

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011年4月14日(14.04.2011)

(10) 国際公開番号
WO 2011/043357 A1

- (51) 国際特許分類:
H03H 3/04 (2006.01) H01L 41/09 (2006.01)
B23K 26/00 (2006.01) H01L 41/22 (2006.01)
B23K 26/36 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/067501
- (22) 国際出願日: 2010年10月6日(06.10.2010)
- (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 2009-233031 2009年10月7日(07.10.2009) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): シチズンファインテックミヨタ株式会社(CITIZEN FINETECH MIYOTA CO., LTD.) [JP/JP]; 〒3890295 長野県北佐久郡御代田町大字御代田4-107番地5 Nagano (JP). 国立大学法人長岡技術科学大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION NAGAOKA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒9402188 新潟県長岡市上富岡町1603番地1 Niigata (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 多田 耕三(TADA, Kozo) [JP/JP]; 〒3890295 長野県北佐久郡
- (74) 代理人: 福本 将彦(FUKUMOTO, Masahiko); 〒6191152 京都府木津川市加茂町里中門伝117-205 Kyoto (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

[続葉有]

(54) Title: IRRADIATION METHOD OF LASER, FREQUENCY ADJUSTMENT METHOD OF PIEZOELECTRIC VIBRATOR USING SAME, AND FREQUENCY-ADJUSTED PIEZOELECTRIC DEVICE USING SAME

(54) 発明の名称: レーザーの照射方法、及びそれを用いた圧電振動子の周波数調整方法、並びにそれを用いて周波数調整された圧電デバイス

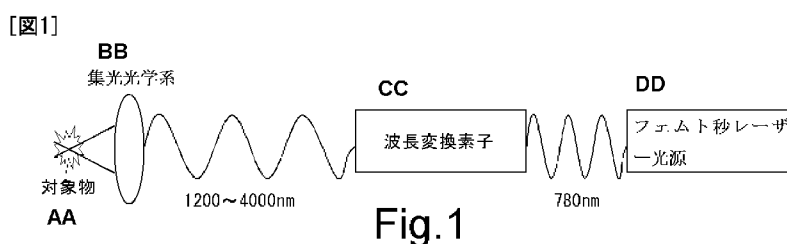


FIG. 1:
AA OBJECT
BB COLLECTION OPTICS
CC WAVELENGTH CONVERTING ELEMENT
DD FEMTOSECOND LASER SOURCE

(57) Abstract: Disclosed are an irradiation method of a laser, a frequency adjustment method of a piezoelectric vibrator using the same, and a frequency-adjusted piezoelectric device using the same capable of minimizing damage to silicon material or surrounding constituent elements, while the laser is transmitted through the silicon material and is irradiated preferably onto an object ahead of the same. Accordingly, as a laser to be used, a so-called "femtosecond laser" which is a pulse laser of a pulse width of 50 to 1000 fs (femtoseconds) is selected. This technology can, for example, preferably be used when irradiating a laser onto a piezoelectric vibrator contained in the interior of an electronic component package comprising silicon material to adjust the resonance frequency thereof.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2011/043357 A1

GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

シリコン材料やその周辺の構成要素に対するダメージを最小限に抑えつつ、シリコン材料にレーザーを透過させてその先の対象物に好適に照射することが可能なレーザーの照射方法、及びそれを用いた圧電振動子の周波数調整方法、並びにそれを用いて周波数調整された圧電デバイスを提供する。そのために、使用するレーザーとしてパルス幅が50~1000 fs (フェムト秒) のパルスレーザーである所謂フェムト秒レーザーを選択する。この技術は、例えば、シリコン材料から成る電子部品パッケージの内部に収容された圧電振動子にレーザーを照射してその共振周波数を調整する際に好適に利用することができる。

明 細 書

発明の名称：

レーザーの照射方法、及びそれを用いた圧電振動子の周波数調整方法、並びにそれを用いて周波数調整された圧電デバイス

技術分野

[0001] 本発明は、レーザーの照射方法、及びそれを用いた圧電振動子の周波数調整方法、並びにそれを用いて周波数調整された圧電デバイスに関するものである。

背景技術

[0002] 電子部品製造の分野においてはレーザーが広く利用されており、特に半導体電子部品製造の分野においては、シリコン材料にレーザーを透過させてその先の対象物に照射することが知られている。（例えば、特許文献 1、2 参照）

[0003] 図 1 2 は、半導体電子部品の製造プロセスの一部を模式的に示す断面図である。まず、ここに示す半導体電子部品は、シリコン材料から成る箱型の基板（パッケージ基板）1 に同じくシリコン材料から成る平板状の蓋部材（リッド）2 を接合することで形成された電子部品パッケージの内部に平板状の圧電振動子 3 が気密封止された所謂パッケージ型の圧電デバイスである。この圧電デバイスにおいて、圧電振動子 3 の表面に形成された励振電極（不図示）は、パッケージ基板 1 の底部に設けられた貫通配線 4 を介してパッケージ基板 3 の外表面に設けられた外部接続端子 5 と電氣的に接続され、その外部接続端子 5 を介して電気信号の入出力が成される。

[0004] 以上のような圧電デバイスを製造するに当たっては、その製造プロセスの一環として、圧電振動子 3 の共振周波数を調整することが行われる。共振周波数（以下、単に周波数）の調整は、周波数をより高周波側へ調整する場合と、それとは逆により低周波側へ調整する場合とがあるが、主に周波数を高周波側へ調整する場合には、その手段の一つとしてレーザーが利用される。

