

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02016/056109

発行日 平成29年7月27日 (2017. 7. 27)

(43) 国際公開日 平成28年4月14日 (2016. 4. 14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 25/72 (2006.01)	GO 1 N 25/72	G 2 G O 4 O
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66	T 4 M 1 O 6
	HO 1 L 21/66	S

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 16 頁)

出願番号 特願2016-552773 (P2016-552773)	(71) 出願人 000236436 浜松ホトニクス株式会社 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(21) 国際出願番号 PCT/JP2014/077098	(74) 代理人 100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(22) 国際出願日 平成26年10月9日 (2014. 10. 9)	(74) 代理人 100113435 弁理士 黒木 義樹
(81) 指定国 AP (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP (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), OA (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US	(74) 代理人 100140442 弁理士 柴山 健一
	(72) 発明者 中村 共則 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

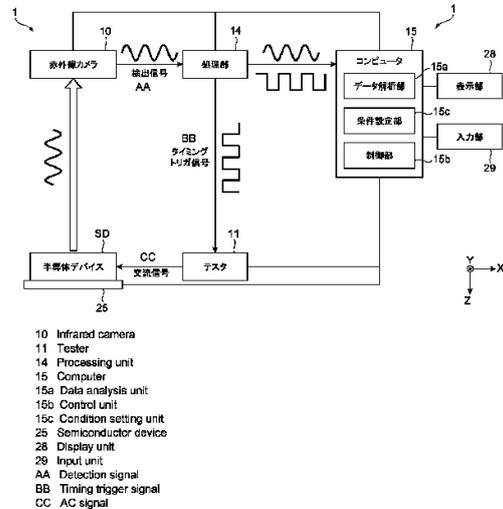
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 解析装置及び解析方法

(57) 【要約】

故障箇所に対応した熱源位置を特定することができる装置及び方法を提供する。

本発明に係る解析装置は、半導体デバイスの熱源位置を特定する解析装置であって、半導体デバイスに交流信号を印加するテストと、交流信号に応じた半導体デバイスからの光を検出し、検出信号を出力する赤外線カメラと、検出信号に基づいて熱源位置を特定するデータ解析部と、を備える。



- 10 Infrared camera
- 11 Tester
- 14 Processing unit
- 15 Computer
- 15a Data analysis unit
- 15b Control unit
- 15c Condition setting unit
- 25 Semiconductor device
- 28 Display unit
- 29 Input unit
- AA Detection signal
- BB Timing trigger signal
- CC AC signal

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

計測対象物の内部の熱源位置を特定する解析装置であって、
前記計測対象物に交流信号を印加する印加部と、
前記交流信号に応じた前記計測対象物からの光を検出し、検出信号を出力する光検出部と、
前記検出信号に基づいて前記熱源位置を特定する解析部と、を備える解析装置。

【請求項 2】

前記印加部は、所定のロックイン周期のトリガ信号に応じて前記交流信号を印加し、前記ロックイン周期のオフ期間には前記ロックイン周期のオン期間よりも小さい振幅の前記交流信号を印加する、請求項 1 記載の解析装置。

10

【請求項 3】

前記印加部は、前記ロックイン周期のオフ期間において、前記交流信号の振幅を 0 とする、請求項 2 記載の解析装置。

【請求項 4】

前記印加部は、複数の前記ロックイン周期の前記交流信号が積算された際に、前記交流信号の振幅が相殺されるように、前記ロックイン周期毎に前記交流信号の位相を変動させる、請求項 2 又は 3 記載の解析装置。

【請求項 5】

前記印加部は、前記交流信号の周波数を前記トリガ信号の周波数よりも高くする、請求項 2 ~ 4 のいずれか一項記載の解析装置。

20

【請求項 6】

前記解析部は、前記トリガ信号に対する前記検出信号の位相遅延量を導出することにより前記熱源位置を特定する、請求項 2 ~ 5 のいずれか一項記載の解析装置。

【請求項 7】

前記光検出部は、前記計測対象物からの光として前記熱源からの赤外線を検出する赤外線カメラである、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項記載の解析装置。

【請求項 8】

前記計測対象物に対して計測点を設定する設定部と、
前記計測対象物に光を照射する光照射部と、を更に備え、
前記光検出部は、前記計測対象物からの光として、前記光照射部からの光の照射に応じて前記計測点で反射された光を検出する光検出器である、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項記載の解析装置。

30

【請求項 9】

計測対象物の内部の熱源位置を特定する解析方法であって、
前記計測対象物に交流信号を印加する工程と、
前記交流信号に応じた前記計測対象物からの光を検出し、検出信号を出力する工程と、
前記検出信号に基づいて前記熱源位置を特定する工程と、を含む解析方法。

【請求項 10】

前記印加する工程では、所定のロックイン周期のトリガ信号に応じて前記交流信号を印加し、前記ロックイン周期のオフ期間には前記ロックイン周期のオン期間よりも小さい振幅の前記交流信号を印加する、請求項 9 記載の解析方法。

40

【請求項 11】

前記印加する工程では、前記ロックイン周期のオフ期間において、前記交流信号の振幅を 0 とする、請求項 10 記載の解析方法。

【請求項 12】

前記印加する工程では、複数の前記ロックイン周期の前記交流信号が積算された際に、前記交流信号の振幅が相殺されるように、前記ロックイン周期毎に前記交流信号の位相を変動させる、請求項 10 又は 11 記載の解析方法。

