

(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
2015年1月29日(29.01.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/011947 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 23/223 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/057693
- (22) 国際出願日: 2014年3月20日(20.03.2014)
- (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 2013-151848 2013年7月22日(22.07.2013) JP
特願 2014-057332 2014年3月20日(20.03.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社リガク(RIGAKU CORPORATION.) [JP/JP]; 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 河野 浩(KONO Hiroshi); 〒5691146 大阪府高槻市赤大路町14-8 株式会社リガク大阪工場内 Osaka (JP). 平山 泰生(HIRAYAMA Taisei); 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 油井 透, 外(YUI Tohru et al.); 〒1020072 東京都千代田区飯田橋四丁目6番1号 21東和ビル3F 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, RW, SD, SL, 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).

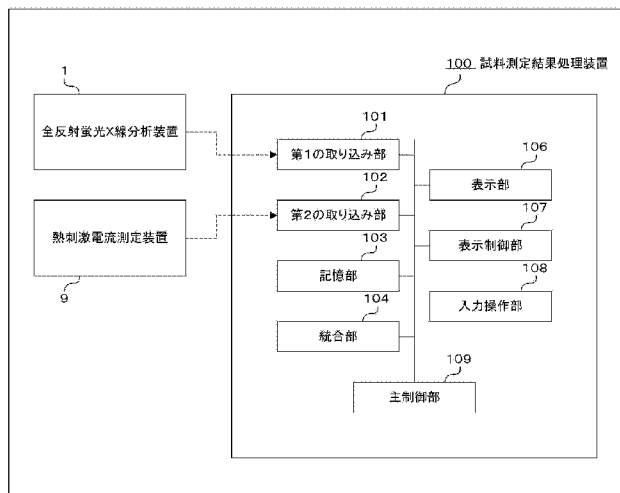
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: SAMPLE MEASUREMENT RESULT PROCESSING DEVICE, SAMPLE MEASUREMENT RESULT PROCESSING METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 試料測定結果処理装置、試料測定結果処理方法及びプログラム

[図1]



- | | |
|--|--------------------------|
| 1 Total reflection X-ray fluorescence spectroscopy | 104 Integration unit |
| 9 Thermally stimulated current spectroscopy | 106 Display unit |
| 100 Sample measurement result processing device | 107 Display control unit |
| 101 First acquisition unit | 108 Input operation unit |
| 102 Second acquisition unit | 109 Main control unit |
| 103 Storage unit | |

(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide a device that makes it possible to ascertain the correlation between the state of contamination of a surface of a sample and the electrical characteristics of the sample. The sample measurement result processing device (100) according to the present invention is provided with a first acquisition unit (101) for dividing a surface of a sample into a plurality of measurement positions and acquiring first measurement results for each measurement position in which measurement data for the sample measured using total reflection X-ray fluorescence spectroscopy is associated with the measurement positions, a second acquisition unit (102) for dividing the surface of the sample into a plurality of measurement positions and acquiring second measurement results for each measurement position in which measurement data for the sample measured using thermally stimulated current spectroscopy is associated with the measurement positions, and an integration unit (104) for associating and integrating the acquired first measurement results and the second measurement results using the measurement positions included in the first measurement results and the second measurement results. An example of a sample is a semiconductor wafer.

(57) 要約:

[続葉有]

本発明は、試料表面の汚染状態と試料の電気的特性の相関関係を把握することができる装置を提供することを目的とする。本発明の試料測定結果処理装置（１００）は、試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、全反射蛍光Ｘ線分析法により測定された試料の測定データと測定位置とを対応付けた第１の測定結果を取り込む第１の取り込み部（１０１）と、試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、熱刺激電流測定法により測定された試料の測定データと測定位置とを対応付けた第２の測定結果を取り込む第２の取り込み部（１０２）と、取り込まれた第１の測定結果と第２の測定結果とを、各々の測定結果に含まれる測定位置により関連付けて統合する統合部（１０４）と、を備える。試料の例は、半導体ウエハである。

明 細 書

発明の名称：

試料測定結果処理装置、試料測定結果処理方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、試料測定結果処理装置、試料測定結果処理方法及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来、試料の測定（解析、分析等を含む）方法として、全反射蛍光X線分析法と熱刺激電流測定法が知られている。全反射蛍光X線分析法は、試料の表面に非常に浅い角度でX線を照射し、その際に汚染物の存在によって発生する蛍光X線を検出することにより、試料表面の汚染を測定する方法である（たとえば、特許文献1を参照）。熱刺激電流測定法は、試料に電界を加えることにより、試料内部や表面及び界面に存在する電荷トラップを注入キャリアで蓄積させ、昇温過程でのトラップサイトからの熱的放出（脱トラップ）現象で生じる熱刺激電流を測定する方法である（たとえば、特許文献2を参照）。熱刺激電流測定法に関しては、たとえば、J I S、K 7 1 3 1、電気学会技術報告書 第II部 第194号等にも規定されている。

[0003] 一般に、半導体製造プロセスにおいては、特定のプロセスの評価や管理などに、全反射蛍光X線分析法や熱刺激電流測定法を利用している。たとえば、全反射蛍光X線分析法に関しては、半導体ウエハの表面の汚染状態に基づいて洗浄プロセスの評価あるいは管理などを行っている。また、熱刺激電流測定法に関しては、この測定方法によって得られる半導体ウエハの電気的特性に基づいて成膜プロセスの評価や管理などを行っている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2010-256259号公報

特許文献2：特開2005-10142号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、従来においては、全反射蛍光X線分析法を用いた半導体製造プロセスの評価等と、熱刺激電流測定法を用いた半導体製造プロセスの評価等を、それぞれ別々に行っている。このため、全反射蛍光X線分析法による測定では、半導体ウエハの表面の汚染状態は把握できても、この汚染状態が半導体ウエハの電気的特性にどのような影響を与えるのかは判断できなかった。また、熱刺激電流測定法による測定では、半導体ウエハの電気的特性は把握できても、実際に電気的特性に変化が生じた場合に、その原因がどのような欠陥（汚染など）によって引き起こされたのかは判断できなかった。

[0006] 本発明の主な目的は、試料表面の汚染状態と試料の電気的特性の相関関係を把握することが可能な試料測定結果処理装置及び試料測定結果処理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] 本発明の第1の態様は、

試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、全反射蛍光X線分析法により測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第1の測定結果を取り込む第1の取り込み手段と、

前記試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、熱刺激電流測定法により測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第2の測定結果を取り込む第2の取り込み手段と、

前記第1の取り込み手段によって取り込まれた前記第1の測定結果と前記第2の取り込み手段によって取り込まれた前記第2の測定結果とを、各々の測定結果に含まれる前記測定位置により関連付けて統合する統合手段と、

を備えることを特徴とする試料測定結果処理装置である。

[0008] 本発明の第2の態様は、

前記試料の表面のイメージ画像を表示するとともに、前記イメージ画像中の一つの測定位置に関して、当該測定位置により関連付けられた前記第1の

測定結果と前記第 2 の測定結果を表示する表示手段をさらに備える

ことを特徴とする上記第 1 の態様に記載の試料測定結果処理装置である。

[0009] 本発明の第 3 の態様は、

前記試料の表面のイメージ画像は、前記第 1 の測定結果を反映させた前記試料表面の汚染状態の分布図であり、

前記表示手段は、前記分布図でユーザーが任意に指定した測定位置に対応する前記第 2 の測定結果を反映させた前記試料の電気的特性を示す特性図を前記分布図と一緒に表示する

ことを特徴とする上記第 2 の態様に記載の試料測定結果処理装置である。

[0010] 本発明の第 4 の態様は、

試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、全反射蛍光 X 線分析法及び熱刺激電流測定法のうち、一方の方法によって測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第 1 の測定結果を取り込む第 1 の取り込みステップと、

前記全反射蛍光 X 線分析法及び前記熱刺激電流測定法のうち、他方の方法によって測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第 2 の測定結果を取り込む第 2 の取り込みステップと、

前記第 1 の取り込みステップで取り込んだ前記第 1 の測定結果と前記第 2 の取り込みステップで取り込んだ前記第 2 の測定結果とを、各々の測定結果に含まれる前記測定位置により関連付けて統合する統合ステップと、

を備えることを特徴とする試料測定結果処理方法である。

[0011] 本発明の第 5 の態様は、

前記第 1 の取り込みステップで取り込まれた前記第 1 の測定結果を用いて、前記他方の方法によって測定すべき前記試料の測定位置を決定する位置決定ステップを含み、

前記第 2 の取り込みステップでは、前記位置決定ステップで決定された測定位置を対象に前記他方の方法によって前記試料を測定して得られた測定結果を取り込む

ことを特徴とする上記第４の態様に記載の試料測定結果処理方法である。

[0012] 本発明の第６の態様は、

コンピュータを、

試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、全反射蛍光Ｘ線分析法により測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第１の測定結果を取り込む第１の取り込み手段、

前記試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、熱刺激電流測定法により測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第２の測定結果を取り込む第２の取り込み手段、

前記第１の取り込み手段によって取り込まれた前記第１の測定結果と前記第２の取り込み手段によって取り込まれた前記第２の測定結果とを、各々の測定結果に含まれる前記測定位置により関連付けて統合する統合手段、

として機能させることを特徴とするプログラムである。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、試料表面の汚染状態と試料の電気的特性の相関関係を把握することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0014] [図１]本発明の実施の形態に係る試料測定システムの構成例を示すブロック図である。

[図２]全反射蛍光Ｘ線分析装置の構成例を示す概略図である。

[図３]熱刺激電流測定装置の構成例を示す概略図である。

[図４]熱刺激電流測定法を説明する図である。

[図５]測定位置の区分を示す図である。

[図６]全反射蛍光Ｘ線分析法による測定データをグラフ化した図である。

[図７]熱刺激電流測定法による測定データをグラフ化した図である。

[図８]本発明の実施の形態に係る試料測定結果処理方法を示すフローチャートである。

[図９]測定結果の統合処理をイメージ化した図である。

[図10]表示部における具体的な表示例を示す図である。

[図11] T S C測定結果を反映した電気的特性図の一例を示す図である。

[図12] T S C測定結果を反映した電気的特性図の他の例を示す図である。

[図13] T X R F スペクトルチャートを示す図である。

[図14] 本発明の他の実施の形態に係る試料測定結果処理装置の構成例を示す図である。

[図15] 本発明の実施の形態に係る試料測定結果処理方法を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ詳細に説明する。

本発明の実施の形態においては、次の順序で説明を行う。

1. 全反射蛍光 X 線分析装置の構成
2. 全反射蛍光 X 線分析法
3. 熱刺激電流測定装置の構成
4. 熱刺激電流測定法
5. 試料測定結果処理装置の構成
6. 試料測定結果処理方法
7. 実施の形態の効果
8. 他の実施の形態
9. 他の実施の形態の効果
10. 変形例等

[0016] 図1は本発明の実施の形態に係る試料測定システムの構成例を示すブロック図である。図示した試料測定システムは、全反射蛍光 X 線分析装置1と、熱刺激電流測定装置9と、試料測定結果処理装置100と、を用いて構成されている。

[0017] 本発明の実施の形態に係る試料測定結果処理装置及び試料測定結果処理方法は、全反射蛍光 X 線分析法（T R X F : Total Reflection X-ray Fluorescence）によって得られる測定結果と、熱刺激電流測定法（T S C : Thermally

Stimulated Current) によって得られる測定結果とを取り込んで、所定の処理（詳細は後述）を行うものである。

ここでは、本発明の実施の形態に係る試料測定結果処理装置及び試料測定結果処理方法を説明する前に、全反射蛍光X線分析装置及び全反射蛍光X線分析法の説明と、熱刺激電流測定装置及び熱刺激電流測定方法の説明を順に行う。

[0018] <1. 全反射蛍光X線分析装置の構成>

図2は全反射蛍光X線分析装置の構成例を示す概略図である。図示した全反射蛍光X線分析装置1は、試料表面の汚染を非破壊で測定する場合に用いられるものである。全反射蛍光X線分析装置1は、X線発生器2と、分光器3と、チャンバー4と、ステージ5と、ステージ移動機構部6と、検出器7と、を備えている。X線発生器2は、分光器3に向けてX線を出射するものである。X線発生器2は、たとえば、図示しないX線管と、回転陽極と、真空ポンプとを用いて構成される。また、X線発生器2には、必要に応じて、回転陽極を冷却する冷却器が設けられる。本発明の実施の形態においては、一例として、タングステンX線管を用いてX線発生器2が構成されているものとする。

[0019] 分光器3は、X線発生器2から出射されたX線を分光することにより、所定波長のX線をステージ5に導くものである。X線発生器2から分光器3に至る光路の途中には、図示しないシャッターが設けられている。シャッターは、光路上でX線の通過／遮断を切り替えるものである。分光器3からステージ5に至る光路の途中には、図示しないスリットが設けられている。スリットは、X線の通過する幅を制限するものである。

[0020] チャンバー4は、ステージ5やステージ移動機構部6を収容可能な大きさに形成されている。チャンバー4には、真空ポンプ8と図示しないガス供給系が接続されている。真空ポンプ8はチャンバー4内を真空状態にするためのものである。ガス供給系は、チャンバー4内に不活性ガスを供給するものである。