- [0005] レーザーを利用して周波数の調整を行う場合には、例えば、図12に示すように圧電デバイスの外装の一部を成す蓋部材2に波長が1300nm程度のレーザーLを照射して透過させ、透過したレーザーLを圧電振動子3の表面に予め形成した周波数調整用の質量膜（金属膜等）6に照射して段階的に除去し、圧電振動子3の励振駆動に寄与する部位（振動部）の質量を減じることで周波数を高周波側へと変化させる。
- [0006] 以上のようにレーザーを利用した周波数の調整は、製造プロセスの任意の段階で行われ、大きく別けてパッケージ基板1に蓋部材2を接合する前と後の何れかが選択され得るが、とりわけパッケージ基板1に蓋部材2を接合した後に行うことは、周波数の調整を最終製品により近い状態で行えることから、一度周波数の調整を行った後から最終製品になるまでの製造プロセス中で周波数が再度変化してしまうこと（周波数シフト）による影響を抑えることができ、また、周波数の調整中に電子部品パッケージ内へゴミなどの異物が侵入するのを防止できるなどの利点があることから、パッケージ基板1に蓋部材2を接合する前に行うよりも製造プロセス上好適な場合が多い。
- [0007] シリコン材料にレーザーを透過させる目的は、以上説明した例に限らず様々であるが、何れにしても電子部品製造の分野においては、シリコン材料にレーザーを透過させることが求められる場合が少なくない。
- [0008] シリコン材料にレーザーを透過させるに当たっては、少なくともシリコン材料を透過する性質のレーザーを用いることが求められるが、レーザーの性質を決定付ける各種パラメーター（波長、パルス幅、強度、焦点距離等）の値によっては、レーザーの熱衝撃によりシリコン材料やその周辺の構成要素が過度のダメージを受けて破損や変質するだけでなく、破損により生じた破片が飛散して周辺の構成要素に悪影響を及ぼす虞がある。
- [0009] 図13は、レーザーによるダメージの発生メカニズムを模式的に示す図で、ここに示すように、使用するレーザーの性質がシリコン材料を透過させるのに適していない場合には、シリコン材料やその表面の堆積物、更には照射対象物自体などに過度の熱衝撃が加わり、本来加工すべきでない部位が加工

されたり変質する虞がある。従って、シリコン材料にレーザーを透過させるに当たっては、レーザーの性質を決定付ける各種パラメーターを最適化することが望まれる。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：特開平7-37911号公報

特許文献2：特表2007-512739号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 本発明は、以上の問題点に鑑みて成されたものであり、シリコン材料やその周辺の構成要素に対するダメージを最小限に抑えつつ、シリコン材料にレーザーを透過させてその先の対象物に好適に照射することが可能なレーザーの照射方法、及びそれを用いた圧電振動子の周波数調整方法、並びにそれを用いて周波数調整された圧電デバイス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

[0012] 上記目的を達成するために、本発明のうち第1の態様に係るものは、シリコン材料にレーザーを照射して透過させ、透過したレーザーを前記シリコン材料を隔てた先の対象物に照射するレーザーの照射方法であって、前記レーザーは、パルス幅が50～1000 fsのパルスレーザーであるものである。

[0013] 前記レーザーの波長は、1200～4000 nmであるレーザーの照射方法とされ得る。

[0014] 本発明のうち第2の態様に係るものは、少なくとも一部がシリコン材料で構成された電子部品パッケージの内部に收容された圧電振動子にレーザーを照射して当該圧電振動子の共振周波数を調整する圧電振動子の周波数調整方法であって、前記レーザーとして上記何れかのレーザーの照射方法におけるパルスレーザーを前記電子部品パッケージのシリコン材料領域に照射して透

過させ、透過した前記レーザーを前記圧電振動子に照射することにより前記圧電振動子の周波数を調整するものである。

[0015] 前記圧電振動子の表面に形成された質量膜を前記レーザーにより除去することにより前記圧電振動子の共振周波数を調整しても良い。

[0016] 前記圧電振動子の母材を前記レーザーにより除去することにより前記圧電振動子の共振周波数を調整しても良い。

[0017] 本発明のうち第3の態様に係るものは、少なくとも一部がシリコン材料で構成された電子部品パッケージの内部に收容された圧電振動子にレーザーを照射して当該圧電振動子の共振周波数を調整する圧電振動子の周波数調整方法であって、前記レーザーとして上記何れかのレーザーの照射方法におけるパルスレーザーを前記電子部品パッケージのシリコン領域に照射して透過させ、透過した前記レーザーを前記電子部品パッケージの内面に形成された質量膜に照射して当該質量膜を飛散させ、飛散した質量膜を前記圧電振動子に付着させることにより前記圧電振動子の共振周波数を調整するものである。

[0018] 本発明のうち第4の態様に係るものは、少なくとも一部がシリコン材料で構成された電子部品パッケージの内部に圧電振動子を收容した圧電デバイスであって、上記何れかの圧電振動子の周波数調整方法を用いて周波数調整されたものである。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、シリコン材料にレーザーを透過させるに当たって、レーザーの性質を決定付けるパラメーターを最適化することで、シリコン材料に対するダメージを最小限に抑えつつ、シリコン材料を隔てた先の対象物にレーザーを好適に照射することができる。また、その技術を圧電振動子の周波数を調整する際に利用すれば、圧電振動子を收容する電子部品パッケージへのダメージを最小限に抑えつつ、周波数の調整を好適に行うことができる。