【請求項 13】

50

前記印加する工程では、前記交流信号の周波数を前記トリガ信号の周波数よりも高くする、請求項 10 ~ 12 のいずれか一項記載の解析方法。

【請求項 14】

前記特定する工程では、前記トリガ信号に対する前記検出信号の位相遅延量を導出することにより前記熱源位置を特定する、請求項 10 ~ 13 のいずれか一項記載の解析方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、計測対象物の内部に発生した熱源の位置を特定する装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、計測対象物の故障個所を解析する装置として、計測対象物の熱源の位置を解析する装置が知られている（例えば特許文献 1 参照）。特許文献 1 の装置は、変調電流の印加により故障個所に熱源が発生することを利用して、計測対象物に変調電流を印加するとともに、該計測対象物内部の熱源から発生する発熱を赤外線カメラにより計測し、熱源（故障個所）の位置を解析している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2013-526723 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ここで、計測対象物に複数種類の金属が含まれている場合には、計測対象物に変調電流が印加されると、ペルチェ効果により金属間で熱の移動（吸収又は放出）が起こる。これにより、実際の故障個所とは異なる位置に熱源からの熱が移動してしまい、故障個所に対応した熱源の位置を高精度に特定できないおそれがある。

【0005】

そこで本発明は、故障個所に対応した熱源位置を特定することができる解析装置及び解析方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の解析装置は、計測対象物の内部の熱源位置を特定する解析装置であって、計測対象物に交流信号を印加する印加部と、交流信号に応じた計測対象物からの光を検出し、検出信号を出力する光検出部と、検出信号に基づいて熱源位置を特定する解析部と、を備える。

【0007】

本発明の解析方法は、計測対象物の内部の熱源位置を特定する解析方法であって、計測対象物に交流信号を印加する工程と、交流信号に応じた計測対象物からの光を検出し、検出信号を出力する工程と、検出信号に基づいて熱源位置を特定する工程と、を含む。

【0008】

この解析装置及び解析方法では、計測対象物に交流信号が印加され、該交流信号に応じた計測対象物からの光が検出される。計測対象物に故障個所がある場合、計測対象物に変調電流が印加されることによって該故障個所に熱源が発生する。熱源が発生した箇所が、異なる金属の接合面付近である場合には、ペルチェ効果により異なる金属間で熱の移動が起こり、故障個所とは異なる位置に熱源からの熱が移動してしまうおそれがある。この点、本発明では、計測対象物に交流信号が印加されるので、計測対象物に印加される電流の向きが周期的に変化する（反対向きに入れ替わる）。より具体的には、交流信号は半導体デバイス SD の基準電圧に対して双方に流れる電流量が等しくなるように調整されているため、ペルチェ効果の影響が相殺され、故障個所と異なる位置に熱源からの熱が移動して

10

20

30

40

50

しまう事態を抑制することができる。そして、計測対象物からの光は熱源位置に応じて変化するため、当該光に基づいて熱源位置を解析することにより、故障個所に対応した熱源位置の特定を適切に行うことができる。

【0009】

また、本発明の解析装置及び解析方法では、所定のロックイン周期のトリガ信号に応じて交流信号を印加し、ロックイン周期のオフ期間にはロックイン周期のオン期間よりも小さい振幅の交流信号を印加してもよい。ロックイン周期のオフ期間における交流信号の振幅を小さくすることによって、ロックイン計測を適切に行うことができる。

【0010】

また、本発明の解析装置及び解析方法では、ロックイン周期のオフ期間において、交流信号の振幅を0としてもよい。これにより、ロックイン計測をより適切に行うことができる。

10

【0011】

また、本発明の解析装置及び解析方法では、複数のロックイン周期の交流信号が積算された際に、交流信号の振幅が相殺されるように、ロックイン周期毎に交流信号の位相を変動させてもよい。これにより、積算された交流信号により熱源位置の解析結果が影響される事態を抑制することができる。

【0012】

また、本発明の解析装置及び解析方法では、交流信号の周波数をトリガ信号の周波数よりも高くしてもよい。交流信号の周波数を高くすることにより、計測対象物に印加される電流の向きが頻繁に入れ替わることとなり、ペルチェ効果によって熱源からの熱が移動する事態をより抑制できる。

20

【0013】

また、本発明の解析装置及び解析方法では、トリガ信号に対する検出信号の位相遅延量を導出することにより熱源位置を特定してもよい。トリガ信号に対する検出信号の位相遅延量は、計測対象物からの光に応じて変化する。このため、検出信号の位相遅延量を導出することによって熱源位置を特定することができる。位相遅延量の導出は簡易に行うことができ、また、位相遅延量と計測対象物からの光とは密接な対応関係にあるため、検出信号の位相遅延量を導出することにより簡易且つ高精度に熱源位置を特定することができる。

30

【0014】

また、本発明の解析装置では、光検出部が、計測対象物からの光として熱源からの赤外線を検出する赤外線カメラであってもよい。赤外線カメラを用いることによって、簡易な構成により適切に光（赤外線）を検出することができる。

【0015】

また、本発明の解析装置では、計測対象物に対して計測点を設定する設定部と、計測対象物に光を照射する光照射部と、を更に備え、光検出部が、計測対象物からの光として、光照射部からの光の照射に応じて計測点で反射された光を検出する光検出器であってもよい。光検出器を用いることによって、時間分解能を向上させることができ、計測対象物の内部における熱源位置の特定をより高精度に行うことができる。

40

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、故障個所に対応した熱源位置を解析することができる解析装置及び解析方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の第1実施形態に係る解析装置の構成図である。

【図2】タイミングトリガ信号の波形を示す図である。

【図3】交流信号の波形の一例を示す図である。

【図4】交流信号の波形の一例を示す図である。

50

【図5】ロックイン計測に不備が出る交流信号の波形の一例を示す図である。

【図6】ペルチェ効果による熱源移動が発生する半導体デバイスの例を示す図である。

【図7】本発明の第2実施形態に係る解析装置の構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

【0019】

[第1実施形態]

図1に示すように、第1実施形態に係る解析装置1は、被検査デバイス(DUT: Device Under Test)である半導体デバイスSD(計測対象物)などの内部の熱源位置を特定する解析装置である。熱源とは半導体デバイスSD内部の発熱箇所である。半導体デバイスSDに信号が印加された際に半導体デバイスSD内部に例えば短絡(ショート)箇所などがあると、当該ショート箇所が発熱し熱源となる。すなわち、解析装置1は、熱源位置を特定することにより半導体デバイスSD内部のショート箇所などの異常を解析する故障解析装置である。

