

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

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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))

(57) 要約: 配線からの特性X線の放射線検出素子への入射を抑制しながらも、放射線検出器のエネルギー分解能の悪化を防止することができる放射線検出器及び放射線検出装置を提供する。基板と、基板に設けられた放射線検出素子と、放射線検出素子に接続された増幅器の少なくとも一部と、基板に設けられた配線とを備える放射線検出器において、増幅器の少なくとも一部は、基板に設けられており、放射線検出素子と配線との間の距離が、放射線検出素子と増幅器の少なくとも一部との間の距離よりも長い。

明 細 書

発明の名称：放射線検出器及び放射線検出装置

技術分野

[0001] 本発明は、放射線検出器及び放射線検出装置に関する。

背景技術

[0002] X線等の放射線を検出する放射線検出器には、半導体製の放射線検出素子を用いたものがある。放射線検出素子は、基板の表面に設けられている。放射線検出器には、放射線検出素子が出力する信号を増幅するプリアンプ等の増幅器の少なくとも一部が設けられ、放射線検出素子に増幅器が接続されている。放射線検出素子と増幅器とを繋ぐボンディングワイヤの長さを可及的に短くするために、増幅器の少なくとも一部が基板の背面に配置されていることがある。特許文献1には、増幅器が基板の裏面に配置された放射線検出器が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2014-21000号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 基板の裏面に増幅器が配置された放射線検出器では、基板の裏面に配線が設けられている。基板及び配線の材質によっては、基板の裏面に設けられた配線に放射線が入射して発生した特性X線が放射線検出素子へ入射することがある。基板の材質によっては、配線の材料が限られ、特性X線の強度が高い材料で配線が構成される場合がある。このような場合、配線からの特性X線の放射線検出素子への入射は、基板の厚みを大きくすることによって減少させることができる。しかしながら、基板の厚みを大きくした場合、基板の裏面に配置された増幅器の放射線検出素子に接続される部分と放射線検出素子との間の距離が長くなり、増幅器と放射線検出素子とを接続するボンディ

ングワイヤの長さが長くなる。ボンディングワイヤの長さが長い場合、ボンディングワイヤによる寄生容量が増加し、増幅器の入力容量が増加する。入力容量が増加した結果、増幅器でノイズが増加し、放射線検出器のエネルギー分解能が悪化する。

[0005] 本発明は、斯かる事情に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、配線からの特性X線の放射線検出素子への入射を抑制しながらも、放射線検出器のエネルギー分解能の悪化を防止することができる放射線検出器及び放射線検出装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明に係る放射線検出器は、基板と、該基板に設けられた放射線検出素子と、該放射線検出素子に接続された増幅器の少なくとも一部と、前記基板に設けられた配線とを備える放射線検出器において、前記増幅器の少なくとも一部は、前記基板に設けられており、前記放射線検出素子と前記配線との間の距離が、前記放射線検出素子と前記増幅器の少なくとも一部との間の距離よりも長いことを特徴とする。

[0007] 本発明に係る放射線検出器は、前記基板は、前記放射線検出素子が設けられる第1面と、前記第1面の裏側に位置する第2面及び第3面とを有し、前記第1面と前記第2面との間の距離は、前記第1面と前記第3面との間の距離よりも長く、前記増幅器の少なくとも一部は、前記第3面に設けられており、前記配線は、前記第2面上に設けられていることを特徴とする。

[0008] 本発明に係る放射線検出器は、前記基板は、前記第1面と前記第3面との間を貫通する貫通孔を更に有し、前記増幅器は、前記貫通孔を通るワイヤを介して前記放射線検出器に接続されていることを特徴とする。

[0009] 本発明に係る放射線検出器は、放射線が通過する窓を有し、該窓に向けて先細りになったハウジングを更に備え、前記基板は、前記ハウジング内に配置され、前記第1面は、前記窓に対向しており、前記基板は、前記窓に対向した第4面を更に有し、前記第4面は、前記第1面よりも外側に位置しており、前記第4面と前記窓との間の距離は、前記第1面と前記窓との間の距離

よりも長く、前記第4面に、ワイヤが接続されていることを特徴とする。

[0010] 本発明に係る放射線検出器は、ハウジングと、リードピンとを更に備え、前記基板は、側面の一部が窪んだ切り欠き部を有し、前記ハウジング内に配置されており、前記リードピンは、前記切り欠き部に沿った位置に配置され、ワイヤを介して前記基板に接続されていることを特徴とする。

[0011] 本発明に係る放射線検出器は、放射線が通過する窓を有し、該窓に向けて先細りになったハウジングを更に備え、前記基板は、前記ハウジング内に配置され、前記基板の側面に、ワイヤが接続されていることを特徴とする。

[0012] 本発明に係る放射線検出装置は、検出した放射線のエネルギーに応じた信号を出力する本発明に係る放射線検出器と、該放射線検出器が出力した信号に基づいて、前記放射線のスペクトルを生成する信号処理部とを備えることを特徴とする。

[0013] 本発明に係る放射線検出装置は、試料へ放射線を照射する線源と、前記試料から発生した放射線を検出し、検出した放射線のエネルギーに応じた信号を出力する本発明に係る放射線検出器と、該放射線検出器が出力した信号に基づいて、前記放射線のスペクトルを生成する信号処理部と、該信号処理部が生成したスペクトルの分析を行う分析部と、該分析部による分析結果を表示する表示部とを備えることを特徴とする。

[0014] 本発明においては、基板に設けられた放射線検出素子と基板に設けられた配線との間の距離が、放射線検出素子と基板に設けられた増幅器の少なくとも一部との間の距離に比べて、長い。放射線検出素子と配線との間の距離を長くすることによって、配線からの特性X線を、放射線検出素子と配線との間でより効果的に吸収することが可能となり、特性X線が放射線検出素子へ入射することが抑制される。また、放射線検出素子と増幅器の少なくとも一部との間の距離を短くすることができ、放射線検出素子と増幅器との間を接続するボンディングワイヤの長さを短くし、ボンディングワイヤの寄生容量を減少させることができる。この結果、増幅器の入力容量の増加を防止し、放射線検出器のエネルギー分解能の悪化を防止することができる。

[0015] また、本発明においては、基板は、放射線検出素子が設けられる第1面の裏側に、配線が設けられる第2面と、増幅器の少なくとも一部が設けられる第3面とを有している。第1面と第2面との間の距離は、第1面と第3面との間の距離よりも長い。これにより、放射線検出素子と配線との間の距離が、放射線検出素子と増幅器の少なくとも一部との間の距離に比べて長くなる。

[0016] また、本発明においては、基板は、第1面と第3面との間を貫通する貫通孔を有している。貫通孔を通るボンディングワイヤにより、放射線検出素子と増幅器とが接続される。

[0017] また、本発明においては、放射線検出器は、放射線が通過する窓に向けて先細りになったハウジングを備え、基板はハウジング内に配置されている。第1面は窓に対向している。基板は、窓に対向し、第1面よりも外側に位置する第4面を有する。第4面と窓との間の距離は、第1面と窓との間の距離よりも長い。第4面には、ボンディングワイヤが接続されている。基板が第4面を有していない場合に比べて、ボンディングワイヤが通る基板とハウジングとの間の隙間がより大きくなる。このため、基板をより窓に近づけて配置すること、又は基板をより大きくすることが可能となる。

[0018] また、本発明においては、基板は側面の一部が窪んだ切り欠き部を有し、リードピンが切り欠き部に沿って配置されている。リードピンはボンディングワイヤを介して基板に接続されている。ボンディングワイヤが基板の外側へ膨らむ大きさが小さくなる。このため、基板をより窓に近づけて配置すること、又は基板をより大きくすることが可能となる。

[0019] また、本発明においては、基板の側面には、ボンディングワイヤが接続されている。基板の側面にボンディングパッドが接続されていない場合に比べて、ボンディングワイヤが通る基板とハウジングとの間の隙間がより大きくなる。このため、基板をより窓に近づけて配置すること、又は基板をより大きくすることが可能となる。

発明の効果

[0020] 本発明にあっては、放射線検出素子と配線との間の距離が長いことにより、配線からの特性X線の放射線検出素子への入射が抑制される。また、放射線検出素子と増幅器の少なくとも一部との間の距離が短いことにより、放射線検出器のエネルギー分解能の悪化を防止することができる。従って、放射線検出装置は、放射線検出時に配線から発生する特性X線を誤検出することの抑制と、エネルギー分解能の高さとを両立させることが可能となる等、本発明は優れた効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]放射線検出装置の構成を示すブロック図である。

[図2]実施形態1に係る放射線検出器の模式的断面図である。

[図3]実施形態1に係る第1基板の詳細な構造の例を示す模式的断面図である。

[図4]実施形態1に係る第1基板の裏側を示す背面図である。

[図5]容量の計算結果の例を示す特性図である。

[図6]放射線検出素子から増幅器までの距離が0.3mmの場合のボンディングワイヤのモデルの例を示す模式図である。

[図7]放射線検出素子から増幅器までの距離が0.6mmの場合のボンディングワイヤのモデルの例を示す模式図である。

[図8]放射線のスペクトルに含まれるピークの半値幅の計算結果の例を示す図表である。

[図9]実施形態2に係る放射線検出器の模式的断面図である。

[図10]実施形態3に係る放射線検出器の模式的断面図である。

[図11]実施形態3に係る第1基板の平面図である。

[図12]実施形態4に係る放射線検出器の模式的断面図である。

[図13]実施形態5に係る放射線検出器の模式的斜視図である。

[図14]実施形態5に係る放射線検出器の平面図である。

[図15]実施形態6に係る放射線検出素子、コリメータ及び第1基板の模式的断面図である。

[図16]実施形態7に係る第1基板の模式的斜視図である。

[図17]実施形態8に係る第1基板の模式的斜視図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下本発明をその実施の形態を示す図面に基づき具体的に説明する。

<実施形態1>

図1は、放射線検出装置の構成を示すブロック図である。放射線検出装置は、例えば蛍光X線分析装置である。放射線検出装置は、試料6に電子線又はX線等の放射線を照射する線源4と、試料6が載置される試料台5と、放射線検出器1とを備えている。線源4から試料6へ放射線が照射され、試料6では蛍光X線等の放射線が発生し、放射線検出器1は試料6から発生した放射線を検出する。図中には、放射線を矢印で示している。放射線検出器1は、検出した放射線のエネルギーに比例した信号を出力する。放射線検出器1には、出力した信号を処理する信号処理部2が接続されている。信号処理部2は、放射線検出器1が出力した各値の信号をカウントし、放射線のエネルギーとカウント数との関係、即ち放射線のスペクトルを生成する処理を行う。

[0023] 信号処理部2は、分析部32に接続されている。分析部32は、演算を行う演算部及びデータを記憶するメモリを含んで構成されている。信号処理部2、分析部32及び線源4は、制御部31に接続されている。制御部31は、信号処理部2、分析部32及び線源4の動作を制御する。信号処理部2は、生成したスペクトルを示すデータを分析部32へ出力する。分析部32は、信号処理部2からのデータを入力され、入力されたデータが示すスペクトルに基づいて、試料6に含まれる元素の定性分析又は定量分析を行う。分析部32には、液晶ディスプレイ等の表示部33が接続されている。表示部33は、分析部32による分析結果を表示する。また、表示部33は、信号処理部2が生成したスペクトルを表示する。制御部31は、使用者の操作を受け付け、受け付けた操作に応じて放射線検出装置の各部を制御する構成であってもよい。また、制御部31及び分析部32は同一のコンピュータで構成