本発明の目的、特徴、局面、及び利点は、以下の詳細な説明と添付図面とによって、より明白となる。

図面の簡単な説明

- [0020] [図1] 図1は、本発明によるレーザーの照射方法を原理的に示す図である。
- [図2] 図2は、シリコン単結晶に対するレーザーの波長と透過率との関係を示すグラフである。
- [図3] 図3は、本発明によるレーザーの照射方法の実施に用いるレーザー照射装置の一例を示す図である。
- [図4] 図4は、本発明によるレーザーの照射方法の有効性を評価するための基礎実験の方法を示す図である。
- [図5] 図5A及び図5Bは、図4に示す基礎実験を経た評価サンプルの平面図であり、図5Aは上側のシリコン基板の表面をレーザーの照射側から見た状態を表しており、図5BはA_u薄膜の表面をレーザーの照射側から見た状態を表している。
- [図6] 図6は、本発明によるレーザーの照射方法に対する比較例として、従来技術によるレーザーの照射方法を用いた基礎実験を示す図である。
- [図7] 図7A及び図7Bは、図6に示す基礎実験を経た評価サンプルの平面図であり、図7Aはシリコン基板の表面をレーザーの照射側から見た状態を表しており、図7BはA_u薄膜の表面をレーザーの照射側とは反対側から見た状態を表している。
- [図8] 図8は、本発明による圧電振動子の周波数調整方法（実施例1）を示す図である。
- [図9] 図9は、本発明による圧電振動子の周波数調整方法（実施例2）を示す図である。
- [図10] 図10A及び図10Bは、図9に示す圧電振動子の周波数調整方法を用いて周波数調整を行った評価サンプルのレーザー顕微鏡による観察画像であり、図10Aは圧電振動子の表面をレーザーの照射側から見た状態を表しており、図10Bはレーザーを透過させた蓋部材をレーザーの照射側とは反対側から見た状態を表している。
- [図11] 図11A～図11Dは、図9に示す圧電振動子の周波数調整方法を用いて周波数調整を行った評価サンプルのSEMによる観察画像であり、図1

1 Aは圧電振動子の表面をレーザーの照射側から見た状態を表しており、図 1 1 Bは図 1 1 Aの一部（走査 1 終端部周辺）を拡大して見た状態を表しており、図 1 1 Cは図 1 1 Aの一部（走査 2 始端部周辺）を拡大して見た状態を表しており、図 1 1 Dは図 1 1 Aの一部（走査 3 終端部周辺）を拡大して見た状態を表している。

[図12] 図 1 2 は、半導体電子部品の製造プロセスの一部を模式的に示す断面図である。

[図13] 図 1 3 は、レーザーによるダメージの発生メカニズムを模式的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0021] 本発明によるレーザーの照射方法は、シリコン材料にレーザーを透過させるに当たって、使用するレーザーの性質を決定付けるパラメーターの一つであるパルス幅を 50 ~ 1000 fs（フェムト秒）に設定することを特徴としている。

[0022] そのような短パルス幅のレーザーは、通称フェムト秒レーザーと呼ばれ、レーザーの照射時間が極めて短いことから光子吸収範囲が μm オーダーの範囲に限定され、それよりも長いナノ秒以上のパルス幅のレーザーよりも熱衝撃が及ぶ範囲が狭く、照射対象物へのダメージが小さいという特徴があり、また、急峻な立上りパルスによって非線形光学効果が発現することから、通常はレーザーを吸収し難い材料や反射率が高い材料に対してもレーザーのエネルギーを効率的に伝えることができ、 μm サイズの微小領域に集光することで微小領域を選択的に加工することができるという特徴がある。

[0023] 本願出願人は、そのような特徴を有するフェムト秒レーザーをシリコン材料に照射することで、シリコン材料に対するダメージを最小限に抑えつつシリコン材料を透過させることが可能であることを見出し、そのことを利用してシリコン材料にレーザーを透過させてその先の対象物に照射することを発案した。

[0024] 図 1 は、本発明によるレーザーの照射方法を原理的に示す図であり、図 2

は、シリコン材料に対するレーザーの波長と透過率との関係を示すグラフである。本発明によるレーザーの照射方法を実施するに当たっては、まず、使用するフェムト秒レーザーの波長を少なくともシリコン材料を透過するものとする必要があり、その波長としては、例えば図2に示すように約900nm以上であるが、透過率が約50%以上となる約1200nm以上の波長帯域のものがより好適である。

[0025] ここでは、その中でも特に透過率が高い1200~4000nmの波長帯域のレーザーを使用することを考え、それに当たってまず、図1に示すようにフェムト秒レーザーを出力可能なレーザー光源から一般的に可視光領域とされる波長が780nmのレーザーを出力させ、それを波長変換素子（OPO: Optical Parametric Oscillator）を通過させることにより波長を1200~4000nmへと変換する。そして、波長変換されたレーザーをレンズなどの集光光学系により集光した上で照射対象物に照射する。