10

【0020】

被検査デバイスとしては、例えば、トランジスタ等のPNジャンクションを有する集積回路(例えば、小規模集積回路(SSI: Small Scale Integration)、中規模集積回路(MSI: Medium Scale Integration)、大規模集積回路(LSI: Large Scale Integration)、超大規模集積回路(VLSI: Very Large Scale Integration)、超々大規模集積回路(ULSI: Ultra Large Scale Integration)、ギガ・スケール集積回路(GSI: Giga Scale Integration))、大電流用/高圧用MOSトランジスタ及びバイポーラトランジスタ等、メモリ・ストレージデバイスを用いることができる。

20

【0021】

解析装置1は、赤外線カメラ10(光検出部)と、テスト11(印加部)と、処理部14と、コンピュータ15と、表示部28と、入力部29と、を備えて構成されている。コンピュータ15は、データ解析部15a(解析部)と、条件設定部15c(設定部)と、制御部15bと、を有している。なお、半導体デバイスSDは、ステージ25に載置されている。

30

【0022】

テスト11は、処理部14より入力されるタイミングトリガ信号(トリガ信号)に応じて、半導体デバイスSDに交流信号を印加する。交流信号は、半導体デバイスSDの基準電圧に対して所定の正負の振幅で周期的に電圧が変動する信号である(図2(a)参照)。交流信号の周期または周波数や振幅は任意に調整することができる。これにより、交流信号の電圧は、半導体デバイスSDの基準電圧に対して周期的に高くなったり低くなったり変動するので、双方に流れる電流量が等しくなるように調整されている。また、半導体デバイスSDの内部にショート箇所が含まれている場合には、交流信号が印加されることにより当該ショート箇所が発熱し熱源となる。タイミングトリガ信号は、ロックイン計測における所定のロックイン周期 r_1 をもった、矩形波の信号である(図2(b)参照)。タイミングトリガ信号は、周期的にオンとオフの2値に変動している(図2(b)参照)。

40

【0023】

テスト11は、ロックイン周期のオフ期間には、ロックイン周期のオン期間よりも小さい振幅の交流信号を、半導体デバイスSDに印加する。具体的には、テスト11は、ロックイン周期のオフ期間において、交流信号の振幅を0か又は0に近似する程度に小さい値とする。以下では、ロックイン周期のオフ期間における交流信号の振幅が0であるとして説明する。また、テスト11は、交流信号の周波数を、タイミングトリガ信号の周波数よりも高くする。具体的には、タイミングトリガ信号の周波数をFとすると、テスト11がある一点でタイミングトリガがN回来るのを待つ場合に、Mを奇数として、交流信号の周

50

波数は $F \times (N + M) / N$ とする。交流信号の周波数の上限は、熱源に交流信号が到達する上限によって決まるため、半導体デバイス SD に依存する。

【0024】

テスト11から半導体デバイス SD に対して交流信号が印加されることにより、熱源位置が金属の接合面付近である場合であっても、ペルチェ効果による熱の移動を抑制することができる(詳細は後述)。ここで、交流信号が印加された半導体デバイス SD では、熱源から、交流信号に応じた赤外線が発せられる。そして、当該赤外線を検出した赤外線カメラ10によって検出信号が出力される。つづいて、データ解析部15aによりタイミングトリガ信号の周期(ロックイン周期)で検出信号の積算処理が行われ、積算後の検出信号について、タイミングトリガ信号に対する位相遅延量が算出される。そして、データ解析部15aにより当該位相遅延量から熱源位置が特定される。検出信号が積算されると、当該検出信号に含まれる交流信号も同様に積算されることとなる。このため、テスト11から印加される交流信号と、ロックイン周期をもつタイミングトリガ信号との位相差が常に一定である場合には、積算後において交流信号が大きく増幅されることとなる。このことにより、積算後の検出信号の位相遅延量の値が変化し、熱源位置の特定精度が低下するおそれがある。

10

【0025】

そこで、本実施形態では、複数のロックイン周期の検出信号に含まれる交流信号が積算された際に、交流信号の振幅が相殺されるように(好ましくは完全に相殺されるように)、テスト11が、ロックイン周期毎に交流信号の位相を変動させている。例えば、ロックイン周期毎ごとに位相は n 度ずつ変動させてもよい(n は 360 の約数のうちの 360 を除く任意の値)。より具体的には、テスト11は、図3(a)に示すように、ロックイン周期のオン期間に振幅 V' 、オフ期間に振幅 0 となるように振幅変調させた交流信号を印加する場合において、1周期毎に交流信号の位相を 180 度変動させるように、交流信号の周波数を調整する。すなわち、テスト11は、2周期目のオン期間の交流信号 a_2 の位相が、1周期目のオン期間の交流信号 a_1 の位相から 180 度変動するように、交流信号の周波数を調整する。1周期毎に交流信号の位相が 180 度変動するので、3周期目のオン期間の交流信号 a_3 の位相は、1周期目のオン期間の交流信号 a_1 の位相と同じになる。この場合、2周期で交流信号の振幅が相殺されるので、ロックイン周期の検出信号を積算した際に、交流信号の振幅を相殺することができる。

20

30

【0026】

また、テスト11は、図3(b)に示すように、1周期毎に交流信号の位相を 90 度変動させるように、交流信号の周波数を調整してもよい。この場合、1周期目のオン期間の交流信号 b_1 に対して2周期目のオン期間の交流信号 b_2 の位相が 90 度変動し、交流信号 b_2 に対して3周期目のオン期間の交流信号 b_3 の位相が 90 度変動し、交流信号 b_3 に対して4周期目のオン期間の交流信号 b_4 の位相が 90 度変動する。この場合、4周期で交流信号の振幅が相殺されるので、ロックイン周期の交流信号を積算した際に、交流信号の振幅を相殺することができる。

