[図5]

10'

[図6]

110

[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/053047

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21K5/00(2006.01)i, B01J19/08(2006.01)i, C23C14/30(2006.01)i, G21K3/00(2006.01)i, G21K5/04(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)

G21K5/00, B01J19/08, C23C14/30, G21K3/00, G21K5/04

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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	JP 6-81135 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.),	1-3, 7, 9-11, 15
Y	22 March 1994 (22.03.1994), entire text; all drawings (Family: none)	4-6, 8, 12-14, 16
Y	JP 6-97050 A (Canon Inc.), 08 April 1994 (08.04.1994), entire text; all drawings & US 5606586 A & EP 588579 A1 & DE 69322345 C & DE 69322345 D	4-6, 12-14
Y	JP 2006-277956 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 12 October 2006 (12.10.2006), paragraphs [0001] to [0006] (Family: none)	5, 13

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

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

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30 March, 2011 (30.03.11)

Date of mailing of the international search report
12 April, 2011 (12.04.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/053047

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-259474 A (Futaba Corp.), 29 September 1998 (29.09.1998), paragraphs [0001], [0002]; fig. 7, 8 (Family: none)	8, 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/053047

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

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

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

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

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

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

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The invention in claim 1 and the inventions in claims 2 - 16 do not comply with the requirement of unity of invention, since the invention in claim 1 is described in the document 1 which is cited in this international search report.

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

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

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

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G21K5/00(2006.01)i, B01J19/08(2006.01)i, C23C14/30(2006.01)i, G21K3/00(2006.01)i,
G21K5/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G21K5/00, B01J19/08, C23C14/30, G21K3/00, G21K5/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

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

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 6-81135 A (石川島播磨重工業株式会社) 1994. 03. 22, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-3, 7, 9-11, 15
Y		4-6, 8, 12-14, 16
Y	JP 6-97050 A (キヤノン株式会社) 1994. 04. 08, 全文、全図 & US 5606586 A & EP 588579 A1 & DE 69322345 C & DE 69322345 D	4-6, 12-14

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

3 0 . 0 3 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 2 . 0 4 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

林 靖

2 I

3 4 8 9

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

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
Y	JP 2006-277956 A (三洋電機株式会社) 2006. 10. 12, 段落【0001】－【0006】 (ファミリーなし)	5, 13
Y	JP 10-259474 A (双葉電子工業株式会社) 1998. 09. 29, 段落【0001】、【0002】、図7、図8 (ファミリーなし)	8, 16

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

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

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

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

請求項1に係る発明は国際調査報告に引用された文献1に記載されているから、請求項1に係る発明と請求項2～16に係る発明は発明の単一性の要件を満たしていない。

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

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

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