[0026] ここで、レーザーの焦点を照射対象物の任意の点に合わせ、焦点と集光光学系との間にシリコン材料を配置すれば、集光光学系を通過したレーザーは、シリコン材料に大きなダメージを与えることなくシリコン材料を透過してその先の照射対象物に照射されることとなる。

[0027] 図3は、本発明によるレーザーの照射方法の実施に用いるレーザー照射装置の一例を示す図である。ここに示すレーザー照射装置は、図1に示した本発明によるレーザーの照射方法の原理を基に構成されたもので、可視光領域の波長（例えば780nm）のフェムト秒レーザーを出力するレーザー光源11と、レーザー光源11から出力されたレーザーの波長を近中赤外領域の波長（例えば1200~4000nm）へと変換する波長変換素子12と、波長変換素子12により波長変換されたレーザーを集光するレンズなどの集光光学系13と、互いに直交する3軸方向（XYZ方向）とそれらの各軸回りに移動可能な可動テーブル14と、可動テーブル14を真空雰囲気中に格納する真空チャンバー15と、レーザー光源11以外の構成要素を窒素雰囲気

気（N₂パージ）中に格納するN₂チャンバー16とを備えている。

- [0028] 可動テーブル14は、レーザーの照射対象物17を所定の姿勢に保持する保持機構を備え、それにより照射対象物17を保持した状態でXYZ方向とそれらの各軸回りである回転方向に適宜移動することで、照射対象物17のレーザーに対する位置を任意に変更することができる。
- [0029] N₂チャンバー16は、主にレーザーの減衰を防止するためのもので、波長変換素子12により1200～4000nmの波長へと波長変換されたレーザーは水分への吸収が著しいことから、レーザーの光路中に不活性ガスである窒素を充填して空気中の水分を排除している。
- [0030] 真空チャンバー15は、照射対象物17に対するレーザーの照射を真空雰囲気中で行うためのもので、真空ポンプ18などの真空排気手段により任意の真空度を作り出すことができるようになっている。尚、真空チャンバー15は、照射対象物17の性質上、照射対象物17に対するレーザーの照射を真空雰囲気中で行う必要がある場合にのみ必要なものであり、状況に応じて適宜省略することができる。
- [0031] 図4は、本発明によるレーザーの照射方法の有効性を評価するための基礎実験を示す図である。基礎実験としては、主面片側（図中上面）にAu薄膜21を形成したシリコン単結晶基板22に、表面に堆積物が存在しない素板状のシリコン単結晶基板23をAu薄膜21と対向するようにスペーサー24を介して貼り合わせたものを評価サンプルとして用い、その評価サンプルをサンプル設置面に対して僅かに傾斜させた状態で、上側のシリコン単結晶基板23側から下側のシリコン単結晶基板22のAu薄膜21に焦点を合わせてフェムト秒レーザーLを照射すると同時に、そのまま焦点距離を変えずに一定方向に向けて直線的に走査した。
- [0032] 以上の基礎実験において、レーザーLの走査方向を傾斜した評価サンプルの低位側から高位側へ向かう方向（図中矢印方向）としてレーザーLを走査すると、評価サンプルが傾斜していることから、レーザーLの照射位置が移動するに連れてレーザーLの焦点位置が下側のシリコン単結晶基板22寄り

に相対的かつ連続的に移動しながらAu薄膜21の加工が行われる。尚、この実験方法では、レーザーLの焦点位置の変化に応じたAu薄膜21の加工状態の変化も同時に観察することができる。

[0033] 基礎実験の仕様は、以下の通りである。

レーザーの種類 : ファイバーレーザー
波長 : 1552.5nm
パルス幅 : 800fs
出力強度 : 5μJ/パルス (平均強度2.5W、最大強度0.8MW以上)
繰り返し周波数 : 100kHz
ビーム径 : 5mm×5mm (出射時)
レーザー走査速度 : 1mm/s
評価サンプル傾斜角 : 0.96°

[0034] 評価サンプルの仕様は、以下の通りである。

シリコン単結晶基板の外形 : 20mm角
シリコン単結晶基板の厚さ : 350μm
金(Au)薄膜の膜厚 : 200Å (200オングストローム)
シリコン単結晶基板間の隙間 : 64μm

[0035] 図5A及び図5Bは、図4に示す基礎実験を経た評価サンプルの平面図であり、図5Aは上側のシリコン単結晶基板の表面をレーザーの照射側から見た状態、図5BはAu薄膜の表面をレーザーの照射側から見た状態を示している。まず、図5Aを参照すると、シリコン単結晶基板23の表面に直線状の照射痕が2本見て取れ(照射痕A、B)、そのうち図中下側の照射痕Bがレーザーを集光して直接的に照射することにより生じた照射痕であり、この照射痕Bに着目すると、解析の結果、シリコン単結晶基板23の表層がレーザーの照射領域に沿って物理的に除去されてはいるものの、シリコン単結晶基板23に大きなダメージは見られなかった。また、図示は省略するが、レーザーの照射側と反対側のシリコン単結晶基板23表面にも特に大きな照射

痕は見られなかった。

[0036] 尚、図中上側の照射痕Aは、レーザーの一部がシリコン単結晶基板23の内部で反射して表層付近で焦点を結ぶことにより形成された副次的な照射痕であると思われ、このことは、レーザーの実際の焦点とは異なる領域も加工されることを示している。更にこのことは、シリコン材料は、短パルス幅のレーザーを集光して非線形光学効果を生じさせることで初めて加工されることを意味し、逆に言えば、たとえシリコン材料を透過する波長のレーザーであっても、集光して非線形光学効果を生じさせない限りはシリコン材料には何ら影響がないことを意味する。即ち、その点に着目してレーザーの物理的数値条件（パラメーター）を見直せば、シリコン材料に大きなダメージを与えることなくシリコン材料にレーザーを透過させてその先の対象物を加工することができる、ということが理解できる。