[0021] ステージ5は、試料を支持するものである。本実施の形態においては、一例として、半導体ウエハ（シリコンウエハ等）30を試料とし、この半導体ウエハ30をステージ5の上面に載せて支持するものとする。ステージ5は、半導体ウエハ30を静電チャック方式により固定状態に支持する。

[0022] ステージ移動機構部6は、マッピング測定を行うためにステージ5を移動させるものである。ここで記述する「マッピング測定」とは、試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置ごとに所定の測定を行うことをいう。マッピング測定を行うには、半導体ウエハ30の面内でX線の照射位置を変更する必要がある。そのため、ステージ移動機構部6は、半導体ウエハ30を支持するステージ5を直交二軸方向（X方向及びY方向）に移動させることにより、半導体ウエハ30に対するX線の照射位置を変更する。ステージ移動機構部6は、ステージ5をX方向及びY方向に移動可能なX-Yステージ、又はこれに回転移動を加えたX-Y- θ ステージを用いて構成することが可能である。加えて、ステージ移動機構部6は、ステージ5の高さを調整する高さ調整機構と、ステージ5の傾き（X線の入射角度）を調整する傾き調整機構と、を備えている。

[0023] 検出器7は、ステージ5上に支持した半導体ウエハ30に所定の角度でX線を照射した際に発生する蛍光X線を検出するものである。ここで記述する所定の角度は、半導体ウエハ30の表面に入射したX線が全反射する角度である。検出器7は、たとえば、SSD（ソリッドステート検出器）、SDD（シリコンドリフト型検出器）などを用いて構成することが可能である。

[0024] <2. 全反射蛍光X線分析法>

次に、上記構成から全反射蛍光X線分析装置1を用いた全反射蛍光X線分析法について説明する。

[0025] まず、チャンバー4内を不活性ガスで満たした真空空間とし、この真空空間内で半導体ウエハ30をステージ5により支持する。また、X線発生器2から出射したX線を分光器3で分光させることにより、所望の波長（エネルギー）のX線を半導体ウエハ30の表面に入射する。このとき、分光器3は

、測定の対象とする汚染元素に適した波長のX線を取り出すべく、X線を単色化する。

[0026] 半導体ウエハ30に入射するX線の波長は、測定（分析）すべき汚染元素に応じて分光器3により切り替える。たとえば、測定対象とする汚染物質が金属であれば、この汚染金属の元素が軽元素であるか、遷移元素であるか、それとも重元素であるかにより、分光器3で波長を切り替える。具体的には、X線発生器2にタングステンX線管を用いた場合は、汚染金属の元素が軽金属元素であればW-M α 線を照射し、遷移金属元素であればW-L β 線を照射し、重金属元素であればH. E.（高エネルギー）線を照射するように、X線の波長を切り替える。

[0027] 上述のように半導体ウエハ30の表面に所定波長のX線を照射すると、その照射位置に存在する汚染物質によって蛍光X線が発生する。このため、半導体ウエハ30の表面で発生する蛍光X線を検出器7で検出することにより、汚染元素の種類及び量を特定することができる。

[0028] さらに詳述すると、半導体ウエハ30に対しては、該ウエハ表面にX線を照射したときにX線が全反射するように、非常に浅い角度でX線を照射する。このため、半導体ウエハ30の表面に入射したX線は、汚染物質の存否にかかわらず、ほぼすべてが全反射する。よって、半導体ウエハ30に照射したX線が検出器7に検出されることはない。

[0029] これに対して、半導体ウエハ30の表面に汚染物質が存在し、この汚染物質にX線が照射されると、汚染物質の存在によって蛍光X線が放出される。蛍光X線は、半導体ウエハ30の表面で多方向に放射する。このため、放射する蛍光X線を検出器7で検出することができる。このとき、蛍光X線の波長は汚染元素の種類に依存し、蛍光X線の強度は汚染元素の量に依存したものとなる。このため、検出器7で検出した蛍光X線の波長を分析することにより、汚染物質を構成している汚染元素の種類及び量を特定することができる。

[0030] <3. 熱刺激電流測定装置の構成>

次に、熱刺激電流測定装置の構成について図3を用いて説明する。

図示した熱刺激電流測定装置9においては、試料室10の内部に試料台11が設けられている。試料室10の外壁部分には、試料室10に収容した半導体ウエハ30（試料）を加熱したり冷却したりするための温度可変機構（不図示）が組み込まれている。本実施の形態においては、試料室10の温度と、試料室10に収容した半導体ウエハ30の温度とが、実質的に同じ温度であるとする。試料台11は、測定の対象となる半導体ウエハ30を支持するものである。

[0031] 光照射部13は、試料室10に収容された半導体ウエハ30に対して、特定波長の光を照射するものである。具体的には、光照射部13は、半導体ウエハ30のバンドギャップに相当するエネルギーをもつ波長の光を照射する。

[0032] 試料室10には、2つの電極14、14が設けられている。これらの電極14、14は、それぞれ半導体ウエハ30に電氣的に接続されるものである。半導体ウエハ30に対する電極14、14の接続形態としては、図例のように半導体ウエハ30の面内で異なる位置に電極14、14を接続する以外にも、半導体ウエハ30を挟んで対向するように電極14、14を配置する場合もある。

[0033] 試料室10には、ガス供給部15と排気部16とが接続されている。ガス供給部15は、試料室10に不活性ガスを供給するものである。ガス供給部15は、不活性ガスとして、たとえばヘリウムガスを供給する。ガス供給部15と試料室10をつなぐ配管の途中には制御弁17が設けられている。制御弁17は、ガス供給部15によるガスの供給や停止、供給量などを制御するものである。

[0034] 排気部16は、試料室10の内部を減圧雰囲気（真空等）にするためのものである。排気部16は、たとえば、ロータリーポンプを用いて構成することが可能である。排気部16と試料室10とをつなぐ配管の途中には制御弁18が設けられている。制御弁18は、排気部16による排気の開始や停止、

排気量などを制御するものである。

[0035] 上述した2つの電極14, 14のうち、一方の電極14は、スイッチ19aを介して電圧源20に電氣的に接続されている。他方の電極14は、スイッチ19bを介して電流計測部21に電氣的に接続されている。電流計測部21は、フェムトアンペア(10^{-15} A)という非常に微小な電流を測定可能な電流計を用いて構成される。

[0036] <4. 熱刺激電流測定法>

次に、上記構成から熱刺激電流測定装置を用いた熱刺激電流測定法について図4を参照しながら説明する。

[0037] まず、試料室10の試料台11に半導体ウエハ30をセットして電極14, 14を接続した後、ガス供給部15及び排気部16により、試料室10の内部を不活性ガスで満たした減圧雰囲気にする。また、第1ステップでは、図示しない温度可変機構により試料室10内の半導体ウエハ30の温度を室温から所定の温度 T_s まで低下させる。ここで記述する所定の温度 T_s とは、次の第2ステップにおいて、試料内のトラップを凍結させるのに必要な温度である。

[0038] 次に、半導体ウエハ30の温度を所定の温度 T_s に維持した状態で、スイッチ19a, 19bをオフからオンに切り替える。これにより、励起キャリアの発生に必要な電圧（以下、「トラッピング電圧」ともいう。）が、電圧源20から半導体ウエハ30に印加される。トラッピング電圧を印加する時間 t_{set} は、トラップをキャリアで満たすのに必要な時間を考慮して設定（調整）される。このとき、必要に応じて、トラッピング電圧の印加とあわせて、光照射部13から半導体ウエハ30に所定波長の光を照射してもよい。これにより、半導体ウエハ30の内部では、励起キャリア（電子、正孔）が発生するとともに、この励起キャリアが、伝導帯と価電子帯との間の禁制帯 E_g において、あるエネルギー準位（以下、「トラップ準位」ともいう。）に捕獲される。すなわち、励起によって発生した電子と正孔は、それぞれドナー準位とアクセプター準位に捕獲される。このとき、キャリアが捕獲される

トラップ準位は、トラップエネルギーの深さ（以下、「トラップ深さ」ともいう。）として捉えることができる。いずれのトラップ準位に、どの程度の量のキャリアが捕獲されるかは、半導体ウエハ30の特性によって異なる。

[0039] 次に、スイッチ19a, 19bをオンからオフに切り替えることにより、トラッピング電圧の印加を停止し、この状態をあらかじめ設定された保持時間 $t_{g\text{ set}}$ だけ保持する。保持時間 $t_{g\text{ set}}$ は、トラップに捕獲すべきキャリア以外の余剰キャリアを禁制帯から排除するのに必要な時間に応じて設定（調整）される。

[0040] 次に、スイッチ19a, 91bをオフからオンに切り替えることにより、トラッピング電圧と逆極性のコレクティング電圧を電圧源20によって半導体ウエハ30に印加する。また、それと同時に、試料室10内の半導体ウエハ30を図示しない温度可変機構により一定速度で昇温させる。そして、この昇温過程でキャリアの解放により流れる電流（熱刺激電流）を電流計測部21で測定する。この昇温過程における電流の測定は、半導体ウエハ30の温度があらかじめ決められた温度に達した段階で終了する。

[0041] （マッピング測定）

上述した全反射蛍光X線分析法及び熱刺激電流測定法においては、いずれもマッピング測定を適用する。以下、マッピング測定について詳しく説明する。

マッピング測定においては、図5に示すように、試料となる半導体ウエハ30の表面に二次元の座標を設定する。具体的には、半導体ウエハ30の中心を座標中心（0, 0）とし、この座標中心（原点）で直交するX軸とY軸により規定される直交座標（以下、「XY座標」ともいう。）を設定する。XY座標のX軸は、半導体ウエハのオリエンテーションフラット31と平行な座標軸とする。

[0042] また、マッピング測定においては、各々の測定位置の中心を座標値で指定することにより、半導体ウエハ30の表面領域を上述したXY座標を用いて複数の測定位置に区分する。具体的には、半導体ウエハの表面を格子状（又

はドット状)の配列で複数の測定位置に区分する。一つの測定位置の大きさは、たとえば、全反射蛍光X線分析法において半導体ウエハの表面に照射されるX線のスポットサイズ(たとえば、10mm×10mm)にあわせて設定すればよい。これにより、半導体ウエハ30の面内において、各々の測定位置をXY座標の座標値(x, y)で一義的に特定することが可能となる。

本実施の形態においては、半導体ウエハの表面を合計100個の測定位置に区分するものと仮定する。また、測定する順番は、任意に設定又は変更が可能であるが、ここでは一例として、座標値(x1, y1)で指定される測定位置を1回目に測定すべき測定位置とし、座標値(x2, y1)で指定される測定位置を2回目に測定すべき測定位置とする。

[0043] 上述のように半導体ウエハの表面を複数の測定位置に区分した場合、全反射蛍光X線分析法による測定では、次のような手順でマッピング測定を行う。

まず、ステージ移動機構部6の駆動により、複数の測定位置のうち、座標値(x1, y1)で指定される測定位置にX線が照射されるように、ステージ5を移動させる。

次に、その測定位置にX線を照射して、全反射蛍光X線分析法による測定を行う。これにより、座標値(x1, y1)で指定される測定位置(以下、「測定位置(x1, y1)」とも記す。)に関して、全反射蛍光X線分析法による測定データD1txrfが得られる。

全反射蛍光X線分析法による測定データDtxrfは、横軸にX線のエネルギー(波長)、縦軸にX線の強度をとったTXRFスペクトルのグラフで表すことができる(たとえば、図6を参照)。この測定データDtxrfからは、汚染物質の元素の種類や量、さらには半導体ウエハ表面の汚染状態を知ることができる。

[0044] 次に、ステージ移動機構部6の駆動により、座標値(x2, y1)で指定される測定位置にX線が照射されるように、ステージ5を移動させる。

次に、その測定位置にX線を照射して、全反射蛍光X線分析法による測定

を行う。これにより、座標値（ x_2 , y_1 ）で指定される測定位置（以下、「測定位置（ x_2 , y_1 ）」とも記す。）に関して、全反射蛍光X線分析法による測定データD2txrfが得られる。

[0045] 以降は、ステージ移動機構部6の駆動によりステージ5を順次移動させ、残りの測定位置に関しても、上記同様に全反射蛍光X線分析法による測定を行う。これにより、上述のように半導体ウエハの表面を合計100個の測定位置に区分したと仮定すると、すべての測定位置に関して、全反射蛍光X線分析法による測定データDtxrfと座標値（ x , y ）で指定される測定位置（以下、「測定位置（ x , y ）」とも記す。）とを対応付けた合計100個の測定結果（以下、「TXRF測定結果」ともいう。）が得られる。

[0046] また、上述のように半導体ウエハの表面を複数の測定位置に区分した場合、熱刺激電流測定法による測定では、次のような手順でマッピング測定を行う。

まず、説明の前提として、熱刺激電流測定装置は、マッピング測定を実現するための手段として、たとえば、図示しないプロービング装置を備えるものとする。また、試料となる半導体ウエハの表面には、上述した複数の測定位置に対応して複数の電極対が形成されているものとする。一つの電極対は、一つの測定位置を対象に熱刺激電流測定を行うために、半導体ウエハの面内において当該測定位置を一方の電極と他方の電極で挟むように形成されるものである。