されていてもよい。また、放射線検出装置は、線源 4、試料台 5、分析部 32、又は表示部 33 を備えていない形態であってもよい。

[0024] 図 2 は、実施形態 1 に係る放射線検出器 1 の模式的断面図である。放射線検出器 1 は、板状のステム底部 135 を備えている。ステム底部 135 の一面側には、キャップ状のカバー 15 が被さっている。カバー 15 は、円筒の一端に切頭錐体が連結した形状になっており、円筒の他端はステム底部 135 に接合している。カバー 15 の先端の切頭部分には、ベリリウム等の放射線を通過させる材料で形成された窓 151 が設けられている。即ち、カバー 15 の一部の形状は、窓 151 に向けて先細りの形状になっている。カバー 15 の内側は、密閉されており、減圧されているか、又は不活性ガスが充填されている。ステム底部 135、カバー 15 及び窓 151 は、放射線検出器 1 のハウジングを構成している。

[0025] カバー 15 の内側には、筒状のコリメータ 131 と、放射線検出素子 11 と、第 1 基板 12 と、遮蔽板 132 と、ペルチェ素子 133 とが配置されている。第 1 基板 12 は、窓 151 に対向する第 1 面 121 を有している。第 1 基板 12 は、放射線の照射による放射線の発生が可及的に少ない材質で形成されていることが望ましい。第 1 基板 12 の材質は、例えばセラミックである。放射線検出素子 11 は、半導体製の素子であり、例えば SDD (Silicon Drift Detector) である。放射線検出素子 11 は、第 1 基板 12 の第 1 面 121 に設けられており、窓 151 に対向する位置に配置されている。コリメータ 131 は、放射線を遮蔽する材料で両端が開口した筒状に形成されており、放射線検出素子 11 と窓 151 との間に配置されている。コリメータ 131 の一端は窓 151 に対向しており、他端は放射線検出素子 11 の表面に対向している。コリメータ 131 は、放射線検出素子 11 の表面に接していてもよく、接着剤により放射線検出素子 11 に接着されていてもよい。コリメータ 131 は、窓 151 を通過した放射線の一部を遮蔽し、放射線検出素子 11 は、コリメータ 131 で遮蔽されなかった放射線を検出する。

[0026] 第 1 基板 12 の第 1 面 121 上には、ボンディングパッド 122 が設けら

れている。ボンディングパッド122は、ボンディングワイヤ161を介して放射線検出素子11に接続されている。第1面121から窓151へ向かう向きを前方として、第1基板12の後方には、遮蔽板132が配置されている。遮蔽板132は、後方からの放射線を遮蔽する。例えば、遮蔽板132は、ペルチェ素子133又は後述する第2基板14から発生する蛍光X線を遮蔽する。このようにして、遮蔽板132は、放射線検出素子11へ後方から放射線が入射することを抑制する。遮蔽板132は、ペルチェ素子133の吸熱部分に熱的接触している。即ち、遮蔽板132は、第1基板12とペルチェ素子133との間に介在している。

[0027] また、放射線検出器1は、ペルチェ素子133の放熱部分に熱的接触したコールドフィンガー134を備えている。コールドフィンガー134は、熱伝導率が高い材料で形成されている。コールドフィンガー134は、ペルチェ素子133の放熱部分に熱的接触した板状部分と、板状部分から突出したボルト状部分とを含んで構成されている。コールドフィンガー134のボルト状部分は、ステム底部135を貫通しており、ステム底部135の外面から突出している。遮蔽板132及びペルチェ素子133、並びにペルチェ素子133及びコールドフィンガー134は、互いに直接接触していてもよく、間に熱伝導材を介在させていてもよい。コールドフィンガー134のボルト状部分は、放射線検出器1外の放熱部に連結される。放熱部は例えば放熱板である。放射線検出素子11は、第1基板12及び遮蔽板132を通してペルチェ素子133によって冷却される。放射線検出素子11の熱は、ペルチェ素子133からコールドフィンガー134へ伝導し、放熱部から放熱される。なお、放射線検出器1は、遮蔽板132を備えていない形態であってもよい。

[0028] また、放射線検出器1は、第2基板14と、複数のリードピン142とを備えている。第2基板14は、環状であり、ペルチェ素子133又はコールドフィンガー134の周囲に配置されている。第2基板14上には、ボンディングパッド141が設けられている。ボンディングパッド141は、ボン

ディングワイヤ 162 を介してボンディングパッド 122 に接続されている。リードピン 142 は、ステム底部 135 を貫通している。リードピン 142 の一端は第 2 基板 14 に連結している。リードピン 142 は図示しない配線又はボンディングワイヤを介してボンディングパッド 141 に接続されている。リードピン 142 を用いて、放射線検出素子 11 に対する電力の供給及び信号の入出力が行われる。なお、放射線検出器 1 は、第 2 基板 14 を備えておらず、ボンディングワイヤ 162 が直接にリードピン 142 に接続された形態であってもよい。ステム底部 135、コールドフィンガー 134 及びリードピン 142 は、ステムを構成する。

[0029] 図 3 は、実施形態 1 に係る第 1 基板 12 の詳細な構造の例を示す模式的断面図である。図 4 は、実施形態 1 に係る第 1 基板 12 の裏側を示す背面図である。第 1 基板 12 は、第 1 面 121 の裏側に、第 2 面 123 及び第 3 面 124 を有している。第 2 面 123 及び第 3 面 124 は、第 1 面 121 に対する裏面である。第 3 面 124 は、第 1 面 121 に対する裏面の一部が第 2 面 123 よりも陥没した位置に形成されている。このため、図 3 に示すように、第 1 基板 12 の形状は、第 1 面 121 からの厚みが部分的に異なった形状になっている。第 1 面 121 と第 2 面 123 との間の距離は、第 1 面 121 と第 3 面 124 との間の距離よりも長い。更に、第 1 基板 12 には、第 1 面 121 と第 3 面 124 との間を貫通する貫通孔 125 が形成されている。第 1 面 121 と第 2 面 123 及び第 3 面 124 とは平行であってもよく、平行でなくてもよい。

[0030] 第 3 面 124 上には、増幅器 171 が設けられている。増幅器 171 は、ボンディングワイヤ 163 を介して放射線検出素子 11 に接続されている。ボンディングワイヤ 163 は、貫通孔 125 を通るように配置されている。第 2 面 123 には、複数の配線 172 が設けられている。第 2 面 123 上には、放射線検出器 1 の動作に必要なコンデンサ等の各種の部品 173 が設けられている。増幅器 171 は、ボンディングワイヤ 164 を介して配線 172 と接続されている。また、放射線検出素子 11 は、図示しないボンディン

グワイヤを介して配線 172 と接続されている。配線 172 は、第 1 基板 12 内に設けられた図示しない導電部を通じてボンディングパッド 122 に接続されるか、又は図示しないボンディングワイヤを介してリードピン 142 に接続されている。

[0031] 増幅器 171 は、例えばプリアンプである。放射線検出素子 11 は、検出した放射線のエネルギーに比例した信号を出力し、出力された信号はボンディングワイヤ 163 を通じて増幅器 171 へ入力される。増幅器 171 は、信号の変換及び増幅を行う。変換・増幅後の信号は、増幅器 171 から出力され、ボンディングワイヤ 164、配線 172 及びリードピン 142 を通じて、放射線検出器 1 外へ出力される。このようにして、放射線検出器 1 は、放射線検出素子 11 が検出した放射線のエネルギーに比例した信号を出力する。

[0032] 第 1 面 121 と第 2 面 123 との間の距離は、第 1 面 121 と第 3 面 124 との間の距離よりも長いので、放射線検出素子 11 と配線 172 との間の距離は、放射線検出素子 11 と増幅器 171 との間の距離よりも長い。例えば、第 1 面 121 と第 2 面 123 との間の距離は、第 1 面 121 と第 3 面 124 との間の距離の 2 倍以上になっている。例えば、第 1 面 121 と第 3 面 124 との間の距離は 0.3 mm であり、第 1 面 121 と第 2 面 123 との間の距離は 0.6 mm である。

[0033] 放射線検出器 1 で放射線を検出する際、放射線が配線 172 に照射されることによって配線 172 から特性 X 線が発生し、この特性 X 線が放射線検出素子 11 へ入射することがある。この場合、配線 172 からの特性 X 線が放射線検出素子 11 で検出され、信号処理部 2 が生成するスペクトルには、配線 172 からの特性 X 線に起因するピークが含まれる。放射線検出器 1 が検出した放射線のスペクトルに含まれるピークの内、配線 172 からの特性 X 線に起因するピークに重なったピークの強度を正確に求めることが困難となり、放射線検出の精度が悪化する。放射線検出素子 11 と配線 172 との間の距離が長いほど、配線 172 からの特性 X 線が放射線検出素子 11 へ入射

することを抑制することができる。本実施形態では、第1面121と第2面123との間の距離は、放射線検出素子11へ入射する配線172からの特性X線の強度が十分小さくなるような十分な長さに定められている。

[0034] 第1面121と第2面123との間の距離は、配線172で発生した特性X線を配線172と放射線検出素子11との間にある第1基板12が十分に吸収することができるだけの距離である。放射線検出素子11へ入射する配線172からの特性X線の強度は、完全にゼロである必要は無く、配線172からの特性X線を検出した結果がスペクトルの分析結果に影響を与えない程度まで小さくなればよい。例えば、スペクトルに含まれる特性X線由来のピークの強度がノイズと同程度になり、特性X線由来のピークを確認することが困難になる程度に、特性X線の強度が小さくなればよい。このように第1面121と第2面123との間の距離を定めておくことにより、配線172で発生した特性X線を分析すべき放射線であるとして放射線検出装置が誤検出することが抑制される。

[0035] 第1面121と第2面123との間の距離は、以下のパラメータを考慮した上で、放射線検出素子11での特性X線の検出結果の影響が十分に小さくなるように、計算することができる。パラメータには、放射線検出素子11を透過する放射線の強度と、第1基板12での放射線の透過率と、配線172での放射線の吸収率と、放射線を吸収した配線172が特性X線を発生させる確率に対応する蛍光収率と、第1基板12での特性X線の透過率と、放射線検出素子11での特性X線の吸収率とが含まれる。また、第1面121と第2面123との間の距離を実験的に決めることもできる。第1面121と第2面123との間の距離が異なる複数の放射線検出器1を用いて放射線検出を行うことにより、特性X線の検出結果がスペクトルの分析結果に影響を与えないような距離が決められる。

[0036] 放射線検出素子11と増幅器171との間を接続するボンディングワイヤ163が長いほど、ボンディングワイヤ163の寄生容量が増加し、増幅器171の入力容量が増加する。入力容量が増加することにより、増幅器17

1 が出力する信号に含まれるノイズが増加する。この結果、放射線検出器 1 が検出した放射線のスペクトルに含まれるピークの半値幅が大きくなり、エネルギーに応じて放射線を特定する際のエネルギー分解能が悪化する。本実施形態では、第 3 面 1 2 4 に増幅器 1 7 1 を設けたことにより、第 2 面 1 2 3 に増幅器 1 7 1 を設ける場合に比べて、放射線検出素子 1 1 と増幅器 1 7 1 のボンディングワイヤ 1 6 3 を介して放射線検出素子 1 1 に接続された部分との間の距離が短くなり、必要なボンディングワイヤ 1 6 3 の長さが短くなる。このため、第 3 面 1 2 4 を設けずに第 2 面 1 2 3 に増幅器 1 7 1 を設ける場合に比べて、ボンディングワイヤ 1 6 3 の寄生容量が減少し、増幅器 1 7 1 の入力容量が減少し、増幅器 1 7 1 が出力する信号に含まれるノイズが減少し、放射線検出器 1 のエネルギー分解能が向上する。