[0037] また、図5Bを参照すると、Au薄膜21の表面に直線状の照射痕が3本見て取れ（照射痕C、D、E）、各々は図中下側から順にレーザーの出力強度が $5\mu\text{J}$ 、 $2.5\mu\text{J}$ 、 $1\mu\text{J}$ の場合の照射痕を示しており、特にその中で今回の基礎実験において設定した $5\mu\text{J}$ に対応する照射痕Eに着目すると、Au薄膜21がレーザーの照射領域に沿って物理的に除去されて下層のシリコン単結晶22が露出しており、上側のシリコン単結晶23を透過したレーザーによりAu薄膜21が加工されていることが分かる。

[0038] 即ち、以上の結果は、Au薄膜21の加工領域の直上に位置するシリコン単結晶基板23の表面には、レーザーの入射側及びその反対側の何れにも大きなレーザーの照射痕が形成されず、シリコン材料を損傷させずシリコン材料越しにレーザーで対象物（Au薄膜21）を加工することができたことを示している。

[0039] 図6は、本発明によるレーザーの照射方法に対する比較例として、従来技術によるレーザーの照射方法を用いた基礎実験を示す図である。基礎実験としては、図に示すように主面片側（図中下面）にAu薄膜31を形成したシリコン単結晶基板32を評価サンプルとして用い、その評価サンプルに対し

てA_u薄膜31が形成された側とは反対側からA_u薄膜31に焦点を合わせてフェムト秒レーザーよりも長パルス幅の高出力レーザーLを照射した。

[0040] 基礎実験の仕様は、以下の通りである。

レーザーの種類 : ホルミウムYAGレーザー
波長 : 2080nm
パルス幅 : 250 μ s (半値150 μ s)
出力強度 : 2J/パルス (10W)
照射回数 : 2パルス
ビーム径 : 200~300 μ m
対物レンズのf値 : f=20

[0041] 評価サンプルの仕様は、以下の通りである。

シリコン単結晶基板の外形 : 30mm角
シリコン単結晶基板の厚さ : 370 μ m (表面は鏡面加工)
A_u薄膜の膜厚 : 0.1 μ m (スパッタ成膜)

[0042] 図7A及び図7Bは、図6に示す基礎実験を経た評価サンプルの平面図であり、図7Aはシリコン単結晶基板の表面をレーザーの照射側から見た状態、図7BはA_u薄膜の表面をレーザーの照射側とは反対側から見た状態を示している。図7Aを参照すると、シリコン単結晶基板32の表面にはレーザーの照射領域一帯に照射痕が見られ、特に焦点付近にはレーザーの熱衝撃により形成された凹部Rが確認でき、シリコン単結晶基板32に大きなダメージがあることが分かる。

[0043] また、図7Bを参照すると、A_u薄膜31の一部が物理的に除去されて下層のシリコン単結晶基板32が露出しており、シリコン単結晶基板32を透過したレーザーによりA_u薄膜31が加工されてはいるものの、加工領域の輪郭は不規則に乱れ、加工残り(残渣)も見られ、加工精度は決して高いとは言えない。

[0044] 尚、基礎実験の仕様と評価サンプルの仕様が互いに完全には一致しないため、上記比較例の基礎実験結果と、図4に示した本発明のレーザー照射方法

を用いた基礎実験結果とを厳密に対比することはできないが、本発明によるレーザーの照射方法を用いれば、シリコン材料基板へのダメージを最小に抑えつつ、シリコン材料の表面にあるA_u薄膜の加工が可能であることは十分確認できる。

実施例 1

[0045] 図8は、本発明による圧電振動子の周波数調整方法を示す図である。以上説明した本発明によるレーザー照射方法の用途は任意に選択することができるが、その一つとして圧電振動子の共振周波数を調整する際に利用することが挙げられる。

[0046] まず、ここに示す圧電振動子の周波数調整方法においては、図12に示したような、シリコン材料から成る電子部品パッケージの内部に圧電振動子3を気密封止したパッケージ型の圧電デバイスに対してレーザーを照射するものとする。

[0047] ここで、電子部品パッケージの内側に面する蓋部材2の表面（図中下面）には、圧電振動子3の振動部と概ね対向する位置に周波数調整用の質量膜としてA_u薄膜41が形成されている。

[0048] 以上の圧電デバイスに対して圧電振動子3の周波数調整を行う際には、予め製作段階で圧電振動子3の周波数を目標値よりも高周波側に設定した上で、蓋部材2の表面に形成されたA_u薄膜41に焦点を結ぶように蓋部材2側からフェムト秒レーザーLを照射し、それと同時にレーザーLの軌跡がA_u薄膜41の形成領域を跨ぐように一定方向に向けて直線的に走査する。