[0047] 半導体製造プロセスにおいては、製品として取り扱う半導体ウエハ（以下、「製品ウエハ」ともいう。）の他に、抜き取り検査のためのダミー（モニター用）の半導体ウエハ（以下、「ダミーウエハ」ともいう。）を導入する場合がある。ダミーウエハには基本的に製品ウエハと同様の処理（成膜処理など）が施される。ただし、ダミーウエハには、製品ウエハとは異なるパターンで配線や電極を形成することがある。

[0048] そこで、半導体ウエハ30となるダミーウエハの表面に、上述のように複数の測定位置に対応して複数の電極対を形成し、このダミーウエハを使って

熱刺激電流測定を行う。その場合は、まず、複数の電極対のうち、測定位置（ x_1 , y_1 ）に対応する電極対にプロービング装置の触針を接触させ、その状態で熱刺激電流測定を行う。これにより、測定位置（ x_1 , y_1 ）に関して、熱刺激電流の測定データ $D_{1\text{ tsc}}$ が得られる。熱刺激電流測定法による測定データ D_{tsc} は、横軸に絶対温度、縦軸に熱刺激電流をとった TSC スペクトルのグラフで表すことができる（たとえば、図 7 を参照）この測定データ D_{tsc} からは、キャリアのトラップ深さやトラップ密度、さらには半導体ウエハの電気的特性（帯電、誘電、絶縁などの特性）を知ることができる。

[0049] 次に、プロービング装置を半導体ウエハから離間させた後、図示しない移動手段によりプロービング装置と半導体ウエハ（試料台）を相対的に移動させる。次いで、プロービング装置を半導体ウエハに接近させることにより、先ほどと異なる測定位置（ x_2 , y_1 ）に対応する電極対にプロービング装置の触針を接触させ、その状態で熱刺激電流測定を行う。これにより、測定位置（ x_2 , y_1 ）に関して、熱刺激電流の測定データ $D_{2\text{ tsc}}$ が得られる。

[0050] 以降は、プロービング装置と半導体ウエハ（試料台）を図示しない移動手段により順次、相対的に移動させて、プロービング装置の触針を接触させる電極対の位置を変更する。そして、残りの測定位置に関しても、上記同様に熱刺激電流測定法による測定を行う。これにより、上述のように半導体ウエハの表面を合計 100 個の測定位置に区分したと仮定すると、すべての測定位置に関して、熱刺激電流測定法による測定データ D_{tsc} と測定位置（ x , y ）とを対応付けた合計 100 個の測定結果（以下、「TSC 測定結果」ともいう。）が得られる。

[0051] なお、熱刺激電流測定法においては、半導体ウエハを上下方向（ウエハ厚み方向）で 2 つの電極により挟んで熱刺激電流測定を行う場合がある。その場合は、たとえば、半導体ウエハの裏面（下面：試料台と対面する側の面）を共通の電極とし、半導体ウエハの表面（上面）に複数の測定位置に対応する複数の電極を形成しておく。そして、上記同様にプロービング装置と半導体ウエハ（試料台）を相対的に移動させて、プロービング装置の触針を接触

させる電極の位置を順に変更する。これにより、半導体ウエハの面内において、プロービング装置の触針を接触させた電極の位置をそれぞれ測定位置として、測定位置ごとに熱刺激電流測定の測定データが得られる。

[0052] <5. 試料測定結果処理装置の構成>

次に、本発明の実施の形態に係る試料測定結果処理装置について図1を参照しつつ説明する。図示した試料測定結果処理装置100は、コンピュータハードウェア資源であるCPU (central processing unit)、ROM (Read-Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、ハードディスクドライブなどを備えるコンピュータ装置と、これに付属する入出力用のデバイス（ポインティングデバイス等、ディスプレイ装置、プリンタ装置など）を用いて構成されるものである。

[0053] 試料測定結果処理装置100は、機能的には、第1の取り込み部101と、第2の取り込み部102と、記憶部103と、統合部104と、表示部106と、表示制御部107と、入力操作部108と、主制御部109と、を備えた構成になっている。このうち、記憶部103は、RAMやハードディスクドライブなどのメモリ装置を用いて構成される。表示部106は、ディスプレイ装置を用いて構成される。入力操作部108は、ポインティングデバイス、キーボードなどを用いて構成される。

[0054] これに対して、第1の取り込み部101、第2の取り込み部102、統合部104、表示制御部107、主制御部109の各機能部は、CPUがROMに記憶されたプログラムをRAMに読み出して実行することにより実現される。これらの機能部を実現するためのプログラムは、コンピュータ装置にインストールされて用いられるが、そのインストールに先立ち、コンピュータ装置で読み取り可能な記憶媒体（CD-ROMなど）に格納されて提供されるものであってもよいし、あるいはコンピュータ装置と接続する通信回線を通じてコンピュータ装置に提供されるものであってもよい。このプログラムは、本発明の一形態となる。

[0055] （第1の取り込み部）

第1の取り込み部101は、上述した各々の測定位置に関して、全反射蛍光X線分析法により測定された試料の測定データD_{txrf}と測定位置（x， y）とを対応付けた測定結果を取り込むものである。

[0056] （第2の取り込み部）

第2の取り込み部102は、上述した各々の測定位置に関して、熱刺激電流測定法により測定された試料の測定データD_{tsc}と測定位置（x， y）とを対応付けた測定結果を取り込むものである。

[0057] （記憶部）

記憶部103は、試料測定結果処理装置100で取り扱う種々のデータや情報を記憶するものである。記憶部103に記憶されるデータや情報には、第1の取り込み部101によって取り込まれた測定結果と、第2の取り込み部102によって取り込まれた測定結果とが含まれる。

[0058] （統合部）

統合部104は、第1の取り込み部101によって取り込まれた測定結果と第2の取り込み部102によって取り込まれた測定結果とを、各々の測定結果に含まれる測定位置（x， y）により関連付けて統合するものである。

[0059] （表示部）

表示部106は、試料測定結果処理装置100のユーザーに対して各種の情報を可視情報として表示するものである。表示部106は、半導体ウエハ30の表面のイメージ画像を表示するとともに、このイメージ画像中の一つの測定位置に関して、当該測定位置により関連付けられたTXRF測定結果とTSC測定結果を表示する。表示部106の画面にTXRF測定結果とTSC測定結果を表示するタイミングは、必ずしも同時でなくてもよいが、少なくとも或る時間においては同一画面上に一緒に表示されるものとする。表示部106に表示される可視情報には、全反射蛍光X線分析法の測定結果を反映させた試料表面の汚染状態の分布図と、この分布図でユーザーが入力操作部108を用いて任意に指定した位置に対応する熱刺激電流測定法の測定結果を反映させた試料の電気的特性を示す特性図とが含まれる。表示部10

6は、たとえば、カラー表示が可能な液晶表示装置や有機EL表示装置などを用いて構成される。

[0060] (表示制御部)

表示制御部107は、表示部106による画面表示を制御するものである。具体的には、表示制御部107は、表示部106に画像（描画）データを入力することにより、その画像データに基づく情報を表示部106の画面に表示するように制御する。また、表示制御部107は、入力操作部108を介してユーザーから何らかの指示がされた場合に、指示された情報を表示部106の画面に表示するように制御する。後述する表示情報（特性図等）の切り替えは、この表示制御部107による制御のもとで行われる。

[0061] (入力操作部)

入力操作部108は、試料測定結果処理装置100を使用するユーザーが種々の情報を入力するために操作するものである。入力操作部108は、マウス等のポインティングデバイス、キーボードなどを用いて構成することが可能である。

[0062] (主制御部)

主制御部109は、試料測定結果処理装置100全体の処理、動作を統括的に制御するものである。

[0063] <試料測定結果処理方法>

図8は本発明の実施の形態に係る試料測定結果処理方法を示すフローチャートである。以下、各ステップS1～S4の処理内容について順に説明する。

[0064] (TXRF測定結果の取り込み：S1)

まず、第1の取り込み部101は、半導体ウエハの表面に設定された各々の測定位置(x, y)に関して、全反射蛍光X線分析法によって測定された半導体ウエハの測定データD_{txrf}と測定位置(x, y)とを対応付けたTXRF測定結果を取り込む。このとき、主制御部109は、第1の取り込み部101が取り込んだTXRF測定結果を記憶部103に記憶する。TXRF

測定結果の取り込みは、全反射蛍光X線分析装置と試料測定結果処理装置100との間で有線又は無線によるデータの通信（受け渡し）によって行えばよい。

[0065] ただし、本発明はこれに限らず、たとえば、次のような方法でTXRF測定結果の取り込みを行ってもよい。まず、全反射蛍光X線分析装置の入出力インターフェース等に携帯型の記録媒体（たとえば、USBメモリ等）を接続し、全反射蛍光X線分析法によって得られたTXRF測定結果を記録媒体に記録する。次に、この記録媒体を全反射蛍光X線分析装置から取り外して、試料測定結果処理装置100の入出力インターフェース等に接続する。次に、試料測定結果処理装置100において、記録媒体に記録されているTXRF測定結果を主制御部109が読み出して取り込むとともに、取り込んだTXRF測定結果を記憶部103に記憶する。

[0066] （TSC測定結果の取り込み：S2）

次に、第2の取り込み部102は、半導体ウエハの表面に設定された各々の測定位置（ x ， y ）に関して、熱刺激電流測定法によって測定された半導体ウエハの測定データ D_{tsc} と測定位置（ x ， y ）とを対応付けたTSC測定結果を取り込む。このとき、主制御部109は、第2の取り込み部102が取り込んだTSC測定結果を記憶部103に記憶する。TSC測定結果の取り込みは、上述したTXRF測定結果の取り込みと同様の方法で行えばよい。また、TSC測定結果の取り込みは、TXRF測定結果の取り込みよりも前に行ってもよい。

[0067] （測定結果の統合：S3）

次に、統合部104は、第1の取り込み部101によって取り込まれたTXRF測定結果と第2の取り込み部102によって取り込まれたTSC測定結果とを、各々の測定結果に含まれる測定位置（ x ， y ）により関連付けて統合する。具体的には、図9に示すように、全反射蛍光X線分析法による測定データ D_{txrf} と測定位置（ x ， y ）とを対応付けたTXRF測定結果と、熱刺激電流測定法による測定データ D_{tsc} と測定位置（ x ， y ）とを対応付け

たTSC測定結果とを、それぞれの測定結果に含まれる測定位置（ x ， y ）によって紐付けすることにより、TXRF測定結果とTSC測定結果とを統合する。

[0068] このような処理を行うことにより、記憶部103においては、TXRF測定結果とTSC測定結果とが測定位置（ x ， y ）により関連付けて保存される。このため、たとえばユーザーが入力操作部108を用いて任意の測定位置を指定した場合は、指定の測定位置（ x ， y ）によって関連付けられている測定データDtxrf、Dtscを記憶部103から読み出すことが可能となる。

[0069] （表示：S4）

次に、表示制御部107は、デフォルトで設定されている表示形式にしたがって表示部106の画面に所定の情報を表示させる。図10に具体的な表示例を示す。

図10においては、半導体ウエハ30の表面のイメージ画像として、TXRF測定結果を反映させた半導体ウエハ表面の汚染状態を示す分布図120がマッピング形式で表示されている。この分布図120は、TXRF測定結果の一態様として表示されたものである。図示した分布図120においては、全反射蛍光X線分析法を用いて検出された汚染物質（汚染金属）の元素の種類（図例ではCr、Mn、Fe、Ni）がそれぞれ異なる色で表示されている。また、半導体ウエハ表面に存在する汚染物質の量（濃度）が等高線で表示されている。

[0070] さらに、分布図120の右側には、この分布図120でユーザーが任意に指定した測定位置Mpに対応するTSC測定結果を反映させた半導体ウエハの電気的特性を示す特性図121がグラフ形式で表示されている。特性図121は、TXRF測定結果の一態様として表示されたものである。分布図120の中でユーザーが指定する測定位置Mpは、たとえば、マウスを用いて所望の位置にカーソルを移動し、そこでマウスをクリック操作することにより、任意に変更することが可能である。なお、ユーザーが実際に入力操作部108を用いて測定位置を指定する前は、デフォルトの設定にしたがって、

たとえば、汚染元素の量が最も多い測定位置M pが自動的に指定されるようになっている。

[0071] 図中の特性図1 2 1は、縦軸にトラップ深さをとり、横軸に絶対温度をとって半導体ウエハの電気的特性を表示したものである。特性図1 2 1の元になるグラフデータは熱刺激電流測定法による測定データD tscから生成される。以下に、このグラフデータの生成手順を説明する。

[0072] まず、熱刺激電流測定法における昇温方法に部分昇温法を採用し、各々の温度域での昇温過程における熱刺激電流を測定する。部分昇温法は、「昇温開始」→「昇温停止」→「急冷」を一つのサイクルとして、各回の昇温開始温度を順に高温側にシフトさせながら、このサイクルを複数回にわたって繰り返す昇温方法である。