[0037] ボンディングワイヤ 1 6 3 の寄生容量及び放射線検出器 1 のエネルギー分解能について説明する。T. SAKURAI and K. TAMARU, "Simple Formulas for Two- and Three-Dimensional Capacitances", IEEE TRANSACTION ON ELECTRON DEVICES, VOL. ED-30, NO. 2, February 1983によれば、絶縁体の面から離れたボンディングワイヤの単位長さ当たりの容量 C は、以下の (1) 式で近似することができる。

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \{ 1.15 (W/t) + 2.80 (T/t)^{0.222} \} \quad \dots \quad (1)$$

ここで、 ε_r は絶縁体の比誘電率、 ε_0 は真空の誘電率、W はボンディングワイヤの面に平行な幅、T はボンディングワイヤの面に垂直な幅、t は面からボンディングワイヤまでの距離である。(1) 式を用いて、距離 t に応じた単位長さ当たりの容量を計算した。図 5 は、容量の計算結果の例を示す特性図である。横軸は距離 t を mm の単位で示し、縦軸はボンディングワイヤ 1 mm 当たりの容量を示す。図中の実線は、容量の計算結果を近似した近似式を示す。この近似式は、横軸を x、縦軸を y として、 $y = 10.587 x^{-0.268}$ である。

[0038] 図 5 に示した容量の計算結果を基に、ボンディングワイヤ 1 6 3 の容量を

計算した。放射線検出素子 1 1 から増幅器 1 7 1 までの距離が 0.3 mm の場合と、放射線検出素子 1 1 から増幅器 1 7 1 までの距離が 0.6 mm の場合とについて、ボンディングワイヤ 1 6 3 の容量を計算した。図 6 は、放射線検出素子 1 1 から増幅器 1 7 1 までの距離が 0.3 mm の場合のボンディングワイヤ 1 6 3 のモデルの例を示す模式図である。図 7 は、放射線検出素子 1 1 から増幅器 1 7 1 までの距離が 0.6 mm の場合のボンディングワイヤ 1 6 3 のモデルの例を示す模式図である。図 6 及び図 7 での横軸は、放射線検出素子 1 1 とボンディングワイヤ 1 6 3 との接続点からの第 1 面 1 2 1 に平行な方向の距離である。縦軸は、放射線検出素子 1 1 とボンディングワイヤ 1 6 3 との接続点からの第 1 面 1 2 1 に垂直な方向の距離である。図 6 及び図 7 中に示す破線は、第 1 基板 1 2 及び増幅器 1 7 1 の位置を限定する線である。ボンディング時の視野を確保するために、破線で示した線よりも上に第 1 基板 1 2 又は増幅器 1 7 1 が位置していない必要がある。破線で示した線よりも上に第 1 基板 1 2 又は増幅器 1 7 1 が位置した場合は、ボンディングワイヤ 1 6 3 の長さがより長大になる。

[0039] 図 6 及び図 7 に示した形状及び長さのボンディングワイヤ 1 6 3 について、容量を計算した。ボンディングワイヤ 1 6 3 を分割した各部分について容量を計算し、各部分の容量を合算することで、ボンディングワイヤ 1 6 3 全体の容量を計算した。図 6 に示すような、放射線検出素子 1 1 から増幅器 1 7 1 までの距離が 0.3 mm の場合は、容量の計算値は 17.6 fF であった。図 7 に示すような、放射線検出素子 1 1 から増幅器 1 7 1 までの距離が 0.6 mm の場合は、容量の計算値は 21.4 fF であった。放射線検出素子 1 1 から増幅器 1 7 1 までの距離が 0.3 mm の場合は、第 2 面 1 2 3 に増幅器 1 7 1 を設けた場合に対応し、放射線検出素子 1 1 から増幅器 1 7 1 までの距離が 0.6 mm の場合は、第 3 面 1 2 4 を設けずに第 2 面 1 2 3 に増幅器 1 7 1 を設けた場合に対応する。計算結果で明らかなように、本実施形態では、第 3 面 1 2 4 に増幅器 1 7 1 を設けたことにより、第 2 面 1 2 3 に増幅器 1 7 1 を設ける場合に比べて、ボンディングワイヤ 1 6 3 の長さが

短くなり、ボンディングワイヤ 163 の寄生容量が減少する。

[0040] ボンディングワイヤ 163 の容量の計算結果を基に、放射線のスペクトルに含まれるピークの半値幅を計算した。図 8 は、放射線のスペクトルに含まれるピークの半値幅の計算結果の例を示す図表である。ペルチェ素子 133 により冷却した放射線検出素子 11 の温度は -40°C とし、放射線検出素子 11 のリーク電流は 0.01 pA とする。エネルギーが 5.895 keV である Mn (マンガン) の $K\alpha$ のピークと、エネルギーが 188.3 eV である B (ホウ素) の $K\alpha$ のピークとについて、半値幅を計算した。夫々のピークについて、放射線検出素子 11 から増幅器 171 までの距離が 0.3 mm の場合と、放射線検出素子 11 から増幅器 171 までの距離が 0.6 mm の場合とについて、半値幅を計算した。また、ピーキングタイム (Peaking Time) を $0.1\text{ }\mu\text{s}$ 、 $0.3\text{ }\mu\text{s}$ 、 $1\text{ }\mu\text{s}$ 、 $2\text{ }\mu\text{s}$ 及び $8\text{ }\mu\text{s}$ とした場合の夫々について、ピークの半値幅を計算した。ピーキングタイムは、信号処理部 2 での信号処理において、放射線検出器 1 からの信号に対して移動平均を行う際の時定数である。ピーキングタイムが長くなるほど、ノイズが減少し、ピークの半値幅が減少するものの、不感時間が長くなる。

[0041] 図 8 に示したピークの半値幅の計算結果の単位は、 eV である。図 8 に示すように、放射線検出素子 11 から増幅器 171 までの距離が 0.3 mm の場合の半値幅は、放射線検出素子 11 から増幅器 171 までの距離が 0.6 mm の場合の半値幅よりも小さくなっている。例えば、ピーキングタイムが $0.1\text{ }\mu\text{s}$ の条件で、Mn の $K\alpha$ のピークの半値幅は、互いに 1.0 eV の差が生じている。ピークの半値幅が小さいほど、スペクトルに含まれるピークを分離し易くなり、エネルギー分解能が高い。計算結果で明らかなように、本実施形態では、第 3 面 124 に増幅器 171 を設けたことにより、第 2 面 123 に増幅器 171 を設ける場合に比べて、ピークの半値幅が減少し、放射線検出時のエネルギー分解能が高い。

[0042] 以上詳述した如く、本実施形態においては、放射線検出素子 11 が設けられた第 1 面 121 と第 2 面 123 との間の距離は、第 1 面 121 と第 3 面 1

2 4 との間の距離よりも長く、第 3 面 1 2 4 に増幅器 1 7 1 が設けられ、第 2 面 1 2 3 上に配線 1 7 2 が設けられている。放射線検出素子 1 1 と配線 1 7 2 との間の距離を十分に長くすることができ、配線 1 7 2 からの特性 X 線の放射線検出素子 1 1 への入射を抑制することが可能となる。また、第 3 面 1 2 4 に増幅器 1 7 1 を設けることによって、放射線検出素子 1 1 と増幅器 1 7 1 との間の距離が長くなることが防止され、放射線検出素子 1 1 と増幅器 1 7 1 との間を接続するボンディングワイヤ 1 6 3 の長さの長大化が防止される。このため、ボンディングワイヤ 1 6 3 の寄生容量の増加及び増幅器 1 7 1 の入力容量の増加が防止され、放射線検出器 1 のエネルギー分解能の悪化が防止される。従って、本実施形態では、配線 1 7 2 からの特性 X 線の放射線検出素子 1 1 への入射を抑制しながらも、放射線検出器 1 のエネルギー分解能の悪化を防止することができる。この結果、放射線検出装置は、放射線検出の精度の高さと、エネルギー分解能の高さとを両立させることが可能となる。

[0043] なお、本実施形態では、主に、増幅器 1 7 1 の全部が放射線検出器 1 内に設けられている形態を示したが、増幅器 1 7 1 の一部が放射線検出器 1 内に設けられ、増幅器 1 7 1 の他の部分は放射線検出器 1 外に設けられていてもよい。増幅器 1 7 1 の一部は、第 1 基板 1 2 の第 3 面 1 2 4 に設けられ、ボンディングワイヤ 1 6 3 を介して放射線検出素子 1 1 に接続されている。例えば、増幅器 1 7 1 の一部である F E T (Field effect transistor) が、第 3 面 1 2 4 に設けられ、放射線検出素子 1 1 に接続されている。この場合でも、放射線検出素子 1 1 と配線 1 7 2 との間の距離は、放射線検出素子 1 1 と増幅器 1 7 1 のボンディングワイヤ 1 6 3 を介して放射線検出素子 1 1 に接続された部分との間の距離よりも長い。増幅器 1 7 1 の他の部分は、放射線検出器 1 と信号処理部 2 との間に配置されていてもよく、信号処理部 2 と一体に構成されていてもよい。

[0044] <実施形態 2>

図 9 は、実施形態 2 に係る放射線検出器 1 の模式的断面図である。第 1 基

板 1 2 は、窓 1 5 1 に対向した第 4 面 1 2 6 を有している。即ち、第 1 面 1 2 1 及び第 4 面 1 2 6 は向きがほぼ同一である。第 4 面 1 2 6 と窓 1 5 1 との間の距離は、第 1 面 1 2 1 と窓 1 5 1 との間の距離よりも長い。即ち、第 4 面 1 2 6 は、第 1 面 1 2 1 を含む平面よりも後方に位置している。また、第 4 面 1 2 6 は、第 1 面 1 2 1 よりも外側、即ち、第 1 面 1 2 1 の中心を通り第 1 面 1 2 1 に交差する直線から見て第 1 面 1 2 1 の端よりも遠い位置にある。ボンディングパッド 1 2 2 は、第 4 面 1 2 6 上に設けられている。放射線検出素子 1 1 に接続されたボンディングワイヤ 1 6 1 は、ボンディングパッド 1 2 2 に接続されている。ボンディングワイヤ 1 6 2 は、ボンディングパッド 1 2 2 とボンディングパッド 1 4 1 との間に接続されている。放射線検出器 1 のその他の構成は、実施形態 1 と同様である。また、放射線検出装置のその他の構成は、実施形態 1 と同様である。