[0049] 照射されたレーザーは、蓋部材2を透過して反対側のA_u薄膜41に照射され、その熱衝撃によりA_u薄膜41が飛散して圧電振動子3の表面に付着する。

[0050] 圧電振動子3の表面にA_u薄膜41の飛散粒子が付着すると、圧電振動子3の振動部の実質的な質量が増加して圧電振動子3の周波数が低周波側へと変化する。ここで、レーザーの照射時間と周波数の変化量との相関関係を予め把握しておけば、レーザーの照射時間を制御することで圧電振動子3の周

波数を所望の値へと調整することができる。

[0051] 以上の周波数調整方法においては、レーザーにフェムト秒レーザーを用いているため、蓋部材 2 にはレーザーによる過度のダメージはなく、蓋部材 2 が破損して内部と外部との間でリークが発生するようなことはない。

[0052] また、蓋部材 2 を透過したレーザーによって、圧電振動子 3 の表面に付着した A u 薄膜 4 1 の粒子が二次的に飛散されるようなこと（二次スパッタ）や圧電振動子 3 自体がダメージを受けるようなこともなく、周波数の調整が安定して行われる。

[0053] 尚、以上の実施例では、周波数調整用の質量膜が蓋部材 2 の表面に形成されている場合について説明したが、質量膜を飛散させて圧電振動子 3 の表面に付着させることができるのであれば、質量膜は圧電デバイス内面のどの領域に形成されていてもよく、例えば、パッケージ基板 1 の内表面に質量膜が形成されていてもよい。

実施例 2

[0054] 図 9 は、本発明による圧電振動子の周波数調整方法を示す図である。図 8 に示した実施例 1 では、圧電振動子 3 の周波数を高周波側から低周波側へと調整しているが、図 9 に示す圧電振動子の周波数調整方法においては、それとは逆に周波数を低周波側から高周波側へ調整するものとしている。

[0055] まず、本実施例 2 の構成上の特徴として、実施例 1 では蓋部材 2 の表面に周波数調整用の質量膜を形成していたに対し、本実施例 2 では蓋部材 2 の表面には質量膜を形成せず、代わりに圧電振動子 3 の表面に周波数調整用の質量膜（A u 薄膜 4 2）を形成している。特にここでは、質量膜は圧電振動子 3 の主面のうち蓋部材 2 と対向する側の主面（図中上面）にのみ形成されているものとする。

[0056] 圧電振動子 3 の周波数を調整する際には、予め製作段階で圧電振動子 3 の周波数を目標値よりも低周波側に設定した上で、圧電振動子 3 の表面に形成された A u 薄膜 4 2 に焦点を結ぶように蓋部材 2 側からフェムト秒レーザー L を照射し、それと同時にレーザー L の軌跡が A u 薄膜 4 3 の形成領域を跨

ぐように一定方向に向けて直線的に走査する。

[0057] 照射されたレーザーは、蓋部材 2 を透過して圧電振動子 3 表面の Au 薄膜 4 3 に照射され、その熱衝撃により Au 薄膜 4 3 が飛散して物理的に除去される。

[0058] 圧電振動子 3 の表面から Au 薄膜 4 3 が飛散すると、圧電振動子 3 の振動部の実質的な質量が減少して圧電振動子 3 の周波数が高周波側へと変化する。

[0059] ここで、実施例 1 と同様にレーザーの照射時間と周波数の変化量との相関関係を予め把握しておけば、レーザーの照射時間を制御することで圧電振動子 3 の周波数を所望の値へと調整することができる。

[0060] 図 10A 及び図 10B は、図 9 に示す圧電振動子の周波数調整方法を用いて周波数調整を行った評価サンプルのレーザー顕微鏡による観察画像であり、図 10A は圧電振動子の表面をレーザーの照射側から見た状態、図 10B はレーザーを透過させた蓋部材をレーザーの照射側とは反対側から見た状態を示している。本願出願人は、図 9 に示す圧電振動子の周波数調整方法の有効性を評価するため、評価サンプルを用いて基礎実験を行った。基礎実験としては、図 12 に示したようなシリコン材料から成る電子部品パッケージの内部に音叉型の振動部を備えた圧電振動子 3 が気密封止されたパッケージ型の圧電デバイスを評価サンプルとして用い、蓋部材 2 にレーザーを透過させて圧電振動子 3 の振動部表面に照射すると同時にレーザーを図 10A 中矢印で示す方向へ 3 回に分けて順次走査した。1 回目の走査（走査 1）と 2 回目の走査（走査 2）では、振動部表面に形成された周波数調整用の質量膜（Au 薄膜）にレーザーを照射し、3 回目の走査（走査 3）では、振動部の母材（水晶）にレーザーを直接照射し、それによって、それぞれ 26.4 ppm、56.8 ppm、21.6 ppm の周波数の変化量を得た。尚、図 10A では、音叉型の振動部の片側先端のみを示し、図 10B では、図 10A に示した振動部の片側先端と対向する蓋部材表面を示してある。

[0061] レーザーの仕様は、以下の通りである。

波長 : 1552.5 nm

パルス幅 : 800 fs

最大強度 : 0.8 MW以上

[0062] 図10Aを参照すると、レーザーの各走査（走査1～3）により振動部表面にレーザーの照射痕が形成されていることが確認でき、図10Bを参照すると、レーザーを透過させた蓋部材の表面にレーザーの照射により飛散したと思われるAu薄膜や水晶の粒子が付着しているものの、蓋部材にクラック等の大きなダメージは無いことが確認できる。