[0073] 部分昇温法を採用した熱刺激電流測定法によって各温度域の測定データが得られたら、この測定データを用いて、アレニウスの式に基づくアレニウスプロットを行う。以下に、アレニウスの式を記述する。

$$I_{TSC} \propto \exp(-E/kT)$$

ここで、「 I_{TSC} 」は熱刺激電流、「 E 」は活性化エネルギー、「 k 」はボルツマン定数、「 T 」は絶対温度である。

アレニウスプロットは、図1 1に示すように、縦軸に熱刺激電流密度(pA/cm^2)の対数、横軸に絶対温度(K)の逆数($1/T$)をとったものである。

[0074] 次に、上記のアレニウスプロットのデータ群から、各々の温度域におけるアレニウスプロットの傾きを計算によって求める。アレニウスプロットの傾きは、たとえば、最小二乗法による直線近似によって求めることができる。

次に、上述のように求めたアレニウスプロットの傾きから活性化エネルギーを求める。具体的には、アレニウスプロットの傾きが「 $-E/k$ 」で表されることから、これにボルツマン定数「 k 」を乗算することにより、活性化エネルギー「 E 」を求める。活性化エネルギーは、各々の温度域ごとに求める。こうして求めた活性化エネルギーは、キャリアのトラップ深さを示すエネルギー

一に相当する。

次に、上述のように求めたアレニウスプロットの傾きを、トラップ深さ（活性化エネルギー）と絶対温度の相関を示すグラフにプロットしたかたちのグラフデータを生成する。こうして生成されるグラフデータが、上記特性図 121 の元になるグラフデータである。

[0075] 以上述べた各々のデータ処理は、熱刺激電流測定装置で行ってもよいし、試料測定結果処理装置 100 で行ってもよい。また、一部のデータ処理を熱刺激電流測定装置で行い、その他のデータ処理を試料測定結果処理装置 100 で行うように振り分けてもよい。

[0076] 表示部 106 に表示する電气的特性図は、上記図 10 に示す特性図 121 に限らず、たとえば、測定データ D_{tsc} をグラフ化した上記図 7 でもよいし、上記図 11 のアレニウスプロットでもよい。また、これ以外にも、たとえば図 12 に示すように、縦軸に単位体積・単位エネルギーあたりのキャリアの数 ($\text{cm}^{-3} \text{ eV}^{-1}$) 又は単位面積・単位エネルギーあたりのキャリアの数 ($\text{cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$)、横軸に活性化エネルギー (eV) をとってグラフ化した特性図であってもよい。この特性図は、上記図 10 に示す特性図 121 のグラフデータを用いて、トラップ深さごとに、当該トラップ深さに捕獲されているキャリアの数を積算することにより得られるものである。

[0077] また、表示部 106 に表示する電气的特性図は、入力操作部 108 を用いたユーザーからの表示切り替え指示にしたがって変更可能な構成としてもよい。たとえば、デフォルトの設定では、上記図 10 に示す特性図 121 を表示し、その後、入力操作部 108 を用いてユーザーが表示切り替え指示を行った場合は、これを受けて表示制御部 107 が表示部 106 の画面に表示する特性図を、たとえば上記図 10～図 12 のいずれかの特性図に変更する構成としてもよい。また、表示部 106 に表示する情報として、図 13 に示すように、ユーザーが指定した測定位置 M_p を測定したときに得られた TXRF スペクトルチャート 122 を表示してもよい。TXRF スペクトルチャート 122 は、TXRF 測定結果の一態様として表示されるものである。また

、図 1 3 において、分布図 1 2 0 に代えて、上記図 5 に示すようなイメージ画像を表示し、このイメージ画像中で指定された測定位置により関連付けられた T X R F 測定結果（たとえば、T X R F スペクトルチャート 1 2 2）と T S C 測定結果（図 1 0 ～図 1 2 のいずれかの特性図）を並べて表示してもよい。

[0078] < 7. 実施の形態の効果 >

本発明の実施の形態によれば、以下のような効果が得られる。

[0079] （第 1 の効果）

全反射蛍光 X 線分析法を適用して得られる T X R F 測定結果と熱刺激電流測定法を適用して得られる T S C 測定結果とを、各々の測定結果に含まれる測定位置により関連付けて統合することにより、試料表面の汚染状態と試料の電気的特性の相関関係を把握することが可能となる。これにより、全反射蛍光 X 線分析法（全反射蛍光 X 線分析装置）と熱刺激電流測定法（熱刺激電流測定装置）の相互補完を実現することができる。すなわち、全反射蛍光 X 線分析法では、半導体ウエハ 3 0 の表面に付着している汚染元素の種類や量は分かるが、それが半導体ウエハ 3 0 の電気的特性にどのような影響を与えるのかは分からない。一方、熱刺激電流測定法では、半導体ウエハ 3 0 の電気的特性は分かるが、それがどのような元素によってもたらされたものであるかは分からない。本実施の形態によれば、全反射蛍光 X 線分析法と熱刺激電流測定法の不足する部分を相互に補完して、試料表面の汚染状態と試料の電気的特性の相関関係を把握することが可能となる。

[0080] （第 2 の効果）

半導体ウエハ 3 0 の表面に設定された 2 つの測定位置に関して、各々の測定位置により関連付けて統合された T X R F 測定結果と T S C 測定結果のうち、T X R F 測定結果によれば、それぞれの測定位置に存在する汚染元素の種類と量が分かり、T S C 測定結果によれば、それぞれの測定位置における半導体ウエハ 3 0 の電気的特性が分かる。その場合、仮に、それぞれの測定位置に存在する汚染元素の種類が同じで、その量が異なるものとする。そう

すると、汚染元素の量の違いが、それぞれの測定位置における半導体ウエハ 30 の電気的特性の違いになって現れる。このため、汚染元素の量の違いが、半導体ウエハ 30 の電気的特性に与える影響の度合いを把握することが可能となる。また仮に、それぞれの測定位置に存在する汚染元素の量は同じで、その種類が異なるものとする。そうすると、汚染元素の種類の違いが、それぞれの測定位置における半導体ウエハ 30 の電気的特性の違いになって現れる。このため、汚染元素の種類の違いが、半導体ウエハ 30 の電気的特性に与える影響の度合いを把握することが可能となる。これにより、たとえば、汚染元素の種類ごとに、プロセス管理上許容される汚染元素の量を求めることができる。

[0081] (第 3 の効果)

従来においては、半導体製造プロセスで何らかの異常が発生し、それが T X R F 測定結果又は T S C 測定結果に現れた場合に、直ちにプロセスを停止する必要があるかどうかの判断には相当の熟練を要している。これに対して、本実施の形態においては、T X R F 測定結果と T S C 測定結果とを統合して解析することにより、プロセス管理の熟練者でなくても、一定の判断基準に基づいてプロセス停止の要否を適切に判断することができる。

[0082] (第 4 の効果)

半導体ウエハ 30 の表面に設定された複数の測定位置のうち、T S C 測定結果に基づいて半導体ウエハ 30 の電気的特性が不良と判断された測定位置が複数存在する場合を想定する。この場合、該当する測定位置に関連付けられた T X R F 測定結果を用いることにより、半導体ウエハ 30 の電気的特性が不良とされる汚染元素の種類や量を統計的に把握することが可能となる。また、こうして把握した情報に基づいて、半導体製造プロセスで許容される汚染元素の量を良否判断の判断基準として設定することができる。これにより、従来のように全反射蛍光 X 線分析法と熱刺激電流測定法でそれぞれ独自に判断基準を設定して半導体製造プロセスを管理していた場合に比べて、製品歩留まりの向上を図ることができる。その理由は、従来の判断基準の適用

により、全反射蛍光X線分析法の測定結果で不良と判断された半導体ウエハ30であっても、本実施の形態による新たな判断基準の適用により、要求品質を満たしたうえで、最終的に良品として製品化されるケースが増えるためである。その結果、半導体製品の歩留まりの向上、ひいては大幅なコストダウンを実現することが可能となる。

[0083] (第5の効果)

一連の半導体製造プロセスの中では、或るプロセスで半導体ウエハ30の表面に付着していた汚染物質が、その後、熱処理によって半導体ウエハ30の内部に拡散する場合がある。この場合、熱処理を行った後のプロセスでは、半導体ウエハ30の表面で汚染物質の存在を確認できなくなる。このような状況においても、熱処理前のプロセスで全反射蛍光X線分析法による測定を行い、熱処理後のプロセスで熱刺激電流測定法による測定を行って、それぞれの測定結果を試料測定結果処理装置100に取り込むことにより、熱処理前に半導体ウエハ30の表面に付着していた汚染物質が電気的特性に与える影響を把握することが可能となる。

[0084] (第6の効果)

TSC測定結果から判明したトラップ深さに相当する活性化エネルギーについて、そのトラップ深さに捕獲されている不純物キャリアの元素が何であるかをTXRF測定結果から把握することができる。これにより、たとえば、その元素がFeやCuなどであることが判明した場合は、上記の活性化エネルギーをFeやCuなどに換算した場合の値を求め、その値をたとえば表示部106に表示出力することができる。より具体的には、たとえば、TXRF測定結果から汚染元素がFeであることが分かった場合は、TSC測定結果に含まれる測定データ（熱刺激電流vs絶対温度）のピーク値をFeの原子に換算することにより、その汚染レベルがたとえば $5 \times 10^9 \text{ atoms/cm}^2$ であることを求めることができる。特に、TSC測定結果から得られるTSCスペクトルにおいては、昇温過程で現れる熱刺激電流のピークの温度が元素ごとに異なるものの、元素によっては近い温度域にピークが現れる

場合がある。そのような場合でも、TXRF測定結果から不純物元素を特定することができれば、その元素に基づいて正確な換算値を求めることができる。

[0085] < 8. 他の実施の形態 >

図14は本発明の他の実施の形態に係る試料測定結果処理装置の構成例を示す図である。図示した試料測定結果処理装置100においては、先述した実施の形態と比較して、測定位置決定部105を備える点が異なる。測定位置決定部105は、第1の取り込み部101で取り込まれた測定結果を用いて、熱刺激電流測定法により測定すべき試料の測定位置を決定するものである。測定位置決定部105は、上述したようにCPUがROMに記憶されたプログラムをRAMに読み出して実行することにより実現される。

[0086] 図15は本発明の実施の形態に係る試料測定結果処理方法を示すフローチャートである。以下、各ステップS11～S16の処理内容について順に説明する。

[0087] (TXRF測定結果の取り込み：S11)

まず、第1の取り込み部101は、半導体ウエハの表面に設定された各々の測定位置(x, y)に関して、全反射蛍光X線分析法によって測定された半導体ウエハの測定データD_{txrf}と測定位置(x, y)とを対応付けたTXRF測定結果を取り込む。このとき、主制御部109は、第1の取り込み部101が取り込んだTXRF測定結果を記憶部103に記憶する。

[0088] (TSC測定位置の決定：S12)

次に、測定位置決定部105は、先に取り込んだTXRF測定結果を用いて、熱刺激電流測定法によって測定すべき半導体ウエハの測定位置を決定する。具体的には、たとえば、全反射蛍光X線分析法によって得られた各測定位置(x, y)に対応する測定データD_{txrf}のうち、汚染物質の量があらかじめ設定された閾値を超えている測定位置(x, y)を、熱刺激電流測定法で測定すべき位置として決定する。閾値は、半導体ウエハ30の良否判定用に設定されてものでもよいし、半導体製造プロセス管理用に設定されたもの

でもよい。また、閾値は、すべての汚染元素に共通に適用するものとして設定してもよいし、汚染元素の種類ごとに設定してもよい。

[0089] (TSC測定位置の出力：S13)

次に、主制御部109は、先ほど測定位置決定部105が決定した熱刺激電流測定法の測定位置を熱刺激電流測定装置9に対して出力する。具体的には、熱刺激電流測定法によって測定すべき測定位置を示す座標データを、たとえば、有線又は無線による通信によって熱刺激電流測定装置9に出力する。

これにより、試料測定結果処理装置100から出力された座標データを受け取った熱刺激電流測定装置9においては、その座標データが示す測定位置のみを対象に半導体ウエハの熱刺激電流測定を行う。

[0090] (TSC測定結果の取り込み：S14)

次に、第2の取り込み部102は、半導体ウエハの表面に設定された各々の測定位置(x, y)のうち、実際に熱刺激電流測定装置9で測定の対象とした測定位置(x, y)に関して、熱刺激電流測定法によって測定された半導体ウエハの測定データD_{tsc}と測定位置(x, y)とを対応付けたTSC測定結果を取り込む。これにより、測定位置決定部105が決定した測定位置(x, y)についてのみ、TSC測定結果が取り込まれる。このとき、主制御部109は、第2の取り込み部102が取り込んだTSC測定結果を記憶部103に記憶する。

[0091] (測定結果の統合：S15)

次に、統合部104は、第1の取り込み部101によって取り込まれたTXRF測定結果と第2の取り込み部102によって取り込まれたTSC測定結果とを、各々の測定結果に含まれる測定位置(x, y)により関連付けて統合する。この場合、測定位置(x, y)によっては記憶部103にTSC測定結果が記憶されていない。このため、記憶部103に記憶されているTSC測定結果についてのみ、TXRF測定結果との統合が行われる。

[0092] (表示：S16)