【0027】

また、テスト11は、図4に示すように、2周期毎に交流信号の位相を 180 度変動させるように、交流信号の周波数を調整してもよい。この場合、1周期目のオン期間の交流信号 c_1 及び2周期目のオン期間の交流信号 c_2 は、互いに同じ位相とされる。そして、3周期目のオン期間の交流信号 c_3 及び4周期目のオン期間の交流信号 c_4 は、いずれも交流信号 c_1 、 c_2 の位相から 180 度変動した位相とされる。この場合、2周期で交流信号の振幅が相殺されるので、ロックイン周期の交流信号を積算した際に、交流信号の振幅を相殺することができる。なお、位相を変動させる方法は上記に限定されず、積算された交流信号の振幅が最終的に相殺されるように、3周期毎や4周期毎に位相が 180 度変動されてもよく、2周期毎に位相が 90 度ずつ変動されてもよい。

40

【0028】

また、必ずしも積算された交流信号の振幅が完全に相殺される必要はない。例えば、口

50

ックイン周期の99周期に亘って交流信号の位相を0度変動させ、100周期に亘って交流信号の位相を180度変動させるように調整する場合においては、積算時に交流信号の振幅が完全には相殺されないものの、積算後における交流信号の振幅が十分に無視できる程度であると考えられるため、許容される。すなわち、完全に相殺されていない場合であっても、積算後の交流信号の振幅が計測誤差程度である場合には許容される。

【0029】

なお、テスト11は、ロックイン計測に不備がでないよう、ロックイン周期のオンオフを逸脱しない範囲の交流信号を印加する。よって、たとえ積算後の交流信号の振幅が相殺される場合であっても、図5のようにロックイン周期 r_2 のオフ期間にロックイン周期のオン期間と同程度の振幅の交流信号が印加されるものであってはならない。

10

【0030】

図1に戻り、赤外線カメラ10は、交流信号に応じて半導体デバイスSDから出力された光を検出し、検出信号を出力する。赤外線カメラ10は、半導体デバイスSDから出力された光として熱源からの赤外線を検出(撮像)する。より詳細には、赤外線カメラ10は、熱源からの黒体放射を検出する。赤外線カメラ10により出力される検出信号は、検出された赤外線、すなわち発熱量に応じた信号である。発熱量は熱源からの距離(半導体デバイスSDの深さ方向の距離)に応じて時間変化するので、検出信号は熱源からの距離に応じた信号となる。赤外線カメラ10が出力した検出信号は、処理部14に入力される。

【0031】

処理部14は、タイミングトリガ信号をテスト11及びデータ解析部15aに出力する。また、処理部14は、検出信号が入力されると、データ解析部15aに当該検出信号を出力する。

20

【0032】

コンピュータ15は、検出信号及びタイミングトリガ信号に基づいて半導体デバイスSDの熱源位置を特定するデータ解析部15a、半導体デバイスSDに印加する交流信号や計測位置を設定する条件設定部15c、赤外線カメラ10、処理部14、テスト11、ステージ25を制御する制御部15bを有している。また、コンピュータ15には、解析結果や半導体デバイスSDのパターン画像などの画像を表示する表示部28や解析条件を入力する入力部29が接続されている。

30

【0033】

条件設定部15cは、テスト11で生成する交流信号や、処理部14で生成するタイミングトリガ信号の条件(周波数、振幅など)を設定する。また、半導体デバイスSDの所望の位置を計測するためにステージ25の座標も設定する。具体的にはユーザーが半導体デバイスSDの表示部28を見ながら入力部29を用いて指示する。

【0034】

制御部15bは、条件設定部15cで設定された信号の条件や座標などに基づいて、テスト11や処理部14、ステージ25を制御する。

【0035】

データ解析部15aは、処理部14から入力された検出信号をタイミングトリガ信号の周期(すなわちロックイン周期)で積算する。データ解析部15aは、積算後の検出信号に基づいて、半導体デバイスSDの熱源位置を解析する。ここで、熱源位置のうち、熱源の深さを考慮しない二次元の位置については、単に赤外線カメラ10からの検出信号(撮像画像)から特定が可能である。一方、熱源の深さ方向の位置については、タイミングトリガ信号に対する検出信号の位相遅延量が導出されることにより特定(解析)される。検出信号の位相は熱源位置(半導体デバイスSDにおける熱源の深さ)に応じて変化するので、タイミングトリガ信号に対する検出信号の位相遅延量も、熱源位置に応じて変化する。具体的には、検出信号の位相遅延量は、半導体デバイスSDにおける熱源の深さに比例して大きくなる。

40

【0036】

50

データ解析部 15 a は、導出した位相遅延量より、熱源の深さを求める。より詳細には、データ解析部 15 a は、導出した位相遅延量と半導体デバイス S D に応じて決まる熱伝搬速度とを掛け合わせるにより、熱源の深さを導出する。なお、 v (m/s):熱伝搬速度、 f (kHz):変調電流の周波数、 K (W/m/k):半導体デバイス S D の熱伝導率、 q (J/g/k):半導体デバイス S D の比熱、 ρ (kg/m³):半導体デバイス S D の密度とすると、熱伝搬速度 v は下記 (1) 式により求めることができる。

【数 1】

$$v = 2\pi\sqrt{f} \sqrt{\frac{K}{\rho q \pi}} \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

【0037】

なお、データ解析部 15 a は、位相遅延量と熱源の深さとの対応関係を規定したテーブルを予め記憶しておき、導出した位相遅延量と当該テーブルとに基づいて、熱源の深さを導出してもよい。このようにして、熱源の二次元の位置、及び深さ方向の位置が特定され、半導体デバイス S D における熱源位置が一意に特定される。