[0045] 図 9 に示すように、ボンディングパッド 1 2 2 に接続されたボンディングワイヤ 1 6 2 は、第 1 基板 1 2 よりも外側の位置を通る。このように、第 1 基板 1 2 に接続され、第 1 基板 1 2 よりも後方へ伸びるボンディングワイヤは、第 1 基板 1 2 よりも外側の位置を通る。このため、第 1 基板 1 2 とカバー 1 5 との間には、ボンディングワイヤが通る隙間が空いている必要がある。図 2 に示す如き、第 1 基板 1 2 が第 4 面 1 2 6 を有していない場合は、第 1 面 1 2 1 上のボンディングパッド 1 2 2 にボンディングワイヤ 1 6 2 が接続されている。本実施形態では、第 1 面 1 2 1 よりも後方の第 4 面 1 2 6 上のボンディングパッド 1 2 2 にボンディングワイヤ 1 6 2 が接続されていることによって、ボンディングワイヤ 1 6 2 はより後方の位置を通る。カバー 1 5 の形状は先細りであるので、ボンディングワイヤ 1 6 2 の位置がより後方であるほど、第 1 基板 1 2 とカバー 1 5 との間の隙間が大きくなる。このため、図 2 に示す如き第 1 基板 1 2 が第 4 面 1 2 6 を有していない場合に比べて、本実施形態では、第 1 基板 1 2 をより窓 1 5 1 に近づけて配置すること、又は第 1 基板 1 2 をより大きくすることが可能となる。

[0046] 第 1 基板 1 2 をより窓 1 5 1 に近づけて配置した場合は、第 1 面 1 2 1 に

設けられた放射線検出素子 11 がより窓 151 に近づく。即ち、本実施形態では、放射線検出素子 11 をより窓 151 に近づけて配置することが可能となる。放射線検出素子 11 がより試料 6 に近づくことになり、試料 6 で発生した放射線の中で放射線検出素子 11 へ入射する放射線が通る立体角が増大する。また、第 1 基板 12 をより大きくした場合は、第 1 面 121 の面積が広くなり、第 1 面 121 に設けることができる放射線検出素子 11 の大きさが増大する。即ち、本実施形態では、放射線検出素子 11 の大きさを増大させることが可能となる。放射線検出素子 11 の大きさが増大することによって、試料 6 で発生した放射線の中で放射線検出素子 11 へ入射する放射線が通る立体角が増大する。立体角が増大する結果、放射線検出器 1 での放射線の検出感度が向上する。従って、本実施形態では、カバー 15 の形状を変更することなく、放射線検出器 1 での放射線の検出感度を向上させることが可能となる。

[0047] なお、放射線検出器 1 及び放射線検出装置は、第 1 基板 12 が第 3 面 124 を有していない形態であってもよい。第 1 面 121 を第 1 の表面とし、第 4 面 126 を第 2 の表面とした第 1 基板 12 を放射線検出器 1 が備えていれば、増幅器 171 の少なくとも一部及び配線 172 が何れの位置に配置されていたとしても、放射線検出素子 11 をより窓 151 に近づけて配置すること、又は放射線検出素子 11 の大きさを増大させることが可能となる。

[0048] <実施形態 3>

図 10 は、実施形態 3 に係る放射線検出器 1 の模式的断面図である。図 11 は、実施形態 3 に係る第 1 基板 12 の平面図である。図 11 は第 1 基板 12 を前側から見た図であり、複数のリードピン 142 を示している。第 1 基板 12 は、側面 127 の一部が窪んだ切り欠き部 128 を有している。図 11 には、第 1 基板 12 が八個の切り欠き部 128 を有している例を示している。切り欠き部 128 の数はその他の数であってもよい。夫々のリードピン 142 は、切り欠き部 128 に沿った位置に配置されている。リードピン 142 の先端は、第 1 面 121 を含む平面に近い位置にある。配線 172 は、

第1基板12内に設けられた図示しない導電部を通じてボンディングパッド122に接続されている。ボンディングパッド122は、ボンディングワイヤ165を介してリードピン142に接続されている。図10には、放射線検出器1が第2基板14を備えていない例を示している。放射線検出器1は、第2基板14を備えていてもよい。放射線検出器1のその他の構成は、実施形態1と同様である。また、放射線検出装置のその他の構成は、実施形態1と同様である。

[0049] 図2に示す如き、第1基板12が切り欠き部128を有していない場合は、ボンディングパッド122と第2基板14上のボンディングパッド141とを繋ぐボンディングワイヤ162は、第1基板12よりも外側の位置を通る。本実施形態では、切り欠き部128に沿った位置にリードピン142が配置されることによって、リードピン142の先端を第1基板12上のボンディングパッド122に近づけた配置が可能となる。ボンディングパッド122とリードピン142とを繋ぐボンディングワイヤ165は、図2に示す如きボンディングワイヤ162に比べて、短くなり、また、第1基板12よりも外側へ膨らむ大きさが小さくなる。このため、図2に示す如き第1基板12が切り欠き部128を有していない場合に比べて、本実施形態では、第1基板12とカバー15との間の隙間をより狭くすることが可能となる。即ち、第1基板12をより窓151に近づけて配置することにより、放射線検出素子11をより窓151に近づけて配置することが可能となる。又は、第1基板12をより大きくすることにより、放射線検出素子11の大きさを増大させることが可能となる。これにより、試料6で発生した放射線の中で放射線検出素子11へ入射する放射線が通る立体角が増大し、放射線検出器1での放射線の検出感度が向上する。従って、本実施形態でも、カバー15の形状を変更することなく、放射線検出器1での放射線の検出感度を向上させることが可能となる。

[0050] なお、放射線検出器1及び放射線検出装置は、第1基板12が第3面124を有していない形態であってもよい。第1基板12の切り欠き部128に

沿ってリードピン 142 が配置されていれば、増幅器 171 の少なくとも一部及び配線 172 が何れの位置に配置されていたとしても、放射線検出素子 11 をより窓 151 に近づけて配置すること、又は放射線検出素子 11 の大きさを増大させることが可能となる。

[0051] <実施形態 4>

図 12 は、実施形態 4 に係る放射線検出器 1 の模式的断面図である。第 1 基板 12 の側面 127 に、ボンディングパッド 129 が設けられている。ボンディングパッド 129 は、ボンディングワイヤ 166 を介してリードピン 142 に接続されている。図 12 には、放射線検出器 1 が第 2 基板 14 を備えていない例を示している。放射線検出器 1 は、第 2 基板 14 を備えていてもよく、ボンディングパッド 129 は、第 2 基板 14 を経由してリードピン 142 に接続されていてもよい。ボンディングパッド 122 は、第 1 基板 12 内に設けられた図示しない導電部を通じてボンディングパッド 129 に接続されている。なお、第 1 基板 12 はボンディングパッド 122 を備えておらず放射線検出素子 11 は第 1 基板 12 内に設けられた図示しない導電部を通じてボンディングパッド 129 に接続されていてもよい。配線 172 は、第 1 基板 12 内に設けられた図示しない導電部を通じてボンディングパッド 129 に接続されている。放射線検出器 1 のその他の構成は、実施形態 1 と同様である。また、放射線検出装置のその他の構成は、実施形態 1 と同様である。

[0052] 図 2 に示す如き、第 1 基板 12 の側面 127 にボンディングパッド 129 が無い場合は、ボンディングパッド 122 と第 2 基板 14 上のボンディングパッド 141 とを繋ぐボンディングワイヤ 162 は、第 1 基板 12 よりも外側の位置を通る。本実施形態では、第 1 基板 12 の側面 127 に設けられたボンディングパッド 129 にボンディングワイヤ 166 が接続していることによって、ボンディングワイヤ 166 はボンディングワイヤ 162 よりも後方の位置を通る。カバー 15 の形状は先細りであるので、ボンディングワイヤの位置がより後方であるほど、第 1 基板 12 とカバー 15 との間の隙間が

大きくなる。このため、図2に示す如き、第1基板12の側面127にボンディングパッド129が無い場合に比べて、本実施形態では、第1基板12をより窓151に近づけて配置することにより、放射線検出素子11の大きさを増大させることが可能となる。又は、第1基板12をより大きくすることにより、放射線検出素子11の大きさを増大させることが可能となる。これにより、試料6で発生した放射線の中で放射線検出素子11へ入射する放射線が通る立体角が増大し、放射線検出器1での放射線の検出感度が向上する。従って、本実施形態でも、カバー15の形状を変更することなく、放射線検出器1での放射線の検出感度を向上させることが可能となる。

[0053] なお、放射線検出器1及び放射線検出装置は、第1基板12が第3面124を有していない形態であってもよい。第1基板12の側面127にボンディングワイヤ166が接続されていれば、増幅器171の少なくとも一部及び配線172が何れの位置に配置されていたとしても、放射線検出素子11をより窓151に近づけて配置すること、又は放射線検出素子11の大きさを増大させることが可能となる。

[0054] <実施形態5>

図13は、実施形態5に係る放射線検出器1の模式的斜視図である。図14は、実施形態5に係る放射線検出器1の平面図である。図13はカバー15を省略した図を示し、図14はカバー15及びコリメータ131を省略した図を示す。また、図13は放射線検出器1を前側から見た図である。第1基板12の形状は、平面視で多角形状になっている。図13及び図14に示した例では、第1基板12の形状は六角形であり、放射線検出素子11の形状は八角形である。第1基板12の複数の角の少なくとも一部は、平面視で放射線検出素子11の角と重ならない位置に配置されている。第1基板12の角及び角近傍の部分を含んだ複数のコーナー部分が、平面視で放射線検出素子11よりも外側へ突出している。複数のリードピン142は、平面視で放射線検出素子11と重ならない位置に配置されている。なお、放射線検出素子11の形状は平面視で多角形以外の形状であってもよい。

[0055] ボンディングパッド122は、第1基板12のコーナー部分上に設けられている。夫々のリードピン142は、平面視で第1基板12のいずれかの辺に沿った位置に配置されている。配線172は、第1基板12内に設けられた図示しない導電部を通じてボンディングパッド122に接続されている。ボンディングパッド122は、ボンディングワイヤ165を介してリードピン142に接続されている。図13及び図14には、放射線検出器1が第2基板14を備えていない例を示している。放射線検出器1は、第2基板14を備えていてもよい。放射線検出器1のその他の構成は、実施形態1と同様である。また、放射線検出装置のその他の構成は、実施形態1と同様である。

[0056] 本実施形態では、第1基板12のコーナー部分に設けられたボンディングパッド122及びボンディングワイヤ165を通じて、放射線検出素子11とリードピン142との間の接続が行われている。平面視で放射線検出素子11よりも外側へ突出したコーナー部分の面積は、ボンディングパッド122を設けることができる面積があればよい。このような配置によって、平面視でリードピン142を放射線検出素子11に可及的に近づけて配置することが可能となる。このため、本実施形態では、放射線検出素子11とカバー15との間の隙間をより狭くすることが可能となる。即ち、放射線検出素子11をより窓151に近づけて配置することが可能となる。又は、放射線検出素子11の大きさを増大させることが可能となる。これにより、試料6で発生した放射線の中で放射線検出素子11へ入射する放射線が通る立体角が増大し、放射線検出器1での放射線の検出感度が向上する。従って、本実施形態でも、カバー15の形状を変更することなく、放射線検出器1での放射線の検出感度を向上させることが可能となる。

[0057] なお、放射線検出器1及び放射線検出装置は、第1基板12が第3面124を有していない形態であってもよい。第1基板12のコーナー部分に設けられたボンディングパッド122を介して放射線検出素子11とリードピン142との間の接続が行われていれば、増幅器171の少なくとも一部及び

配線 172 が何れの位置に配置されていたとしても、放射線検出素子 11 をより窓 151 に近づけて配置すること、又は放射線検出素子 11 の大きさを増大させることが可能となる。