[0063] 図11A～図11Dは、図9に示す圧電振動子の周波数調整方法を用いて周波数調整を行った評価サンプルのSEMによる観察画像であり、図11Aは圧電振動子の表面をレーザーの照射側から見た状態、図11Bは図11Aの一部（走査1終端部周辺）を拡大して見た状態、図11Cは図11Aの一部（走査2始端部周辺）を拡大して見た状態、図11Dは図11Aの一部（走査3終端部周辺）を拡大して見た状態を示している。図11Bを参照すると、走査1ではAu薄膜のみが除去されていることが確認でき、図11Cを参照すると、走査2ではAu薄膜と共に下層の水晶が一部除去されていることが確認でき、図11Dを参照すると、走査3では水晶のみがある程度の深さまで除去されていることが確認できる。以上の結果から、シリコンから成る電子部品パッケージ内に気密封止された圧電振動子の周波数を、電子部品パッケージを透過したフェムト秒レーザーにより調整可能であることが理解できる。

[0064] 以上のように、周波数調整用の質量膜が圧電振動子3の表面に形成されていた場合であっても、実施例1と同様に蓋部材2や圧電振動子3がレーザーによって過度のダメージを受けることはなく、周波数の調整が安定して行われる。

[0065] 尚、以上の実施例では、周波数調整用の質量膜が圧電振動子3の上面に形成されている場合について説明したが、周波数調整用の質量膜を飛散させて除去することができるのであれば、圧電振動子3の他の表面（下面や側面）

に形成されていてもよい。

[0066] また、以上の実施例では、圧電振動子の質量を減ずるに当たって、予め圧電振動子3の表面に形成した質量膜をレーザーにより除去しているが、圧電振動子3の母材である圧電振動片自体の一部をレーザーにより除去することで圧電振動子3の質量を減ずるようにしてもよい。

[0067] また、以上の実施例1、2において、圧電振動子としては、音叉型の振動部を持つ所謂音叉型圧電振動子や平面視矩形状の所謂ATカット圧電振動子など種々のものが挙げられるが、それらに限定されるものではない。

[0068] また、周波数調整用の質量膜としては、Auに限らずその他種々の材料のものが適宜選択され得る。

[0069] また、本発明のレーザーの照射方法において使用するレーザーのパルス幅は、本明細書中で定義した数値範囲に厳密に限定されるものではなく、本発明特有の作用及び効果が少なからず得られるのであれば、数値範囲の臨界点については、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で多少の誤差が許容され得るものである。

[0070] また、本発明においてレーザーの透過対象となるシリコン材料は、実施例で示したシリコン単結晶に限らず、本発明の主旨を逸脱しない範囲でシリコン(Si)を主成分とする材料全般が対象となる。

[0071] 本出願は、2009年10月7日に日本国に本出願人により出願された特願2009-233031号に基づくものであり、その全内容は参照により本出願に組み込まれる。さらに、本発明の背景技術として引用した特開平7-37911号公報、及び特表2007-512739号公報の全内容は、参照により本出願に組み込まれる。

[0072] 本発明の特定の実施の形態についての上記説明は、例示を目的として提示したものである。それらは、網羅的であったり、記載した形態そのままに本発明を制限したりすることを意図したものではない。数多くの変形や変更が、上記の記載内容に照らして可能であることは当業者に自明である。

産業上の利用可能性

[0073] 本発明によるレーザーの照射方法は、本発明の趣旨を逸脱しない範囲でシリコン材料にレーザーを透過させることが求められるあらゆる用途に適用することが可能であり、透過したレーザーの使用目的としては、照射対象物の切削加工、改質、溶解などが挙げられるが、これらに限定されるものではない。

符号の説明

- [0074]
- 1 パッケージ基板
 - 2 蓋部材（リッド）
 - 3 圧電振動子
 - 4 貫通配線
 - 5 外部接続端子
 - 6 質量膜
 - 1 1 レーザー光源
 - 1 2 波長変換素子
 - 1 3 集光光学系
 - 1 4 可動テーブル
 - 1 5 真空チャンバー
 - 1 6 N₂チャンバー
 - 1 7 照射対象物
 - 1 8 真空ポンプ
 - 2 1 Au薄膜
 - 2 2 シリコン単結晶基板
 - 2 3 シリコン単結晶基板
 - 2 4 スペーサー
 - 3 1 Au薄膜
 - 3 2 シリコン単結晶基板
 - 4 1 質量膜（Au薄膜）
 - 4 2 質量膜（Au薄膜）

請求の範囲

- [請求項1] シリコン材料に、パルス幅が50～1000 fsのパルスレーザーを照射して透過させることと、
透過した前記レーザーを前記シリコン材料を隔てた先の対象物に照射することと、を備えるレーザーの照射方法。
- [請求項2] 前記レーザーの波長は、1200～4000 nmである請求項1に記載のレーザーの照射方法。
- [請求項3] 少なくとも一部がシリコン材料で構成された電子部品パッケージの内部に收容された圧電振動子にレーザーを照射して当該圧電振動子の共振周波数を調整する圧電振動子の周波数調整方法であって、
前記レーザーとして請求項1又は2に記載のパルスレーザーを前記電子部品パッケージのシリコン材料領域に照射して透過させることと、
透過した前記レーザーを前記圧電振動子に照射することにより前記圧電振動子の共振周波数を調整することと、を備える圧電振動子の周波数調整方法。
- [請求項4] 前記圧電振動子の共振周波数を調整することは、前記圧電振動子の表面に形成された質量膜を前記レーザーにより除去することにより前記圧電振動子の共振周波数を調整することを含む、請求項3に記載の圧電振動子の周波数調整方法。
- [請求項5] 前記圧電振動子の共振周波数を調整することは、前記圧電振動子の母材を前記レーザーにより除去することにより前記圧電振動子の共振周波数を調整することを含む、請求項3に記載の圧電振動子の周波数調整方法。
- [請求項6] 少なくとも一部がシリコン材料で構成された電子部品パッケージの内部に收容された圧電振動子にレーザーを照射して当該圧電振動子の共振周波数を調整する圧電振動子の周波数調整方法であって、
前記レーザーとして請求項1又は2に記載のパルスレーザーを前記