【0038】

次に、本実施形態に係る解析装置 1 の作用効果について説明する。

【0039】

故障箇所 (例えば短絡箇所) がある計測対象物 (半導体デバイス) に対して変調電流が印加されると、当該故障箇所に熱源が発生する。従来から、当該熱源からの発熱を赤外線カメラにより計測し熱源の位置を特定することによって、故障箇所を特定する技術が知られている。ここで、熱源が発生した箇所が、異なる金属の接合面付近である場合には、ペルチェ効果により、変調電流に応じて異なる金属間で熱の移動が起こり、故障箇所とは異なる位置に熱源が計測されてしまうおそれがある。

【0040】

ペルチェ効果により熱が移動してしまう例について、図 6 を参照しながら説明する。図 6 (a) に示す半導体デバイス S D 1 では、2つのポリシリコン層 P - S i の間に、ニッケルシリコン層 N i - S i が配置されている。このような半導体デバイス S D 1 を作成する際に、ニッケルシリコン層 N i - S i からニッケル N i が析出してしまう場合がある。この状態で半導体デバイス S D 1 に電流が流れると、ニッケル N i の析出箇所では熱源が発生するが、ニッケル N i とポリシリコン層 P - S i とのペルチェ係数の差が一定以上あるため、熱源に対してペルチェ効果の影響が現れ、熱が移動してしまう。

【0041】

また、図 6 (b) に示す半導体デバイス S D 2 では、シリコン貫通電極構造 (T S V : Through-Silicon Via) の集積回路においてタングステン W によって形成された貫通電極が配置されている。半導体デバイス S D 2 では、貫通電極の両端にアルミニウム A l の配線が形成されている。貫通電極を形成する際にタングステン W の中に空気が混入すると、電流が流れた際に当該空気の混入箇所において熱源が発生する。このとき、アルミニウム A l とタングステン W のペルチェ係数の差が一定以上であるので、熱源に対してペルチェ効果の影響が現れ、熱が移動してしまう。このように、熱源の発生要因は様々であるが、熱源位置が異なる金属の接合面付近である場合には、ペルチェ効果により熱が移動してしまう。

【0042】

この点、解析装置 1 では、テスト 11 から半導体デバイス S D に交流信号が印加されるので、半導体デバイス S D に印加される電流の向きが周期的に変化する (反対向きに入れ替わる)。より具体的には、交流信号は半導体デバイス S D の基準電圧に対して双方に流れる電流量が等しくなるように調整されているため、ペルチェ効果の影響が相殺され、故障箇所と異なる位置に熱が移動してしまう事態を抑制することができる。そして、半導体デバイス S D からの赤外線は熱源位置に応じて変化するため、当該赤外線に基づいて熱源位置を解析することにより、故障箇所に対応した熱源位置の特定を適切に行うことができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 3 】

また、テスト 1 1 は、所定のロックイン周期のタイミングトリガ信号に応じて交流信号を印加し、ロックイン周期のオフ期間にはロックイン周期のオン期間よりも小さい振幅の交流信号を印加する。より好ましくは、テスト 1 1 は、ロックイン周期のオフ期間において、交流信号の振幅を 0 にする。これにより、ロックイン周期に従い、適切にロックイン計測を行うことができる。

【 0 0 4 4 】

また、テスト 1 1 は、複数のロックイン周期の検出信号に含まれる交流信号が積算された際に、交流信号の振幅が相殺されるように、ロックイン周期毎に交流信号の位相を変動させる。これにより、積算された交流信号により熱源位置の特定結果が影響される事態を抑制することができる。

10

【 0 0 4 5 】

また、テスト 1 1 は、交流信号の周波数をタイミングトリガ信号の周波数よりも高くする。これにより、交流信号によって半導体デバイス S D に印加される電流の向きが頻繁に入れ替わることとなり、ペルチェ効果によって熱が移動する事態をより抑制できる。

【 0 0 4 6 】

また、データ解析部 1 5 a はタイミングトリガ信号に対する検出信号の位相遅延量を導出することにより熱源位置を特定している。タイミングトリガ信号に対する検出信号の位相遅延量は、半導体デバイス S D から出力される赤外線に応じて変化する。このため、検出信号の位相遅延量を導出することによって熱源位置を解析することができる。位相遅延量の導出は簡易に行うことができ、また、位相遅延量と半導体デバイス S D から出力される赤外線とは密接な対応関係にあるため、検出信号の位相遅延量を導出することにより簡易且つ高精度に熱源位置を特定することができる。

20

【 0 0 4 7 】

また、半導体デバイス S D から出力された光として熱源からの赤外線を検出する赤外線カメラ 1 0 を用いることにより、簡易な構成により適切に光（赤外線）を検出することができる。

【 0 0 4 8 】

[第 2 実施形態]

次に、図 7 を参照して、第 2 実施形態に係る解析装置 1 A について説明する。なお、本実施形態の説明では上述した第 1 実施形態と異なる点について主に説明する。

30

【 0 0 4 9 】

図 7 に示すように、第 2 実施形態に係る解析装置 1 A では、赤外線カメラではなく光検出器 1 3（光検出部）によって半導体デバイス S D からの反射光が検出される。また、解析装置 1 A は、半導体デバイス S D に光を照射する光源 1 2（光照射部）を備えている。また、設定した計測点に光を照射する光スキャナ 2 6 や、半導体デバイス S D で発生した赤外線が光検出器 1 3 へ向かうことを防ぐショートパスフィルタ 2 7 も備えている。

【 0 0 5 0 】

光源 1 2 は、半導体デバイス S D に光（照射光）を照射する。光源 1 2 は S L D（Super Luminescent Diode）で構成されている。なお、光源 1 2 は、L D（Laser Diode）等のレーザー光源や L E D（Light Emitting Diode）、又はランプ光源を用いた光源等であってもよい。また、照射光は C W 光でもパルス光であってもよい。照射光の波長は例えば 1 . 3 μ m 程度であり、主にシリコンで構成された計測対象物での屈折率は 3 . 5 程度である。