[0058] <実施形態 6>

図 15 は、実施形態 6 に係る放射線検出素子 11、コリメータ 131 及び第 1 基板 12 の模式的断面図である。図 15 には、図 4 の X V - X V 線で切断した断面を示す。第 1 基板 12 の第 2 面 123 上には、放射線検出器 1 の動作に必要な、増幅器 171 以外の部品 173 が設けられている。部品 173 は、温度測定用の部品、又は E S D (electro-static discharge ; 静電気放電) 対策用の部品である。温度測定用の部品 173 は、例えば、サーミスタ、ダイオード、測温抵抗体又は熱電対である。E S D 対策用の部品 173 は、例えば、セラミックコンデンサ、ダイオード又はバリスタである。

[0059] 部品 173 は、前側から見た平面視で、放射線検出素子 11 の有感部分と重ならない位置に配置されている。放射線検出素子 11 の有感部分は、前方から入射した放射線を検出することができる部分であり、筒状のコリメータ 131 の内面よりも内側に位置する部分である。具体的には、部品 173 は、筒状のコリメータ 131 の内面を仮想的に延長した面よりも外側に配置されている。より好ましくは、部品 173 は、筒状のコリメータ 131 の内面を仮想的に延長した面よりも外側で、筒状のコリメータ 131 の外面を仮想的に延長した面よりも内側に配置されている。更に好ましくは、部品 173 は、コリメータ 131 の外面を仮想的に延長した面に対して内側かつ可及的に近い位置に配置されている。放射線検出器 1 のその他の構成は、実施形態 1 と同様である。また、放射線検出装置のその他の構成は、実施形態 1 と同様である。

[0060] 部品 173 又は部品 173 を第 1 基板 12 に取り付けるためのハンダに放射線が照射された場合、部品 173 又はハンダから蛍光 X 線が発生する。発生した蛍光 X 線が第 1 基板 12 に吸収されずに放射線検出素子 11 で検出された場合は、放射線検出の精度が悪化する。本実施形態では、部品 173 が

放射線検出素子 11 の有感部分と重ならない位置に配置されていることによって、部品 173 若しくはハンダから蛍光 X 線が発生すること又は発生した蛍光 X 線が放射線検出素子 11 で検出されることが抑制される。特に、筒状のコリメータ 131 の内面を仮想的に延長した面よりも外側で、筒状のコリメータ 131 の外面を仮想的に延長した面よりも内側に部品 173 が配置されている場合は、前方から放射線検出器 1 へ入射した放射線は、コリメータ 131 で遮蔽され、部品 173 又はハンダへは照射されない。更に、コリメータ 131 の外面を仮想的に延長した面に対して内側かつ可及的に近い位置に部品 173 が配置されている場合は、放射線検出素子 11 の表面に対して斜めに入射した放射線が部品 173 又はハンダへ照射され難い。このため、部品 173 又はハンダからは蛍光 X 線が発生し難く、発生した蛍光 X 線が検出されることが抑制され、放射線検出の精度の悪化が抑制される。従って、本実施形態では、放射線検出器 1 での放射線の検出感度をより向上させることが可能となる。

[0061] <実施形態 7>

図 16 は、実施形態 7 に係る第 1 基板 12 の模式的斜視図である。図 16 は、第 1 基板 12 を後側から見た図である。本実施形態では、第 1 基板 12 には、貫通孔 125 以外に、ボンディングワイヤ 163 が通っていない貫通孔 174 が形成されている。貫通孔 174 は、第 1 基板 12 の、配線 172 が設けられていない部分に形成されている。貫通孔 174 は、第 1 基板 12 の一箇所だけに形成されていてもよく、第 1 基板 12 の複数箇所に形成されていてもよい。図 16 には、第 1 基板 12 の複数箇所に貫通孔 174 が形成されている例を示す。放射線検出器 1 のその他の構成は、実施形態 1 と同様である。また、放射線検出装置のその他の構成は、実施形態 1 と同様である。

[0062] 第 1 基板 12 に X 線が照射された場合、コンプトン散乱による散乱 X 線が第 1 基板 12 から発生する。発生した散乱 X 線が放射線検出素子 11 で検出された場合は、放射線検出の精度が悪化する。本実施形態では、第 1 基板 1

2が貫通孔174を有していることによって、前方から入射するX線に対する第1基板12の面積、及び第1基板12の体積が減少する。入射するX線に対する第1基板12の面積が減少することにより、X線が第1基板12へ入射する確率が低下し、コンプトン散乱の発生頻度が低下する。また、第1基板12の体積が減少することにより、第1基板12内でコンプトン散乱が発生する頻度が低下する。このため、コンプトン散乱による散乱X線が放射線検出素子11で検出されることが抑制され、放射線検出の精度が悪化することが抑制される。従って、本実施形態では、放射線検出器1での放射線の検出感度をより向上させることが可能となる。

[0063] <実施形態8>

図17は、実施形態8に係る第1基板12の模式的斜視図である。図17は、第1基板12を後側から見た図である。本実施形態では、第1基板12は、配線172が設けられている部分よりも厚みが薄い薄板部175を有する。薄板部175は、第1基板12の、配線172が設けられていない部分に形成されている。薄板部175は、第1基板12の一箇所のみであってもよく、第1基板12の複数箇所にあってもよい。図17には、第1基板12の複数箇所に薄板部175が存在する例を示す。放射線検出器1のその他の構成は、実施形態1と同様である。また、放射線検出装置のその他の構成は、実施形態1と同様である。

[0064] 本実施形態では、第1基板12が薄板部175を有することによって、第1基板12の体積が減少する。第1基板12の体積が減少することにより、第1基板12へX線が入射してコンプトン散乱が発生する頻度が低下する。このため、コンプトン散乱による散乱X線が放射線検出素子11で検出されることが抑制され、放射線検出の精度が悪化することが抑制される。従って、本実施形態では、放射線検出器1での放射線の検出感度をより向上させることが可能となる。

[0065] なお、放射線検出器1及び放射線検出装置は、実施形態7及び8を組み合わせた形態であってもよい。即ち、第1基板12は、ボンディングワイヤ1

63が通っていない貫通孔174及び薄板部175を有していてもよい。この形態においても、放射線検出器1での放射線の検出感度をより向上させることが可能となる。

[0066] 本発明は上述した実施形態の内容に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能である。即ち、請求項に示した範囲で適宜変更した技術的手段を組み合わせて得られる実施形態も本発明の技術的範囲に含まれる。例えば、実施形態1～8を適宜組み合わせた実施形態も本発明の技術的範囲に含まれる。

符号の説明

[0067] 1 放射線検出器
11 放射線検出素子
12 第1基板
121 第1面
122、129 ボンディングパッド
123 第2面
124 第3面
125 貫通孔
126 第4面
127 側面
128 切り欠き部
131 コリメータ
135 ステム底部
15 カバー
151 窓
161、162、163、164、165、166 ボンディングワイヤ
171 増幅器
172 配線
174 貫通孔

1 7 5 薄板部

2 信号処理部

請求の範囲

- [請求項1] 基板と、該基板に設けられた放射線検出素子と、該放射線検出素子に接続された増幅器の少なくとも一部と、前記基板に設けられた配線とを備える放射線検出器において、
- 前記増幅器の少なくとも一部は、前記基板に設けられており、
- 前記放射線検出素子と前記配線との間の距離が、前記放射線検出素子と前記増幅器の少なくとも一部との間の距離よりも長いことを特徴とする放射線検出器。
- [請求項2] 前記基板は、
- 前記放射線検出素子が設けられる第1面と、
- 前記第1面の裏側に位置する第2面及び第3面とを有し、
- 前記第1面と前記第2面との間の距離は、前記第1面と前記第3面との間の距離よりも長く、
- 前記増幅器の少なくとも一部は、前記第3面に設けられており、
- 前記配線は、前記第2面上に設けられていることを特徴とする請求項1に記載の放射線検出器。
- [請求項3] 前記基板は、前記第1面と前記第3面との間を貫通する貫通孔を更に有し、
- 前記増幅器は、前記貫通孔を通るワイヤを介して前記放射線検出器に接続されていることを特徴とする請求項2に記載の放射線検出器。
- [請求項4] 放射線が通過する窓を有し、該窓に向けて先細りになったハウジングを更に備え、
- 前記基板は、前記ハウジング内に配置され、
- 前記第1面は、前記窓に対向しており、
- 前記基板は、前記窓に対向した第4面を更に有し、
- 前記第4面は、前記第1面よりも外側に位置しており、
- 前記第4面と前記窓との間の距離は、前記第1面と前記窓との間の

距離よりも長く、

前記第4面に、ワイヤが接続されていること
を特徴とする請求項2又は3に記載の放射線検出器。

[請求項5]

ハウジングと、

リードピンとを更に備え、

前記基板は、側面の一部が窪んだ切り欠き部を有し、前記ハウジング内に配置されており、

前記リードピンは、前記切り欠き部に沿った位置に配置され、ワイヤを介して前記基板に接続されていること

を特徴とする請求項1乃至3のいずれか一つに記載の放射線検出器

。

[請求項6]

放射線が通過する窓を有し、該窓に向けて先細りになったハウジングを更に備え、

前記基板は、前記ハウジング内に配置され、

前記基板の側面に、ワイヤが接続されていること

を特徴とする請求項1乃至3のいずれか一つに記載の放射線検出器

。

[請求項7]

検出した放射線のエネルギーに応じた信号を出力する請求項1乃至6の何れか一つに記載の放射線検出器と、

該放射線検出器が出力した信号に基づいて、前記放射線のスペクトルを生成する信号処理部と

を備えることを特徴とする放射線検出装置。

[請求項8]

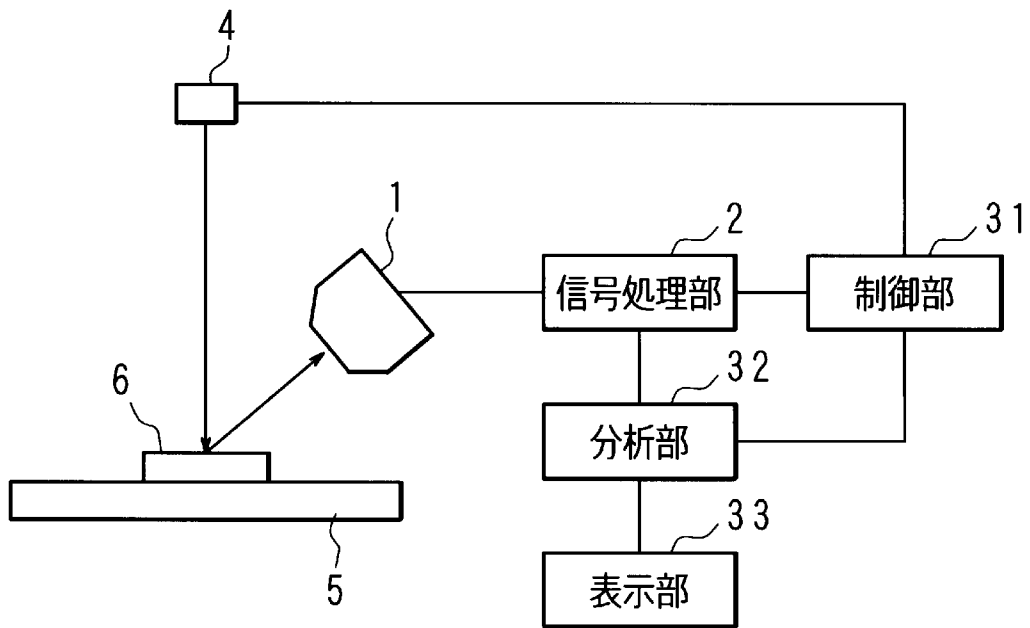
試料へ放射線を照射する線源と、

前記試料から発生した放射線を検出し、検出した放射線のエネルギーに応じた信号を出力する請求項1乃至6の何れか一つに記載の放射線検出器と、

該放射線検出器が出力した信号に基づいて、前記放射線のスペクトルを生成する信号処理部と、

該信号処理部が生成したスペクトルの分析を行う分析部と、
該分析部による分析結果を表示する表示部と
を備えることを特徴とする放射線検出装置。

[図1]