次に、表示制御部 107 は、デフォルトで設定されている表示形式にしたがって表示部 106 の画面に所定の情報を表示させる。この場合、先述した T X R F 測定結果と T S C 測定結果との統合は、記憶部 103 に T S C 測定結果が記憶されているものについてのみ行われているため、上記図 10 の左側に示す分布図 120 でユーザーが指定した測定位置 M p によっては、図中の右側に特性図 121 が表示されないことがある。

[0093] < 9. 他の実施の形態の効果 >

本発明の他の実施の形態によれば、全反射蛍光 X 線分析法によって得られた T X R F 測定結果を用いて、熱刺激電流測定法によって測定すべき半導体ウエハ 30 の測定位置を決定し、決定した測定位置のみを対象に熱刺激電流測定法によって半導体ウエハ 30 の測定を行う。このため、すべての測定位置を対象に熱刺激電流測定法による測定を行う場合に比べて、測定時間の短縮とデータ処理時間の短縮を図ることができる。

[0094] なお、ここでは全反射蛍光 X 線分析法による測定を先に実施し、その測定結果に用いて、熱刺激電流測定法によって測定すべき測定位置を決定する場合について説明したが、これとは逆の手順を採用してもよい。具体的には、熱刺激電流測定法による測定を先に実施し、その測定結果を用いて、全反射蛍光 X 線分析法によって測定すべき測定位置を決定してもよい。その場合、測定位置決定部 105 は、全反射蛍光 X 線分析装置 1 によって T X R F 測定結果を用いて、全反射蛍光 X 線分析法によって測定すべき測定位置を決定し、その測定位置を示す座標データを全反射蛍光 X 線分析装置 1 に対して出力することになる。

[0095] < 10. 変形例等 >

本発明の技術的範囲は上述した実施の形態に限定されるものではなく、発明の構成要件やその組み合わせによって得られる特定の効果を導き出せる範囲において、種々の変更や改良を加えた形態も含む。以下、代表的な変形例を記述する。

[0096] 全反射蛍光 X 線分析装置 1 及び熱刺激電流測定装置 9 においてそれぞれ試

料とする半導体ウエハ30は、一連の半導体製造プロセスのなかで、同じプロセスで抜き取られたものでもよいし、異なるプロセスで抜き取られたものでもよい。また、試料は、半導体ウエハ30などの基板に限らず、全反射蛍光X線分析法による測定が可能な平面（鏡面に仕上げられた面）を有するものであればよい。

[0097] 試料測定結果処理装置100が測定結果の取り込みを行う全反射蛍光X線分析装置1や熱刺激電流測定装置9は、それぞれ1台に限らず、複数台であってもよい。その場合、いずれのプロセスで抜き取られた試料（半導体ウエハ）の測定結果を表示部106に表示させるかを、入力操作部108を用いてユーザーに任意に選択させてもよい。また、具体的な事例として、或るプロセスに全反射蛍光X線分析装置1を設置し、その後の複数の異なるプロセスにそれぞれ熱刺激電流測定装置9を設置して、全反射蛍光X線分析装置1のTXRF測定結果と複数台分の熱刺激電流測定装置9のTSC測定結果を取り込んでもよい。その場合は、全反射蛍光X線分析装置1で測定したTXRF測定結果が、その後のプロセスにおいて半導体ウエハ30の電気的特性にどのような影響を与えるか、さらには、その影響の度合いがプロセスの進行によってどのように変移しているのかを確認することが可能となる。

[0098] 上記実施の形態においては、試料となる半導体ウエハ30の表面を複数の測定位置に区分する場合に、全反射蛍光X線分析法と熱刺激電流測定法の双方において、同じ座標系を用いて、同じ大きさで測定位置を区分する場合を想定したが、本発明はこれに限らない。たとえば、全反射蛍光X線分析法と熱刺激電流測定法のうち、一方の方法は直交座標（XY座標）を用いて測定位置を区分し、他方の方法は極座標を用いて測定位置を区分してもよい。また、全反射蛍光X線分析法と熱刺激電流測定法で、異なる大きさで測定位置を区分してもよい。ただし、いずれの場合であっても、全反射蛍光X線分析法で測定対象とした測定位置と、熱刺激電流測定法で測定対象とした測定位置とを、座標変換や測定位置の重ね合わせなどによって正確に対応付ける必要がある。

- [0099] 全反射蛍光X線分析法で測定する汚染物質は、金属に限らず、有機物、無機物、自然酸化物などであってもよい。
- [0100] 表示部106の画面にTXRF測定結果とTSC測定結果と一緒に表示する場合の表示形態は、種々の変更が可能である。たとえば、それぞれの測定結果（測定データ）を重ねて表示してもよい。また、全反射蛍光X線分析装置1の検出器7の検出結果に基づいて汚染元素を定量分析する分析器を、全反射蛍光X線分析装置1又は試料測定結果処理装置100に設け、ユーザーが指定した測定位置に関する当該分析結果を具体的な数値として表示部106の画面の中に表示してもよい。
- [0101] 試料測定結果処理装置の付加的な構成として、TXRF測定結果とTSC測定結果に加えて、図示しない異物検査装置の検査結果を取り込む第3の取り込み手段を設けてもよい。そして、半導体ウエハ表面のイメージ画像においてユーザーが指定した測定位置での異物検査結果を、デフォルトの設定で、又は必要に応じて、表示部106の画面に表示する構成を採用してもよい。

符号の説明

- [0102] 1…全反射蛍光X線分析装置
9…熱刺激電流測定装置
30…半導体ウエハ（試料）
100…試料測定結果処理装置
101…第1の取り込み部
102…第2の取り込み部
103…記憶部
104…統合部
105…測定位置決定部
106…表示部
107…表示制御部
108…入力操作部

1 0 9 …主制御部

請求の範囲

[請求項1] 試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、全反射蛍光X線分析法により測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第1の測定結果を取り込む第1の取り込み手段と、

前記試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、熱刺激電流測定法により測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第2の測定結果を取り込む第2の取り込み手段と、

前記第1の取り込み手段によって取り込まれた前記第1の測定結果と前記第2の取り込み手段によって取り込まれた前記第2の測定結果とを、各々の測定結果に含まれる前記測定位置により関連付けて統合する統合手段と、

を備えることを特徴とする試料測定結果処理装置。

[請求項2] 前記試料の表面のイメージ画像を表示するとともに、前記イメージ画像中の一つの測定位置に関して、当該測定位置により関連付けられた前記第1の測定結果と前記第2の測定結果を表示する表示手段をさらに備える

ことを特徴とする請求項1に記載の試料測定結果処理装置。

[請求項3] 前記試料の表面のイメージ画像は、前記第1の測定結果を反映させた前記試料表面の汚染状態の分布図であり、

前記表示手段は、前記分布図でユーザーが任意に指定した測定位置に対応する前記第2の測定結果を反映させた前記試料の電気的特性を示す特性図を前記分布図と一緒に表示する

ことを特徴とする請求項2に記載の試料測定結果処理装置。

[請求項4] 試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、全反射蛍光X線分析法及び熱刺激電流測定法のうち、一方の方法によって測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた

第 1 の測定結果を取り込む第 1 の取り込みステップと、

前記全反射蛍光 X 線分析法及び前記熱刺激電流測定法のうち、他方の方法によって測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第 2 の測定結果を取り込む第 2 の取り込みステップと、

前記第 1 の取り込みステップで取り込んだ前記第 1 の測定結果と前記第 2 の取り込みステップで取り込んだ前記第 2 の測定結果とを、各々の測定結果に含まれる前記測定位置により関連付けて統合する統合ステップと、

を備えることを特徴とする試料測定結果処理方法。

[請求項5]

前記第 1 の取り込みステップで取り込まれた前記第 1 の測定結果を用いて、前記他方の方法によって測定すべき前記試料の測定位置を決定する位置決定ステップを含み、

前記第 2 の取り込みステップでは、前記位置決定ステップで決定された測定位置を対象に前記他方の方法によって前記試料を測定して得られた測定結果を取り込む

ことを特徴とする請求項 4 に記載の試料測定結果処理方法。

[請求項6]

コンピュータを、

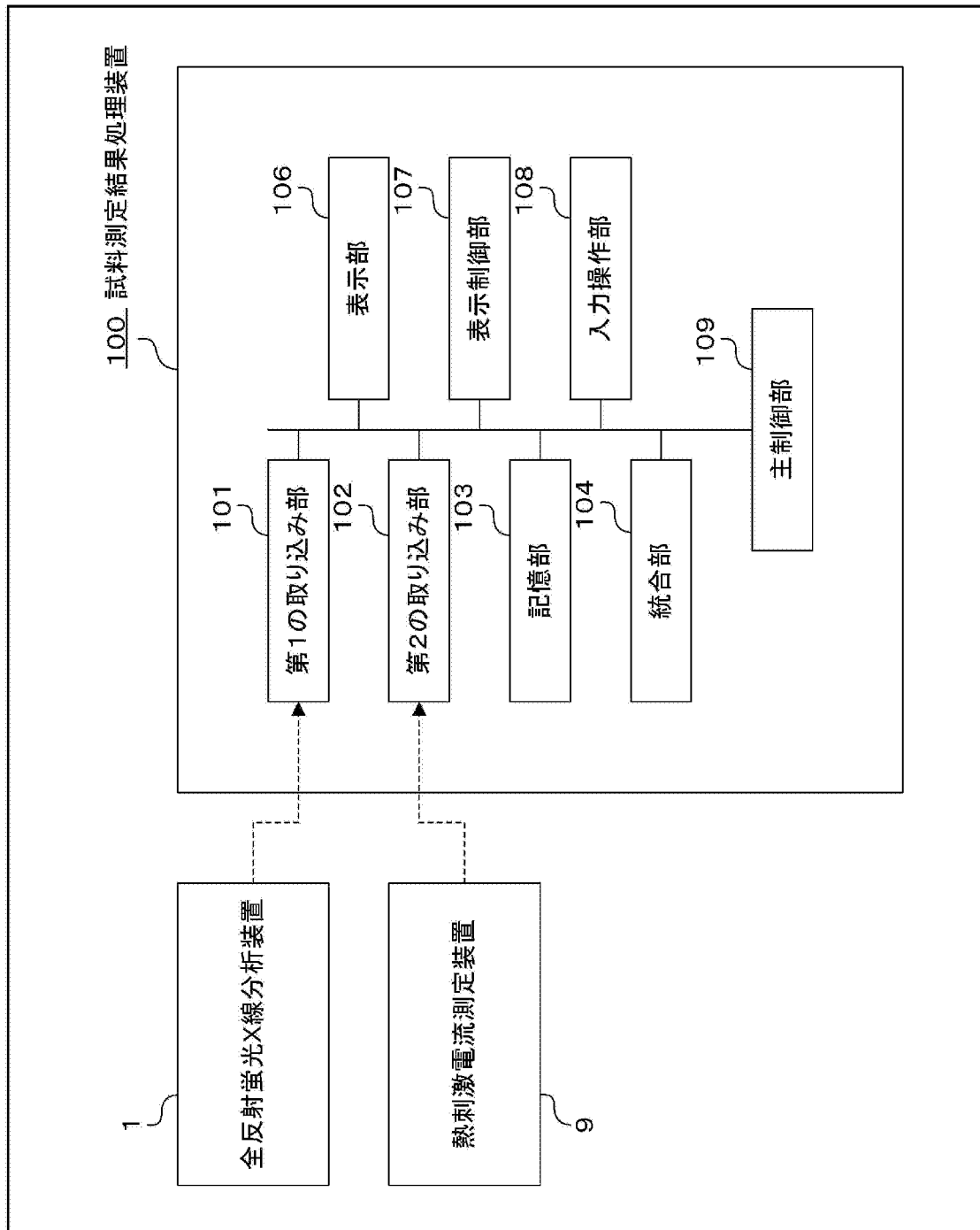
試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、全反射蛍光 X 線分析法により測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第 1 の測定結果を取り込む第 1 の取り込み手段、

前記試料の表面を複数の測定位置に区分し、各々の測定位置に関して、熱刺激電流測定法により測定された前記試料の測定データと前記測定位置とを対応付けた第 2 の測定結果を取り込む第 2 の取り込み手段、