40

【 0 0 5 1 】

光源 1 2 から出力された照射光は、ピンホール 1 6 及びレンズ 1 7 を経て偏光子 1 8 に入力される。偏光子 1 8 は特定方向に偏光した照射光のみを透過し、偏光子 1 8 を透過した照射光は偏向ビームスプリッタ（以下、P B S : Polarization Beam Splitter と記載）1 9 に入力される。P B S 1 9 は、特定方向に偏光した光を透過し、特定方向に偏光した光を反射する。P B S 1 9 は偏光子 1 8 を透過した照射光を光スキャナ 2 6 方向に反射す

50

る。光スキャナ 26 は、例えば、ガルバノミラースキャナやポリゴンミラースキャナなどであり、PBS 19 からの光を半導体デバイス SD の所望の位置に照射するように制御される。なお、偏光子 18 は不要ならば削除してもよい。

【0052】

光スキャナ 26 から出力された照射光は、ショートパスフィルタ 27 を透過し、 $\lambda/4$ 板 20 及びレンズ 21 を経て半導体デバイス SD に照射される。より詳細には、照射光は半導体デバイス SD に対して設定された計測点に照射される。

【0053】

照射光に応じて計測点で反射された光（反射光）は、再びレンズ 21、ショートパスフィルタ 27（赤外線遮光部）、 $\lambda/4$ 板 20、及び光スキャナ 26 を経て、PBS 19 に 10 入力される。この時、ショートパスフィルタ 27 により計測対象物 MO で発生した赤外線を遮光することができる。また、PBS 19 に入力される光は、 $\lambda/4$ 板 20 に二回透過することにより、偏光方向が傾くため、PBS 19 は反射光を透過する。反射光は、レンズ 22 及びピンホール 23 を経て光検出器 13 に入力される。このように、本実施形態の光学系はコンフォーカル光学系が用いられ、限られた焦点範囲からの反射光が検出できるように構成されている。なお、本実施形態ではピンホール 16、23 を用いているが、光ファイバを用いてコア及びクラッドの屈折率差を利用することによってコンフォーカル光学系を実現してもよい。

【0054】

光検出器 13 は、照射光に応じて半導体デバイス SD において反射された反射光を検出 20 する。また、光検出器 13 は、検出した反射光をアナログ信号である検出信号に変換し出力する。光検出器 13 は、APD（Avalanche PhotoDiode）や PD（PhotoDiode）、PMT（PhotoMultiplier Tube）等である。ここで、熱源が発生している状態においては、熱源からの熱に応じて半導体デバイス SD の材料屈折率が変化し、反射光の反射率が変わる。このような反射光の反射率の時間変化は、光検出器 13 から出力される検出信号の時間変化として表れる。すなわち、光検出器 13 から出力される検出信号の時間変化は、計測点が熱源から受ける熱応答の早さに応じて変化する。なお、計測点が熱源から受ける熱応答の早さは、当然に、計測点が熱源から近いほど早くなる。光検出器 13 が出力した検出信号は、処理部 14 に入力される。処理部 14 における処理は、第 1 実施形態と同様である。 30

【0055】

コンピュータ 15 A は、検出信号及びタイミングトリガ信号に基づいて半導体デバイス SD の熱源位置を特定するデータ解析部 15 a、半導体デバイス SD に印加する交流信号や計測点を設定する条件設定部 15 c、光検出器 13、処理部 14、光スキャナ 26、テスト 11、及びステージ 25 を制御する制御部 15 b を有している。また、コンピュータ 15 A には、解析結果や半導体デバイス SD のパターン画像などの画像を表示する表示部 28 や解析条件を入力する入力部が接続されている。

【0056】

条件設定部 15 c は、テスト 11 で生成する交流信号や、処理部 14 で生成するタイミングトリガ信号の条件（周波数、振幅など）を設定する。また、半導体デバイス SD に対して計測点を設定し、具体的には、ユーザーが半導体デバイス SD のパターン画像が表示された表示部 28 を見ながら入力部 29 を用いて、少なくとも 1 つの計測点を指示する。パターン画像としては、例えば、LSM 画像などである。条件設定部 15 c は、指示された計測点の位置情報を基に計測対象物 MO の表面における位置情報（x 座標及び y 座標）を設定する。 40

【0057】

制御部 15 b は、条件設定部 15 c で設定された信号の条件や計測点の位置情報に基づいて、テスト 11 や処理部 14、光スキャナ 26 を制御する。

【0058】

データ解析部 15 a は、第 1 実施形態同様、積算された検出信号に基づいて半導体デバ 50

イスSDの熱源位置を特定する。データ解析部15aは、導出した、計測点から熱源までの距離に基づいて、熱源位置を特定する。具体的には、データ解析部15aは、条件設定部15cで設定された半導体デバイスSDの3点の計測点それぞれにおいて、検出信号の位相遅延量を導出し計測点から熱源までの距離を導出する。そして、3点の計測点それぞれにおける熱源までの距離に基づいて、3次元の熱源位置を一意に特定する。

【0059】

なお、データ解析部15aは、計測点が4点以上設定された場合、熱源位置が存在する領域を絞り込みながら計測してもよい。例えば、半導体デバイスSDに対して4点以上の計測点をランダムに設定し、それぞれの計測点と熱源位置の距離を導出し、比較することで熱源位置が存在する領域を推定することが可能になる。そして、推定領域に再び計測点を再設定し、熱源領域が存在する領域を絞っていき、最終的に、少なくとも3点の計測点を設定することで、データ解析部15aが熱源位置を特定することができる。また、データ解析部15aは、例えば3点の計測点における位相遅延量から熱源位置を特定する場合に、各計測点の位相遅延量を二次元マッピングすることにより熱源位置を解析してもよい。この場合、例えば熱源が2点以上あるような場合であっても、二次元マップから視覚的に熱源位置を把握し易くなる。