[図2]

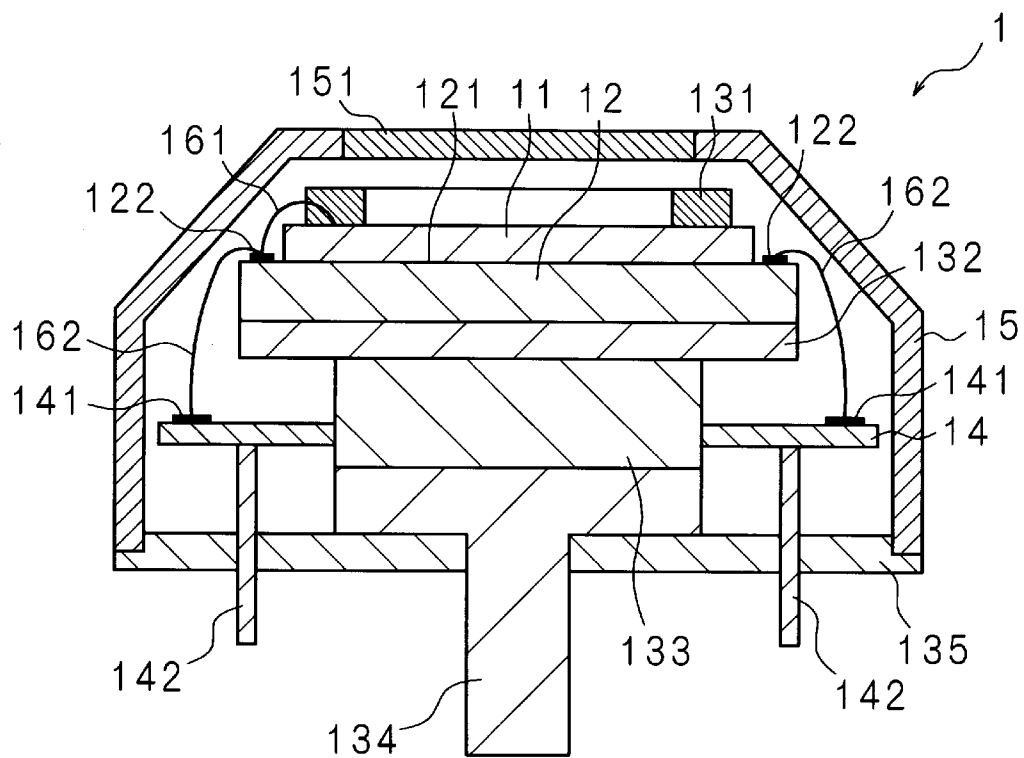
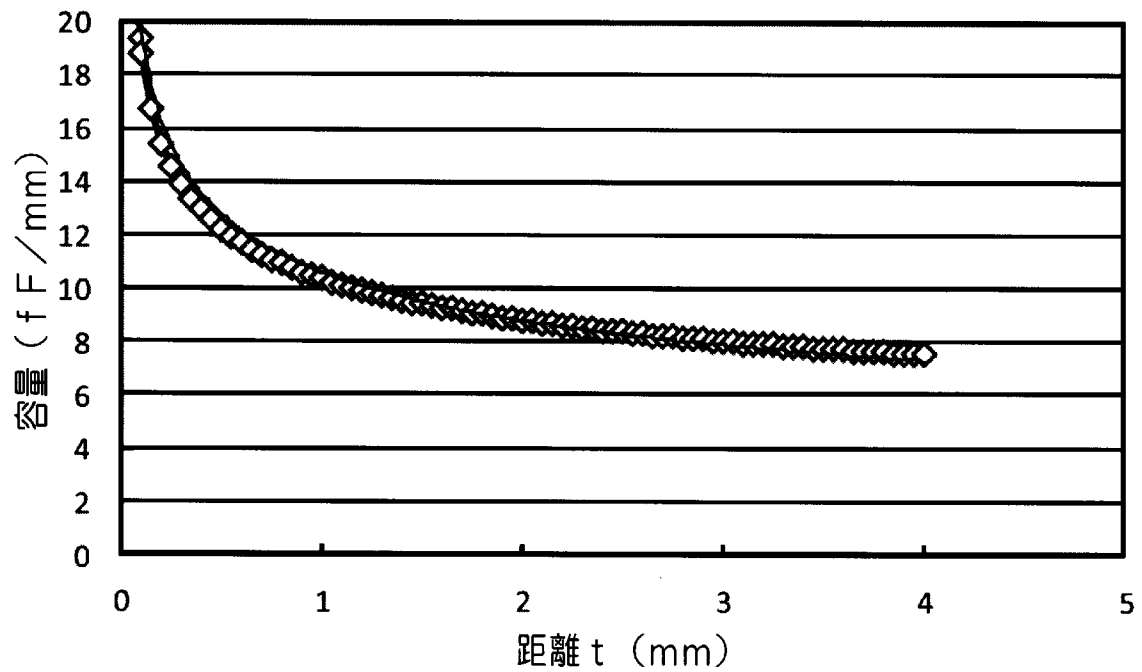
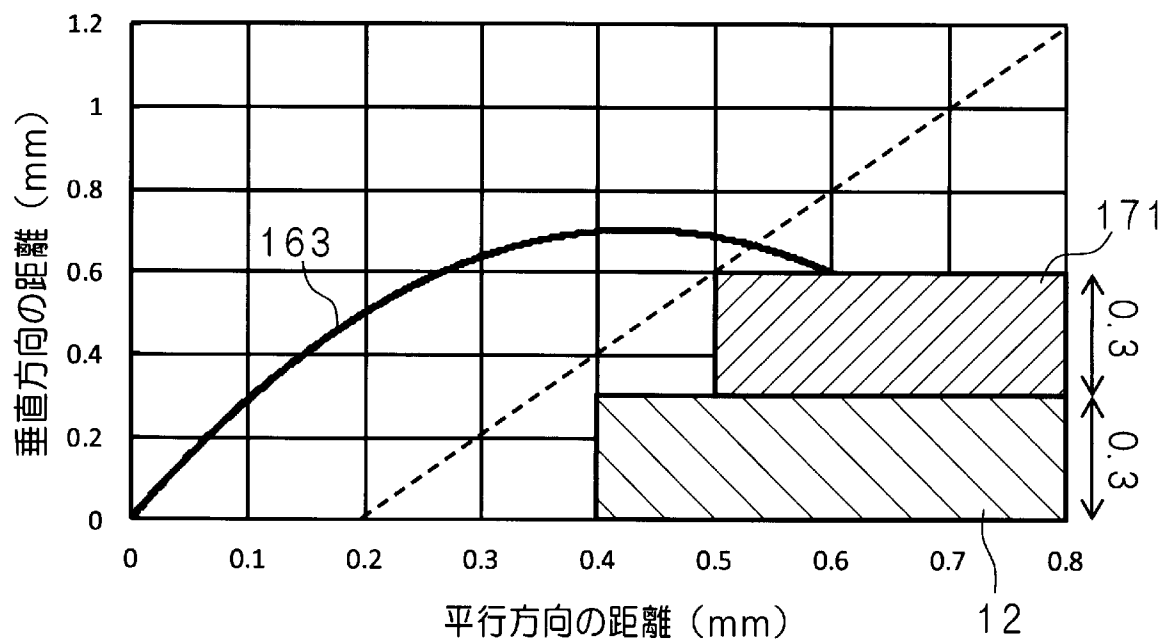


FIG. 1 is a cross-sectional view of a semiconductor device. The device includes a substrate 12. A central region 123 is defined within the substrate. A central block 124 is formed in the central region 123. A layer 125 is formed on the top surface of the central block 124. A central opening 171 is formed in the central block 124. Various conductive layers and structures are labeled 172, including a top layer, side walls, and a bottom layer. A central vertical structure is labeled 173. Section lines XV-XV are indicated at the top and bottom.

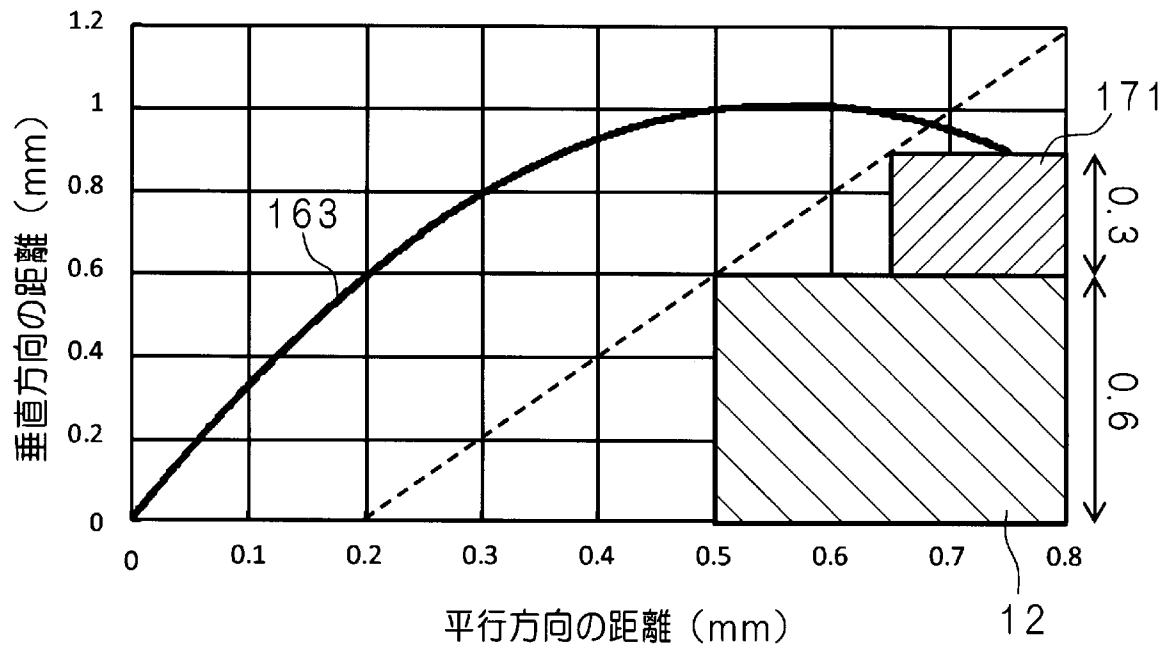
[図5]



[図6]



[図7]