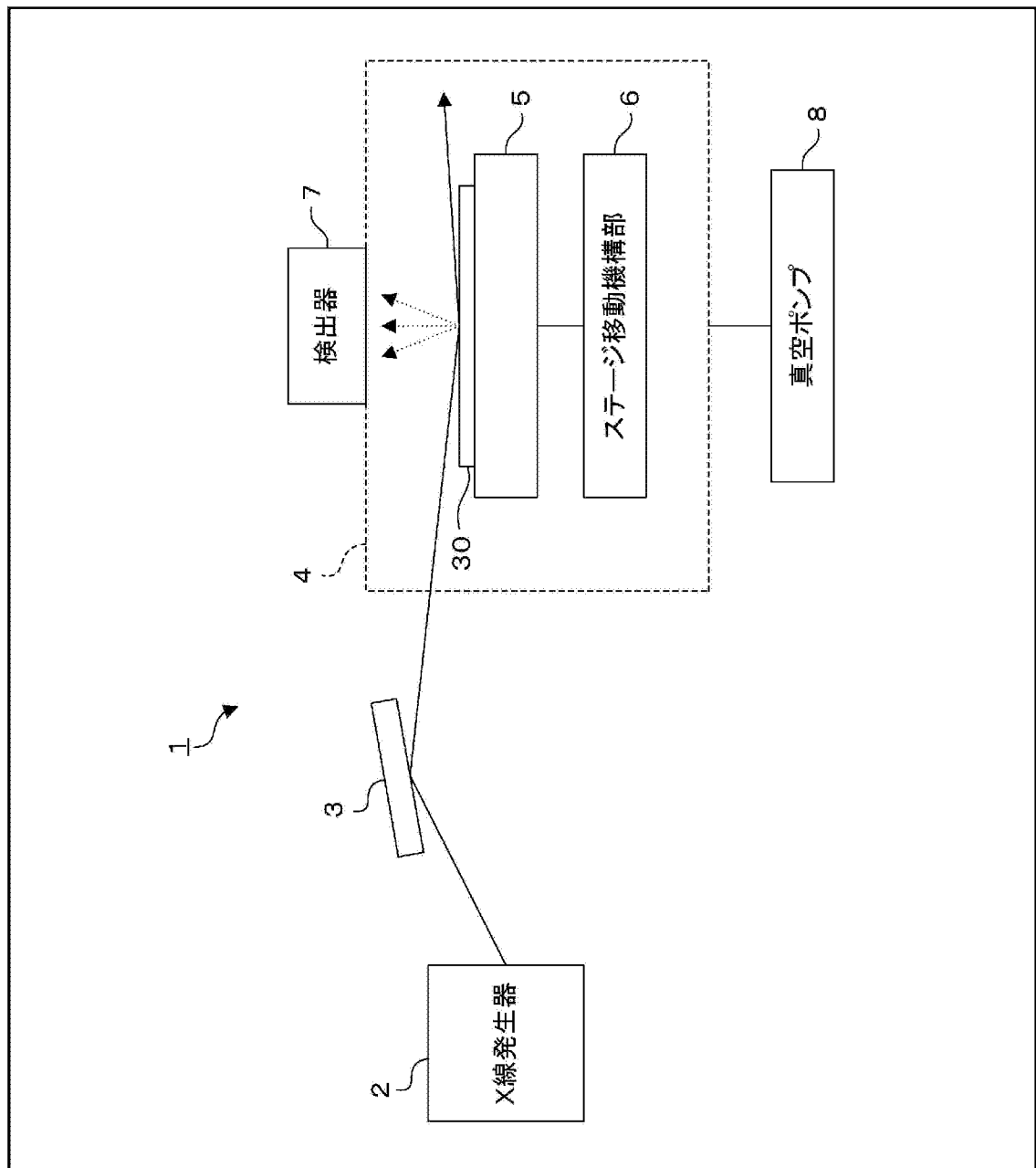
前記第 1 の取り込み手段によって取り込まれた前記第 1 の測定結果と前記第 2 の取り込み手段によって取り込まれた前記第 2 の測定結果とを、各々の測定結果に含まれる前記測定位置により関連付けて統合

する統合手段、
として機能させることを特徴とするプログラム。

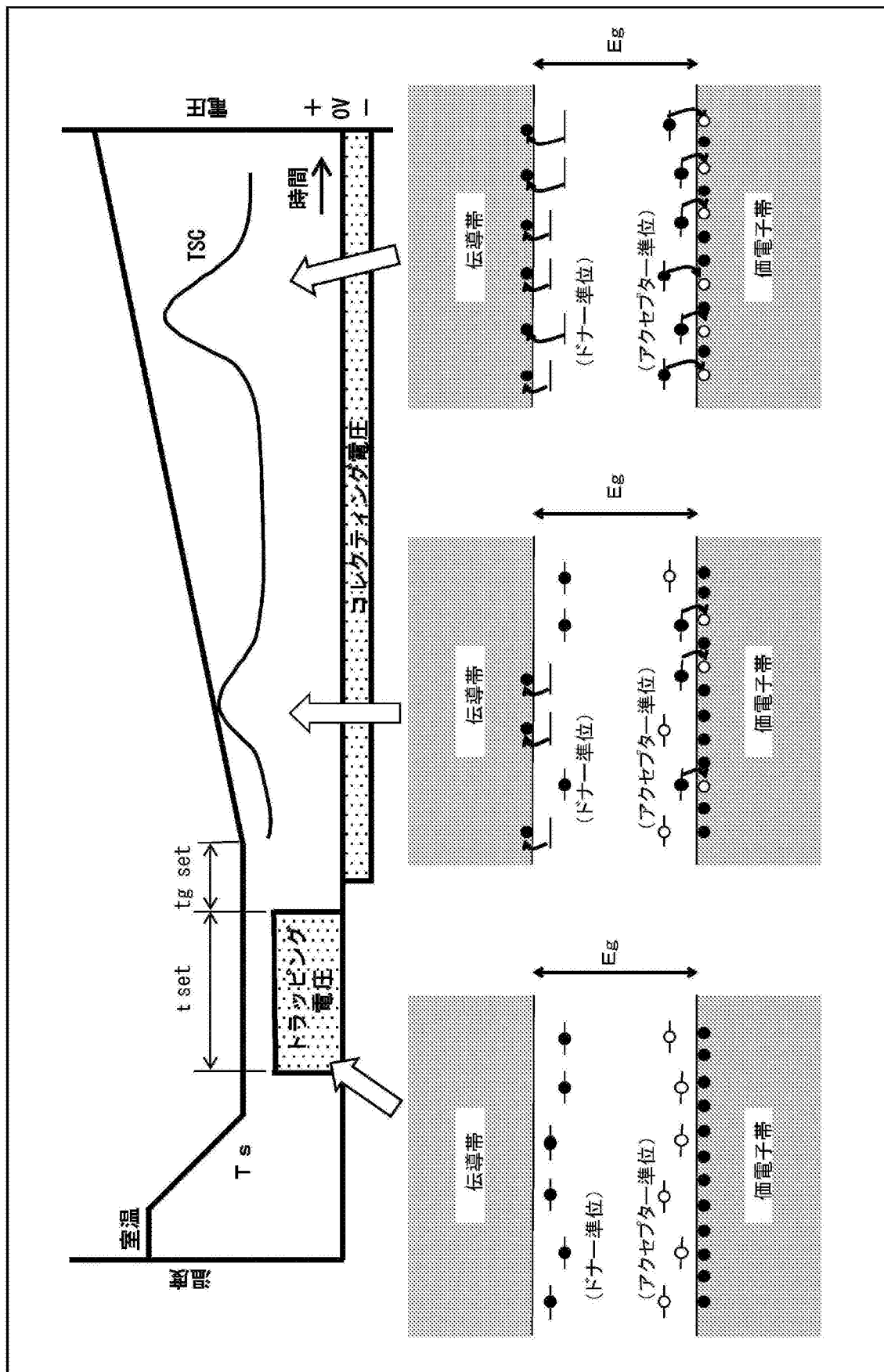
[図1]



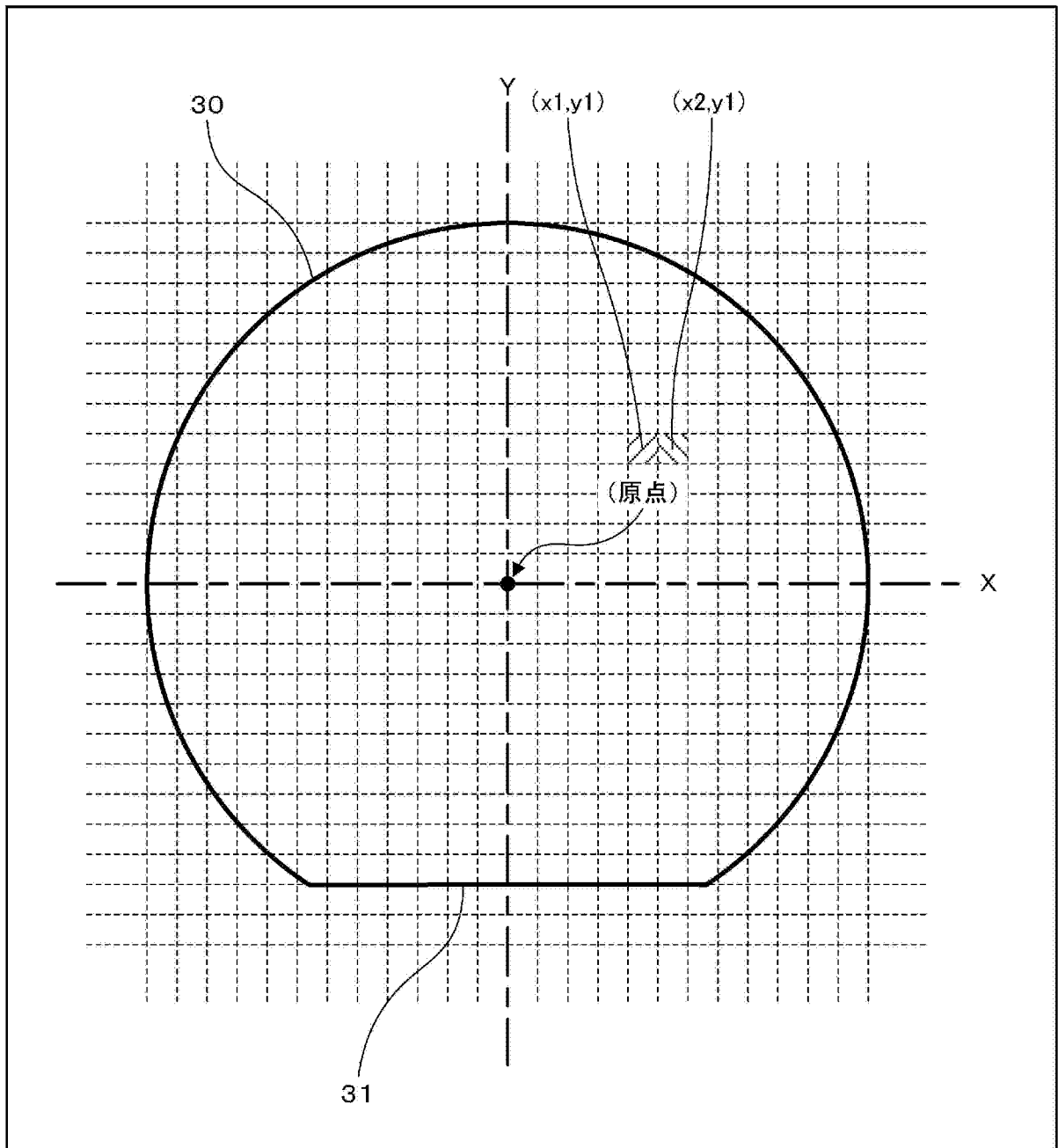
[図2]



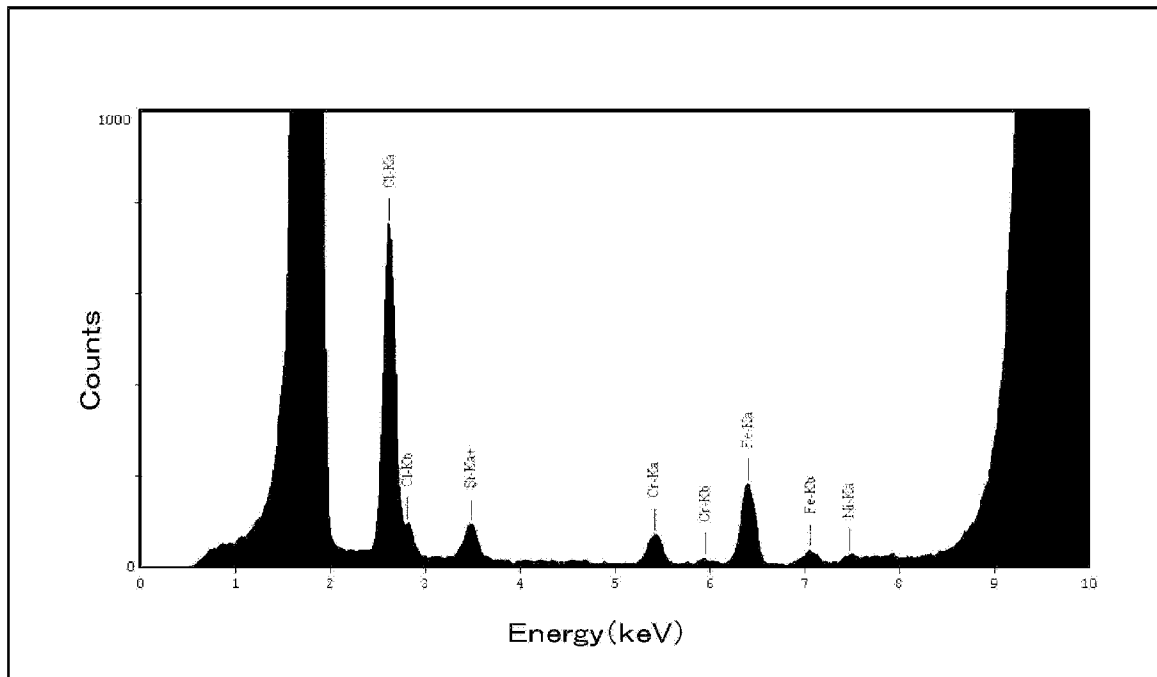
[図4]