10

【0060】

本実施形態に係る解析装置1Aでは、光が照射される半導体デバイスSDに交流電流が印加される。当該交流電流により熱源が発生している状態において、照射光に応じて計測点で反射された反射光が検出され、検出信号が出力される。熱源が発生している状態においては、当該熱源からの熱に応じて反射光の反射率が変化する。熱源からの熱応答は、熱源からの距離に反比例して早くなるため、熱源からの熱に応じて反射率が時間変化した反射光の検出信号を解析することによって、計測点から熱源までの距離を推定することが可能となる。このように、半導体デバイスSDの反射光に応じた検出信号を解析する光プロービングによって熱源位置を特定することにより、時間分解能を向上させることができる。時間分解能が向上することによって、計測対象物の厚みが薄く熱応答が早い場合であっても、当該熱応答を適切に測定することができ、熱源位置の解析精度を向上させることができる。具体的には、プローブ光強度が一定以上確保できれば、時間分解能がサブナノ秒精度となり、熱源位置の特定誤差を100nm以下とすることができる。

20

【0061】

以上、本発明の好適な実施形態について記載したが本発明は上記実施形態に限定されるものではない。例えば、処理部14でトリガ信号を生成せず、テスト11で交流信号とともにトリガ信号を生成し、半導体デバイスSDにはトリガ信号に応じた交流信号を印加しつつ、処理部14を経由させてデータ解析部15aに出力するようにしてもよい。また、半導体デバイスSDは、テスト11により印加された交流信号によって駆動されてもよい。例えば、光検出部として赤外線カメラ及び光検出器を例示したがこれに限定されず、計測対象物からの光を検出する機能を有した他の構成であってもよい。

30

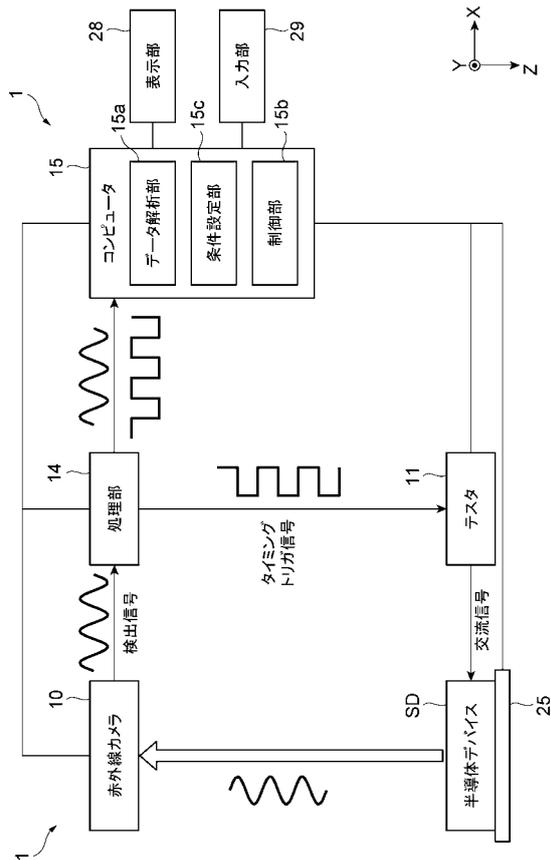
【符号の説明】

【0062】

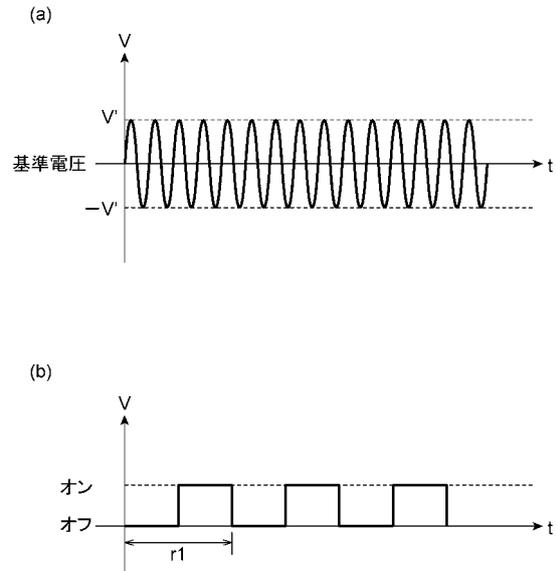
1, 1A ... 解析装置、10 ... 赤外線カメラ、11 ... テスタ、12 ... 光源、13 ... 光検出器、15, 15A ... コンピュータ、15a ... データ解析部、15c ... 条件設定部、SD ... 半導体デバイス。