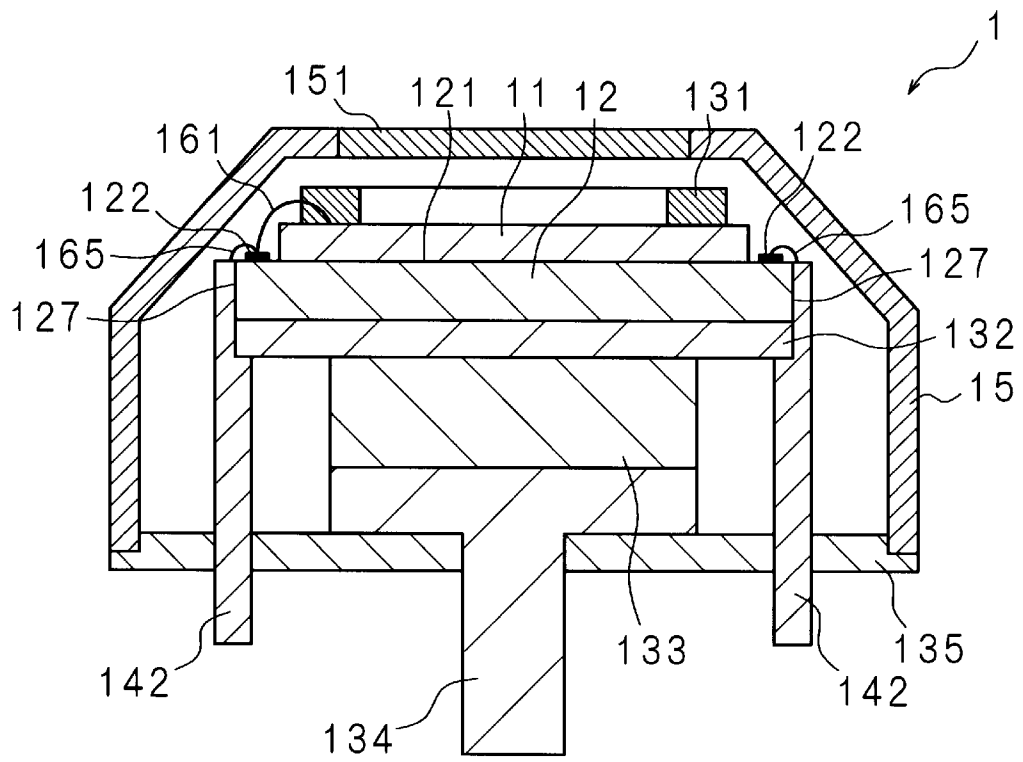


[図8]

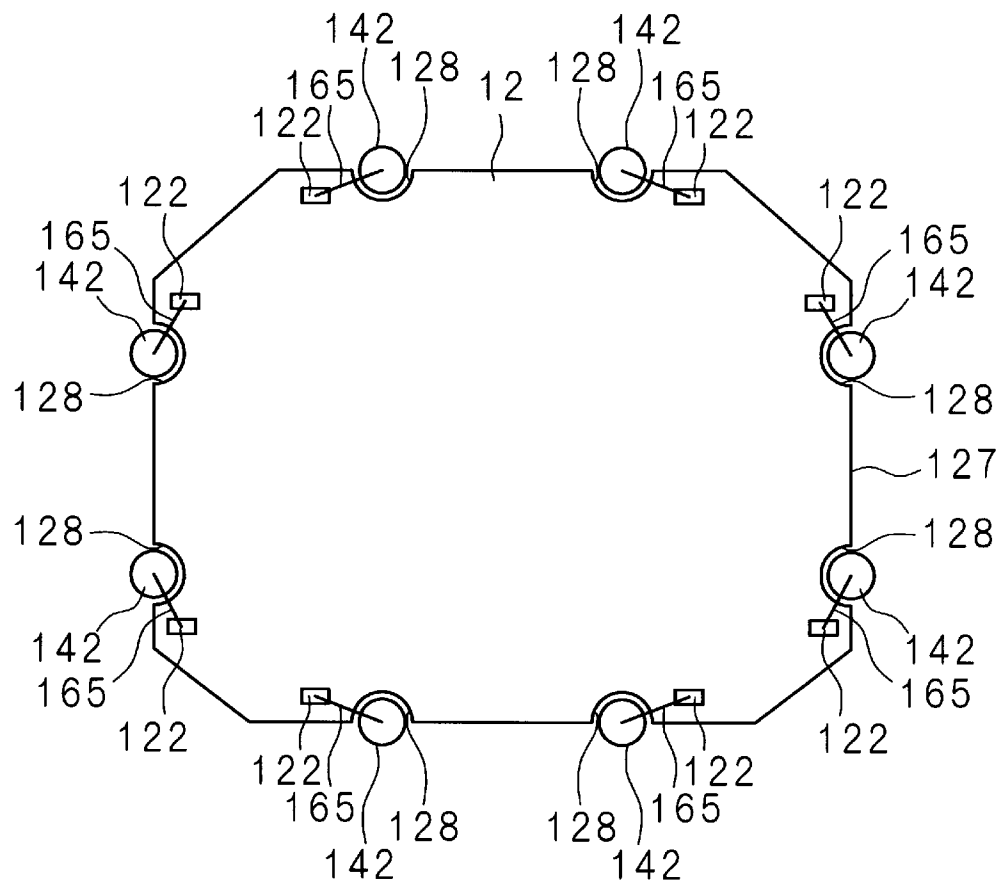
ピーキング タイム	Mn-K α (5.895keV)			B-K α (188.3eV)		
	距離:0.3mm	距離:0.6mm	差	距離:0.3mm	距離:0.6mm	差
0.1 us	146.8	147.8	1.0	88.3	89.9	1.6
0.3us	130.1	130.5	0.4	56.3	57.2	0.9
1us	123.7	123.9	0.2	39.3	39.9	0.6
2us	122.3	122.5	0.2	34.7	35.1	0.4
8us	121.4	121.5	0.1	31.2	31.5	0.3

単位:eV

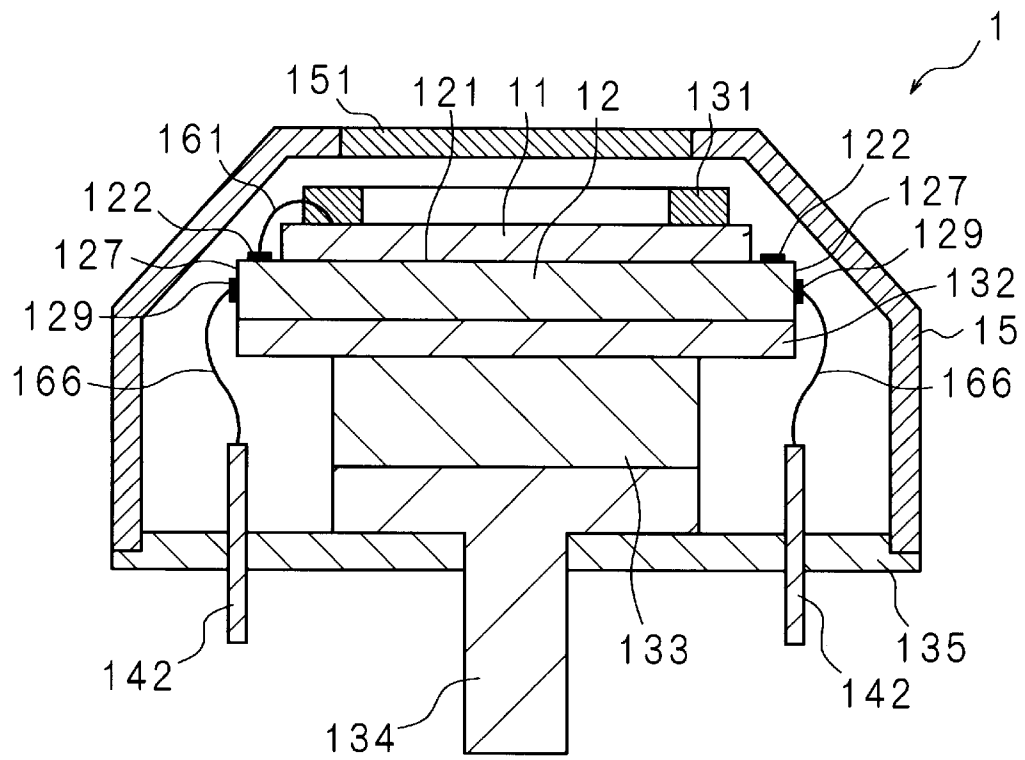
[図10]



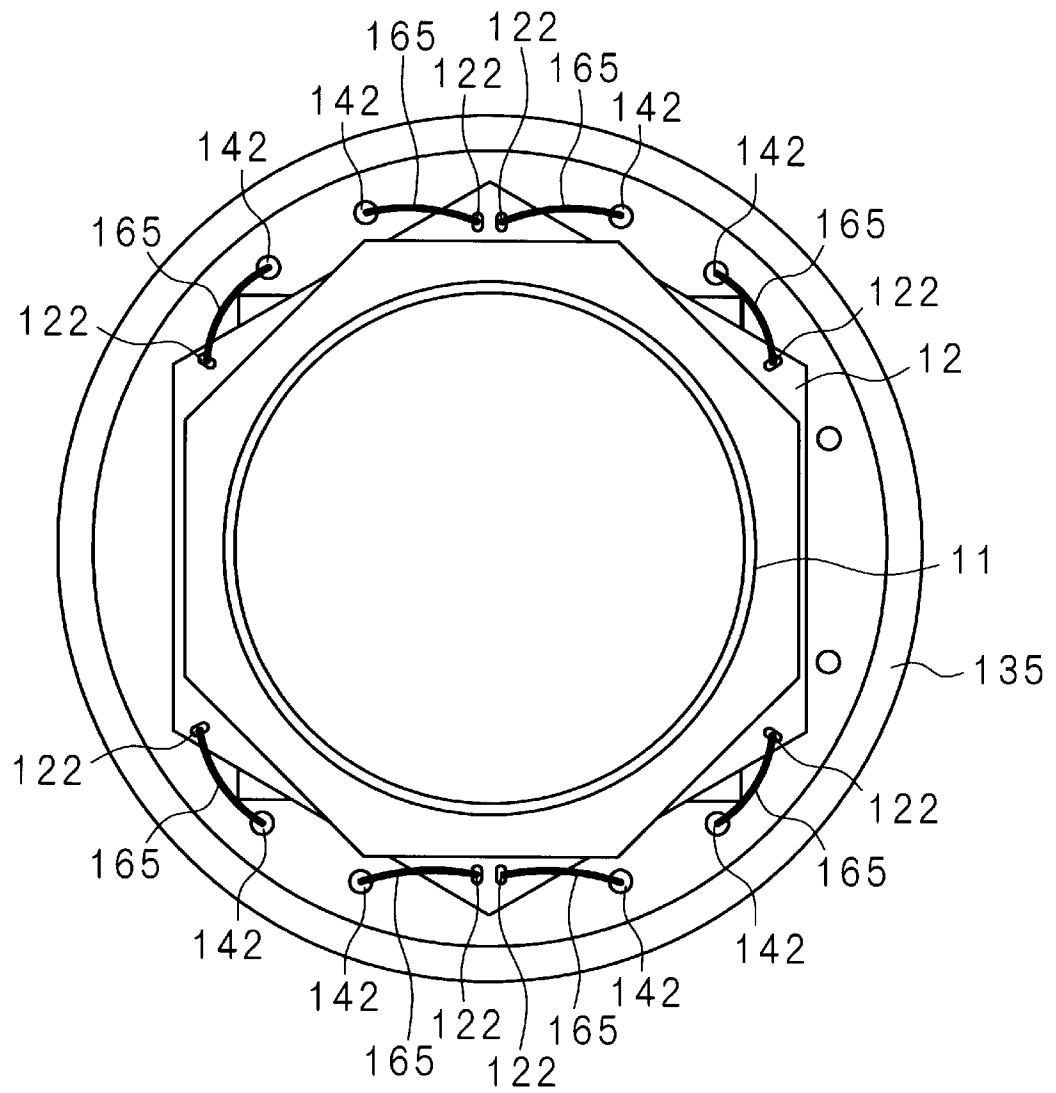
[図11]