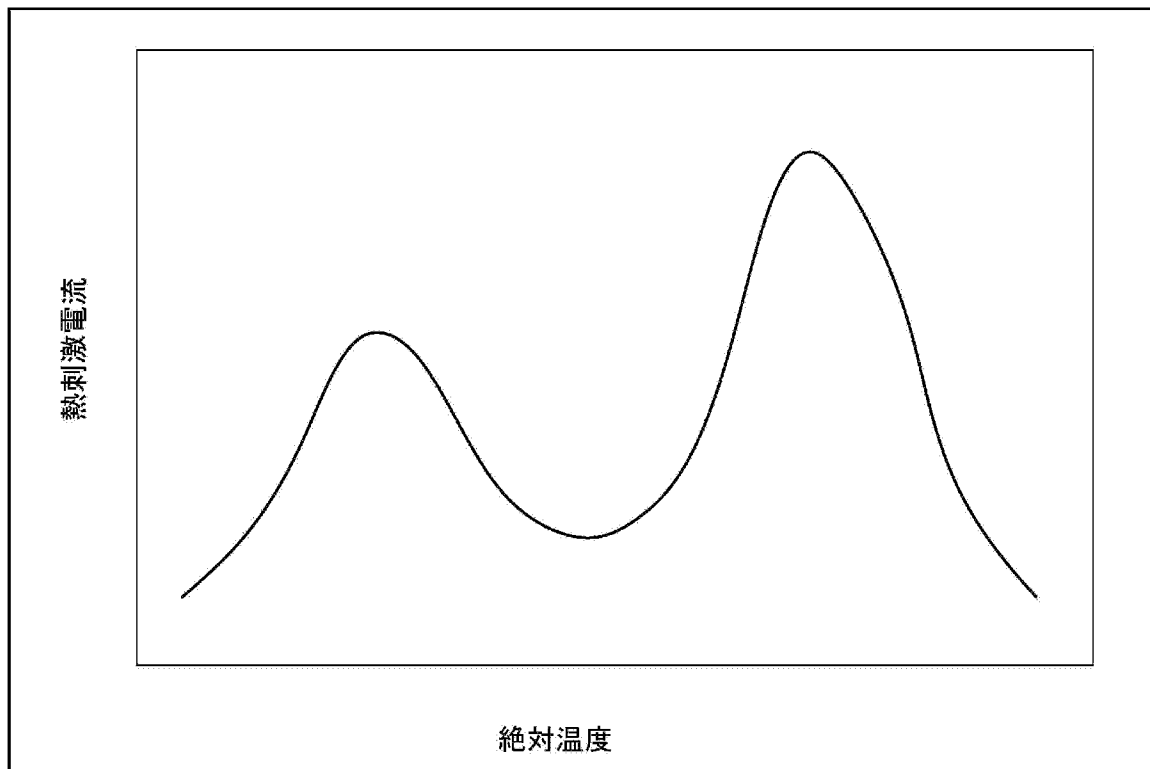
[図5]



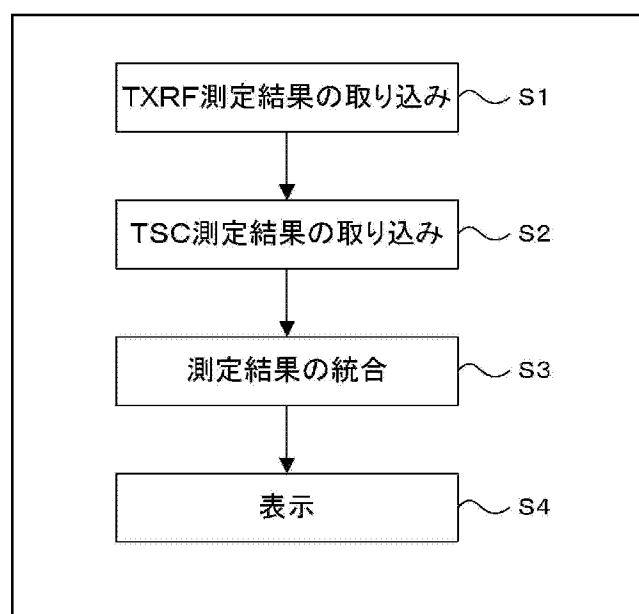
[図6]



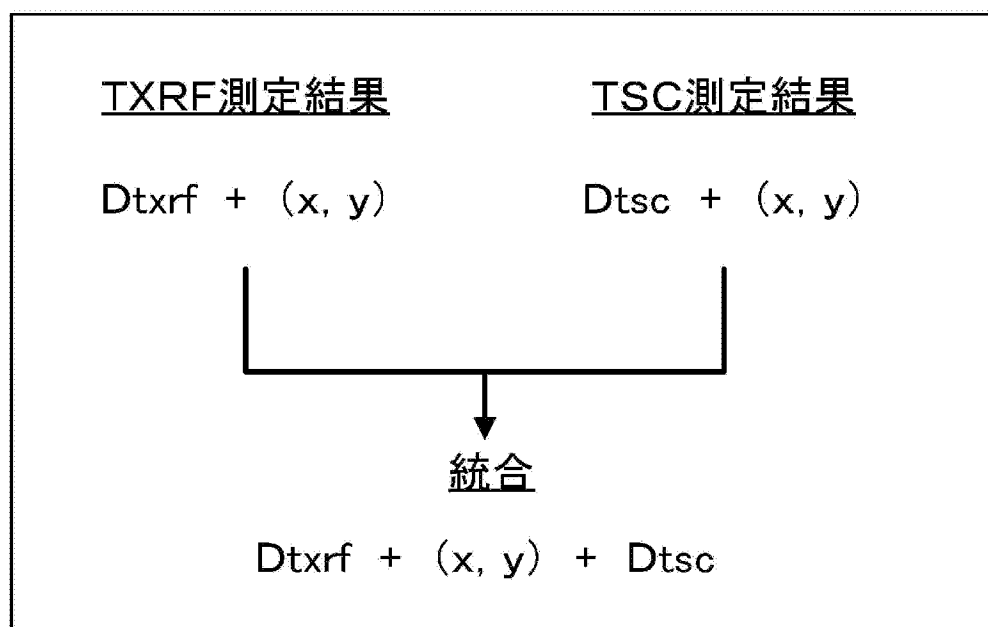
[図7]



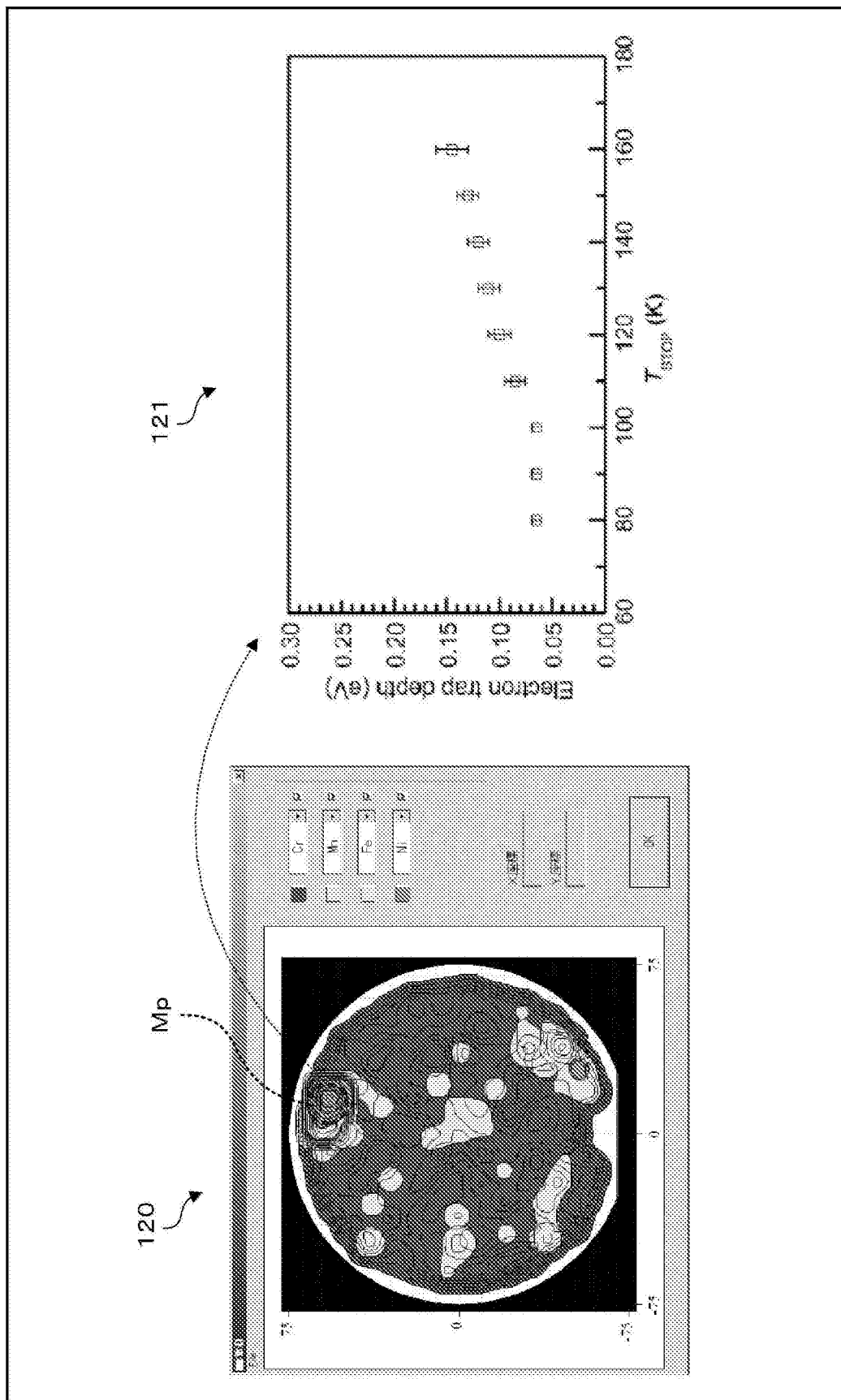
[図8]



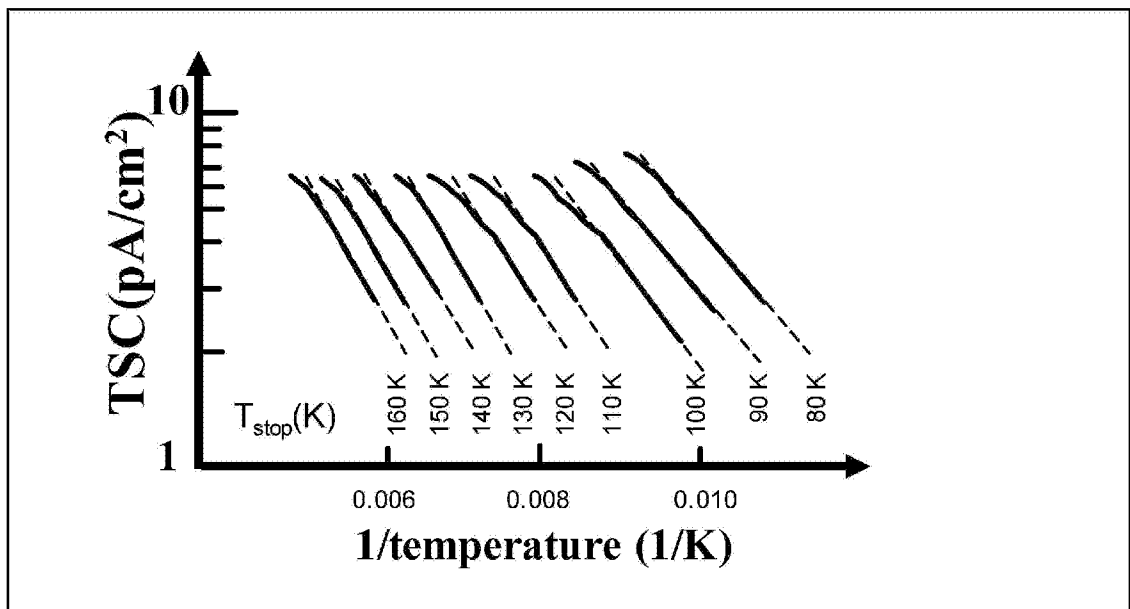
[図9]