40

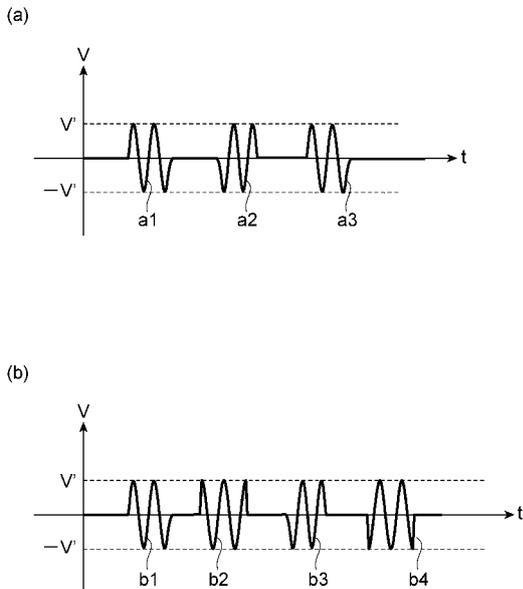
【 図 1 】



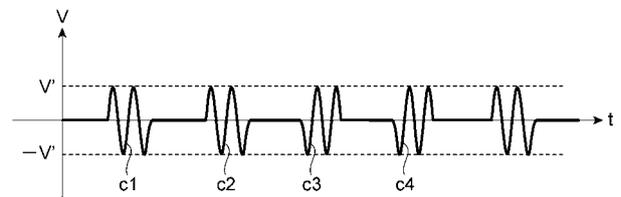
【 図 2 】



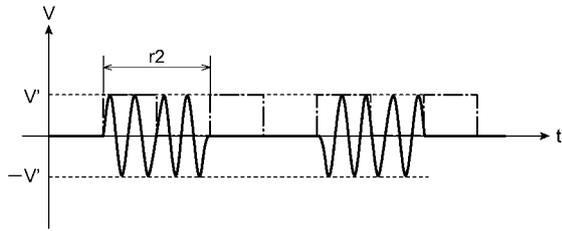
【 図 3 】



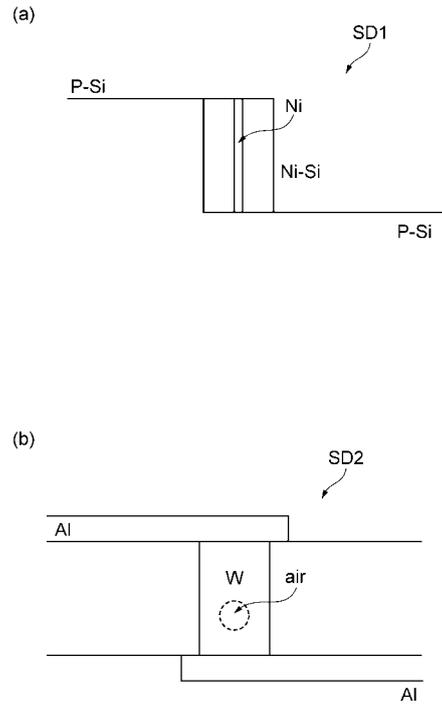
【 図 4 】



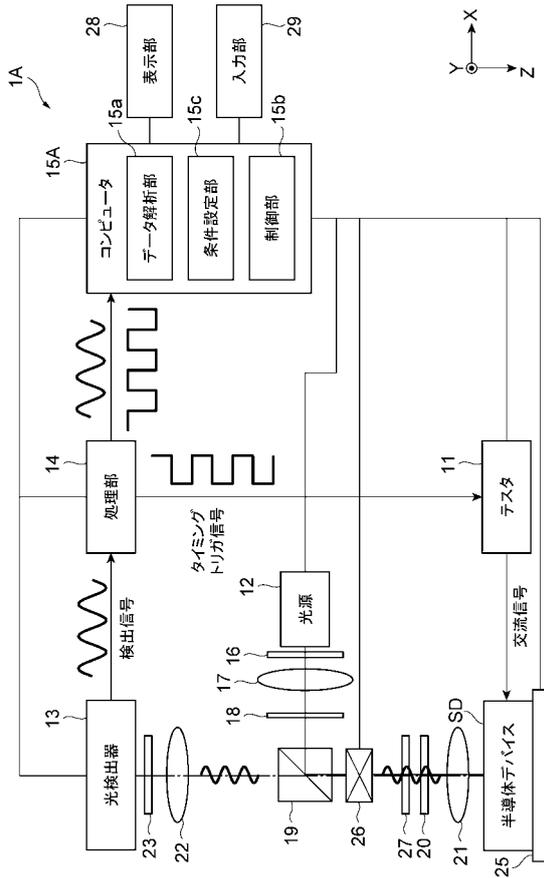
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2014/077098
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L21/66(2006.01)i, G01N25/72(2006.01)i, G01R31/26(2014.01)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) H01L21/66, G01N25/72, G01R31/26 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)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 9-266238 A (Sony Corp.), 07 October 1997 (07.10.1997), paragraphs [0010], [0013] to [0014], [0016] to [0017]; fig. 1 (Family: none)	1,7-9 2-6,10-14
Y	JP 63-134943 A (NEC Corp.), 07 June 1988 (07.06.1988), page 2, lower left column, lines 6 to 13; lower right column, lines 12 to 15; fig. 1 (Family: none)	1,7-9
Y	JP 4-249336 A (NEC Corp.), 04 September 1992 (04.09.1992), paragraph [0008] (Family: none)	8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 25 December 2014 (25.12.14)		Date of mailing of the international search report 13 January 2015 (13.01.15)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 4 / 0 7 7 0 9 8									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01L21/66(2006.01)i, G01N25/72(2006.01)i, G01R31/26(2014.01)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. H01L21/66, G01N25/72, G01R31/26											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2014年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2014年	日本国実用新案登録公報	1996-2014年	日本国登録実用新案公報	1994-2014年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2014年										
日本国実用新案登録公報	1996-2014年										
日本国登録実用新案公報	1994-2014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									
Y A	JP 9-266238 A (ソニー株式会社) 1997.10.07, 段落【0010】、【0013】～【0014】、【0016】～【0017】、図1 (ファミリーなし)	1,7-9 2-6,10-14									
Y	JP 63-134943 A (日本電気株式会社) 1988.06.07, 第2頁左下欄第6～13行、右下欄第12～15行、第1図 (ファミリーなし)	1,7-9									
Y	JP 4-249336 A (日本電気株式会社) 1992.09.04, 段落【0008】 (ファミリーなし)	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 25.12.2014		国際調査報告の発送日 13.01.2015									
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) 堀江 義隆	50 9172								
		電話番号 03-3581-1101	内線 3559								

フロントページの続き

Fターム(参考) 2G040 AA05 AB12 BA18 BA25 CA01 CA12 CA23 DA06 DA12 DA15
EA01 EC04 GB01 HA02 HA14 HA16
4M106 BA05 BA08 DB01 DB08 DH13 DJ23

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。