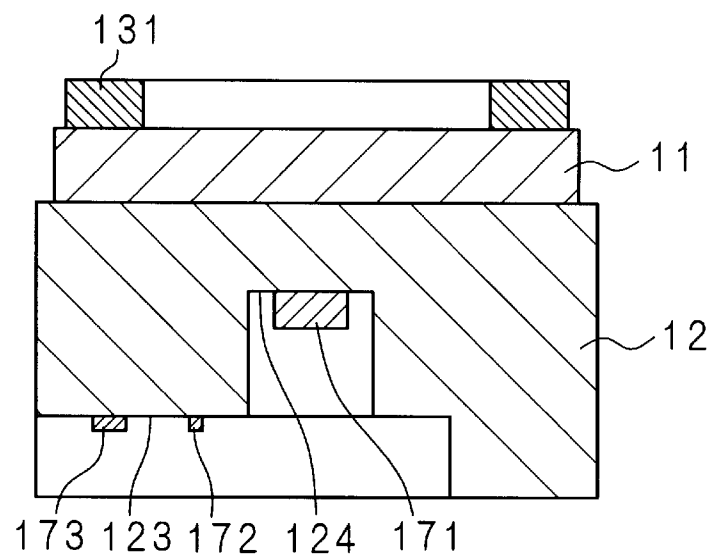
[図12]



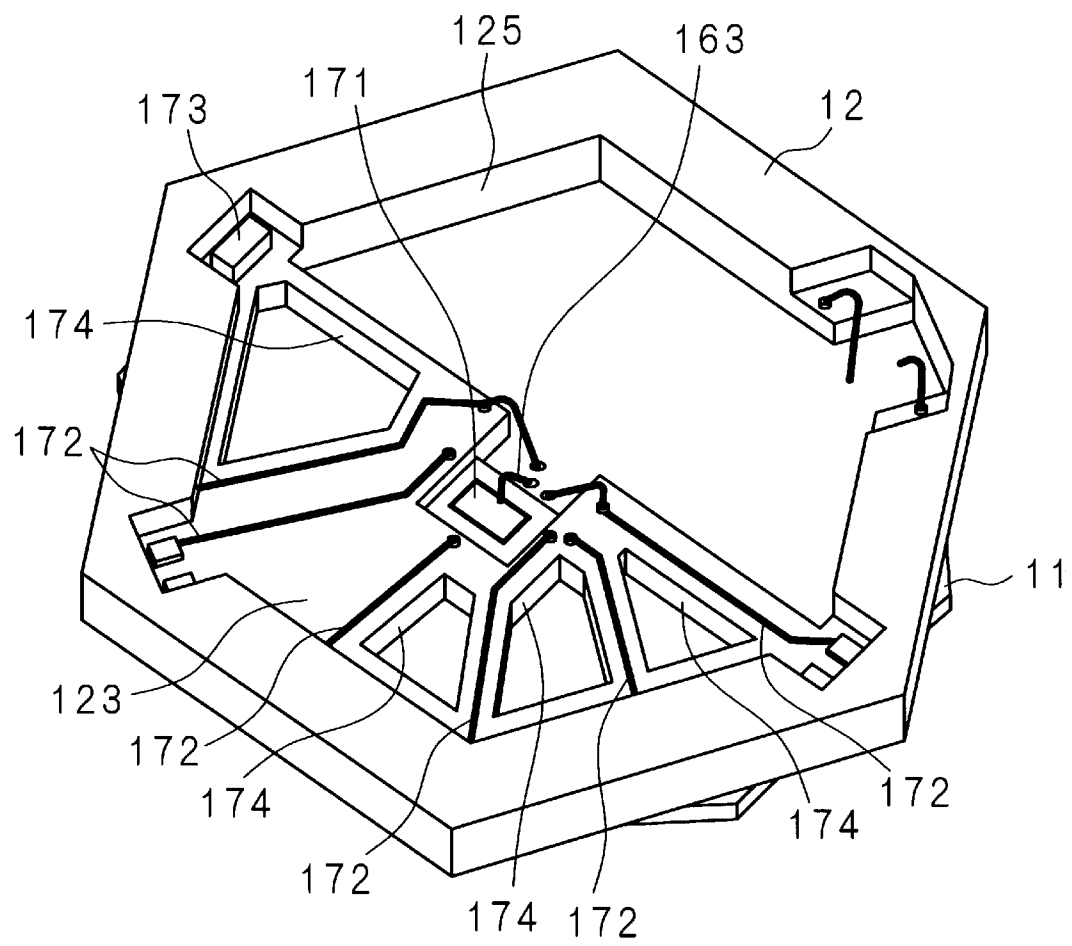
[図14]



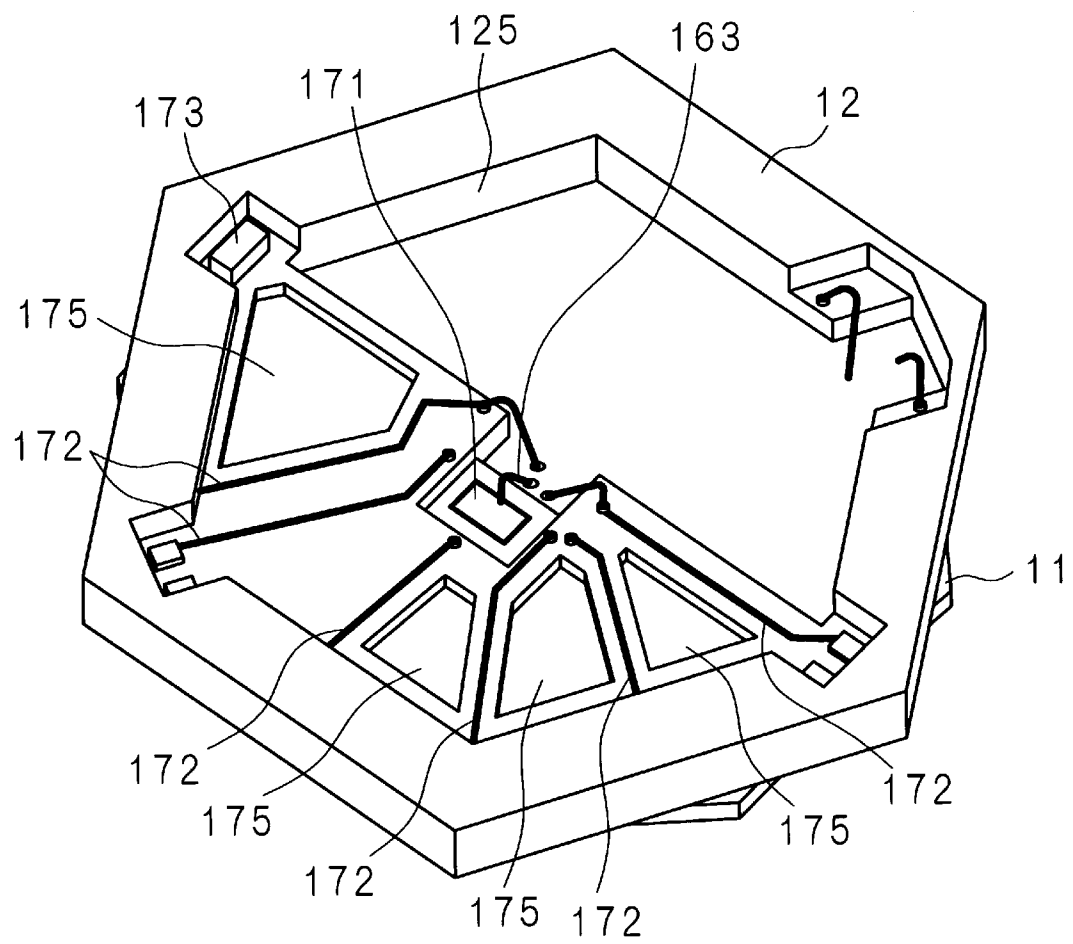
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/038945

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01T7/00 (2006.01) i, G01N23/223 (2006.01) i, G01T1/24 (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)

Int.Cl. G01T7/00, G01N23/223, G01T1/24

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	1971-2017
Registered utility model specifications of Japan	1996-2017
Published registered utility model applications of Japan	1994-2017

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 2015-114325 A (OXFORD INSTRUMENTS ANALYTICAL OY)	1-3
Y	22 June 2015, fig. 1-8, paragraphs [0018]-[0049] & US 2015/0162455 A1, fig. 1-8, paragraphs [0035]-[0070]	4-8
Y	JP 2014-239215 A (OXFORD INSTRUMENTS ANALYTICAL OY)	4-8
	18 December 2014, fig. 2, 5, 10, paragraph [0036] & US 2014/0346630 A1, fig. 2, 5, 10, paragraph [0052]	
Y	JP 2014-92448 A (HORIZA, LTD.) 19 May 2014, fig. 1, 3, paragraphs [0018], [0020] & US 2014/0124665 A1, fig. 1, 3, paragraphs [0032], [0034]	4-8
Y	US 2012/0228498 A1 (OLIVER, Scheid) 13 September 2012, fig. 5(a), 5(b), paragraph [0106] & DE 102011012989 A1	5, 7-8



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 December 2017 (28.12.2017)

Date of mailing of the international search report
16 January 2018 (16.01.2018)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/038945

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2009-139346 A (FUJI ELECTRIC SYSTEMS CO., LTD.) 25 June 2009, fig. 1-6, paragraphs [0008], [0030]-[0051] (Family: none)	1-3, 7-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01T7/00(2006.01)i, G01N23/223(2006.01)i, G01T1/24(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01T7/00, G01N23/223, G01T1/24

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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 Y	JP 2015-114325 A（オックスフォード インストゥルメンツ アナリティカル オーワイ） 2015.06.22, 第1-8図、第[0018]-[0049]段落 & US 2015/0162455 A1, 第1-8図、第[0035]-[0070]段落	1-3 4-8
Y	JP 2014-239215 A（オックスフォード インストゥルメンツ アナリティカル オーワイ） 2014.12.18, 第2図, 第5図, 第10図、第[0036]段落	4-8

☒ 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

28.12.2017

国際調査報告の発送日

16.01.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

長谷川 聡一郎

2G

5552

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

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
	& US 2014/0346630 A1, 第2図、第5図、第10図、第[0052]段落	
Y	JP 2014-92448 A (株式会社堀場製作所) 2014.05.19, 第1図、第3図、第[0018]段落、第[0020]段落 & US 2014/0124665 A1, 第1図、第3図、第[0032]段落、第[0034]段落	4-8
Y	US 2012/0228498 A1 (OLIVER Scheid) 2012.09.13, 第5(a)、5(b)図、第[0106]段落 & DE 102011012989 A1	5, 7-8
X	JP 2009-139346 A (富士電機システムズ株式会社) 2009.06.25, 第1-6図、第[0008]段落、第[0030]-[0051]段落 (ファミリーなし)	1-3, 7-8