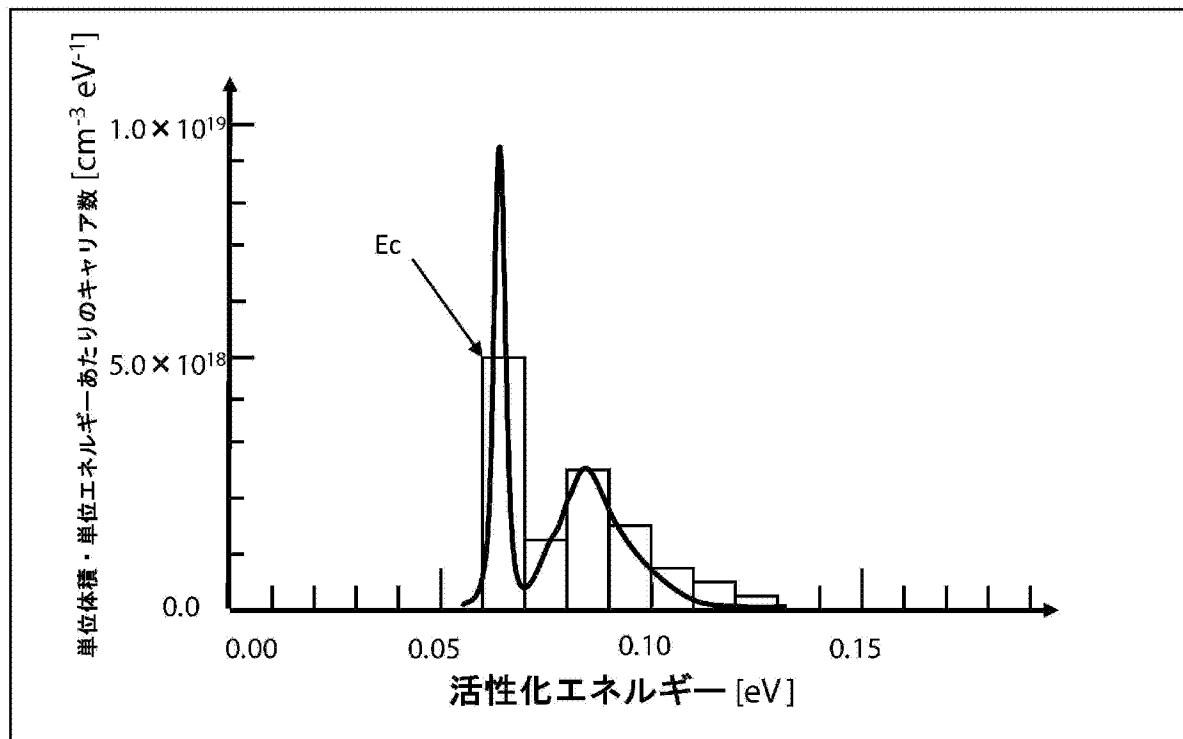
[図10]



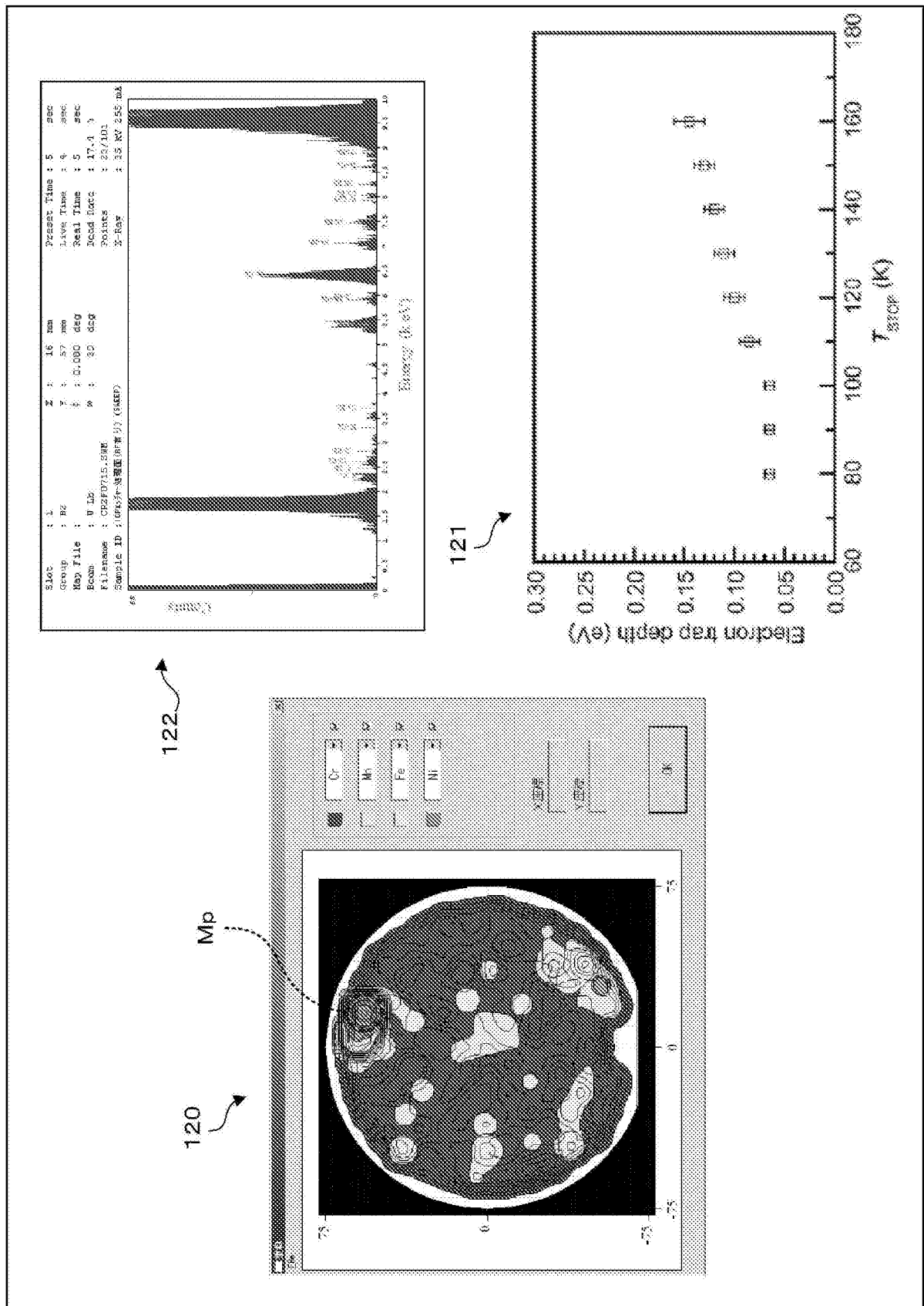
[図11]



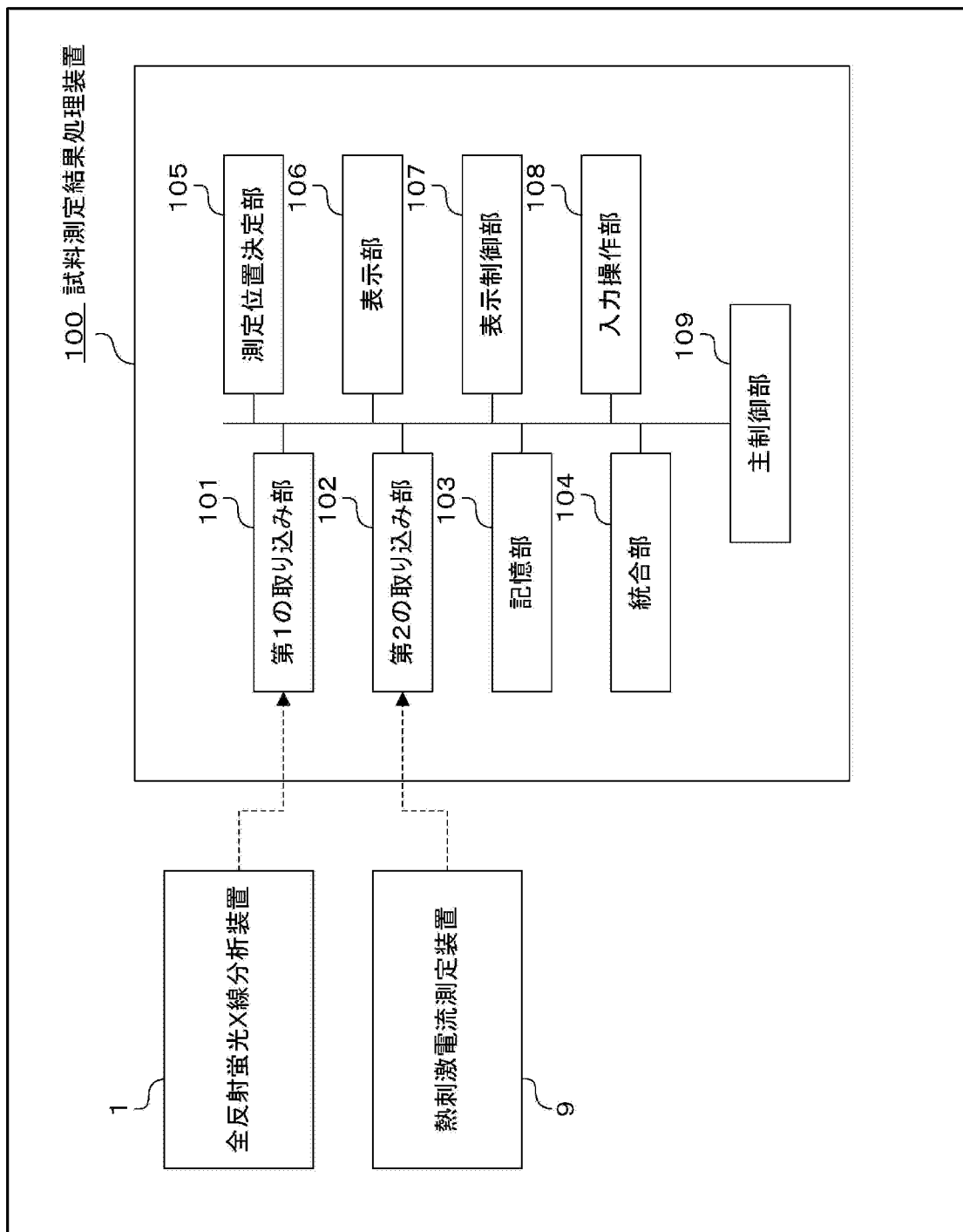
[図12]



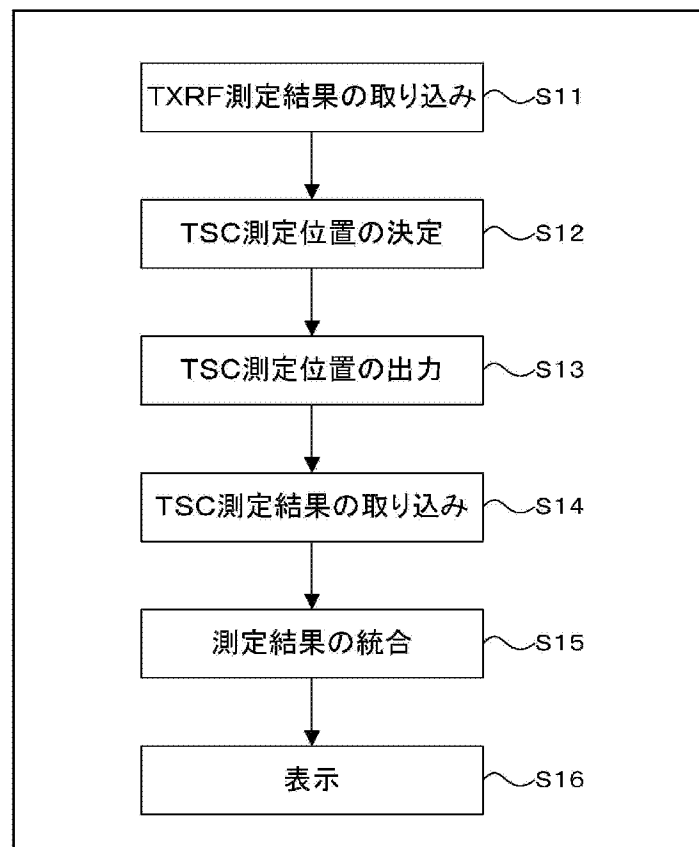
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/057693

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N23/223(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)

G01N23/223

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

JSTPlus(JDreamIII), CiNii

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-316201 A (Rigaku Industrial Co.), 16 November 1999 (16.11.1999), paragraphs [0025] to [0041]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-6
A	Yoshiaki MATSUSHITA, "Zenhansha Keiko X-sen Bunseki (TRXRF)", Oyo Butsuri, 10 November 1991 (10.11.1991), vol.60, no.11, pages 1141 to 1142	1-6
A	Shigeyoshi MAETA, Mitsuhiro TANAKA, Akihiro TSURU, "Proposal of The Slope Estimation Method to Evaluate the Energy Depth of Carrier Trap Utilizing A Slope of Thermally Stimulated Current Curve", The Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan A, 20 April 1991 (20.04.1991), vol.111-A, no.4, pages 332 to 340	1-6

☐ 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
04 April, 2014 (04.04.14)

Date of mailing of the international search report
15 April, 2014 (15.04.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N23/223 (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. G01N23/223

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

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

JSTPlus (JDreamIII)
CiNii

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 11-316201 A（理学電機工業株式会社）1999. 11. 16, [0025]-[0041], 第 1-5 図（ファミリーなし）	1-6
A	松下 嘉明, 「全反射蛍光 X 線分析 (TRXRF)」, 応用物理, 1991. 11. 10, Vol. 60, No. 11, p. 1141-1142	1-6
A	前田 成欣, 田中 光浩, 津留 哲浩, 「熱刺激電流の傾斜を利用して キャリヤトラップのエネルギー深さを評価する傾斜法の提案」, 電 気学会論文誌 A, 1991. 04. 20, Vol. 111-A, No. 4, p. 332-340	1-6

☐ 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

0 4 . 0 4 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 4 . 2 0 1 4

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）

藤田 都志行

2 W

3 0 1 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2