電子部品パッケージのシリコン材料領域に照射して透過させることと、
透過した前記レーザーを前記電子部品パッケージの内面に形成された質量膜に照射して当該質量膜を飛散させることと、
飛散した前記質量膜を前記圧電振動子に付着させることにより前記圧電振動子の共振周波数を調整することと、を備える圧電振動子の周波数調整方法。

[請求項7]

少なくとも一部がシリコン材料で構成された電子部品パッケージと、
当該電子部品パッケージの内部に收容された圧電振動子と、を備え、
当該圧電振動子の共振周波数が、請求項3乃至6の何れか一つに記載の圧電振動子の周波数調整方法を用いて調整されている圧電デバイス。

[図1]

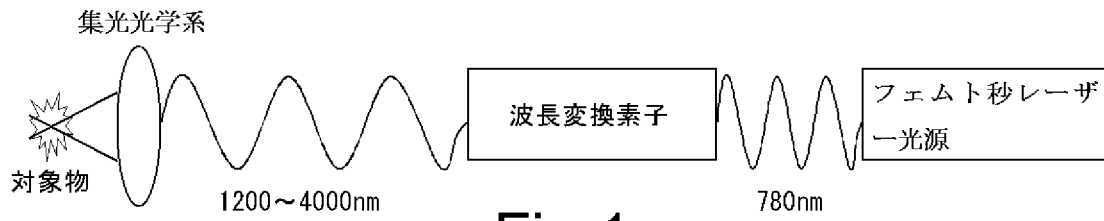


Fig.1

[図2]

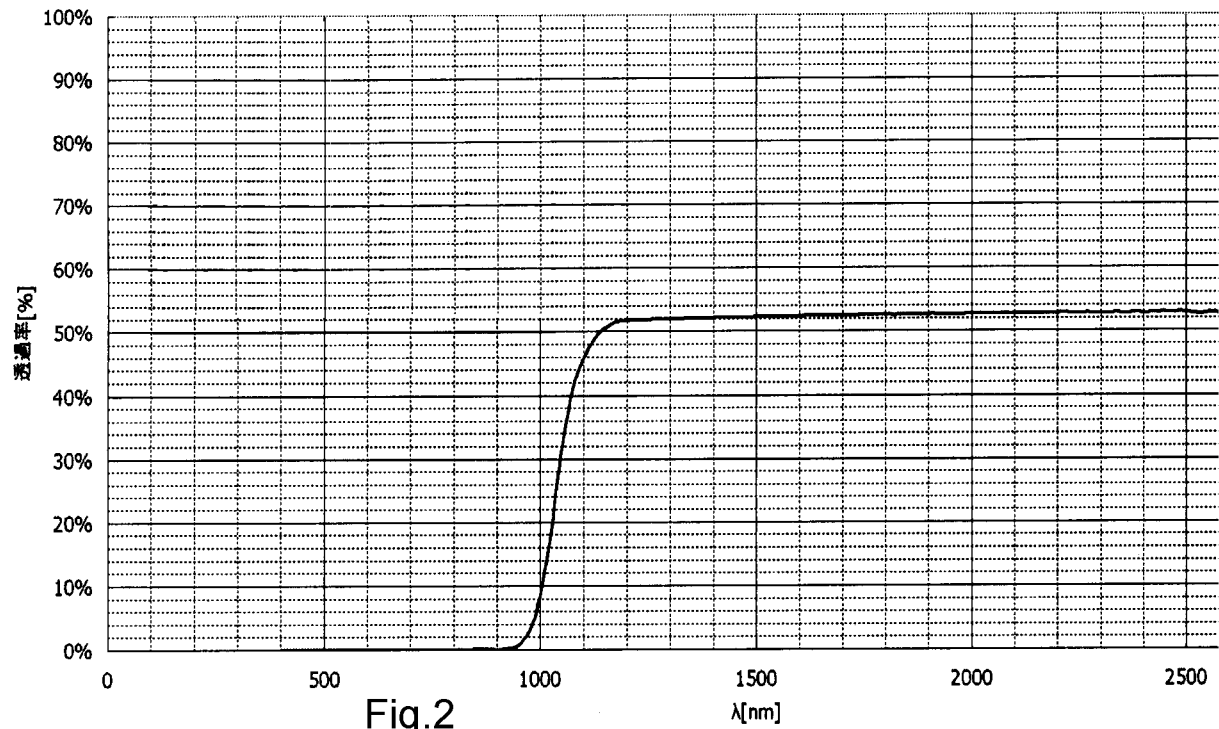


Fig.2

[図3]

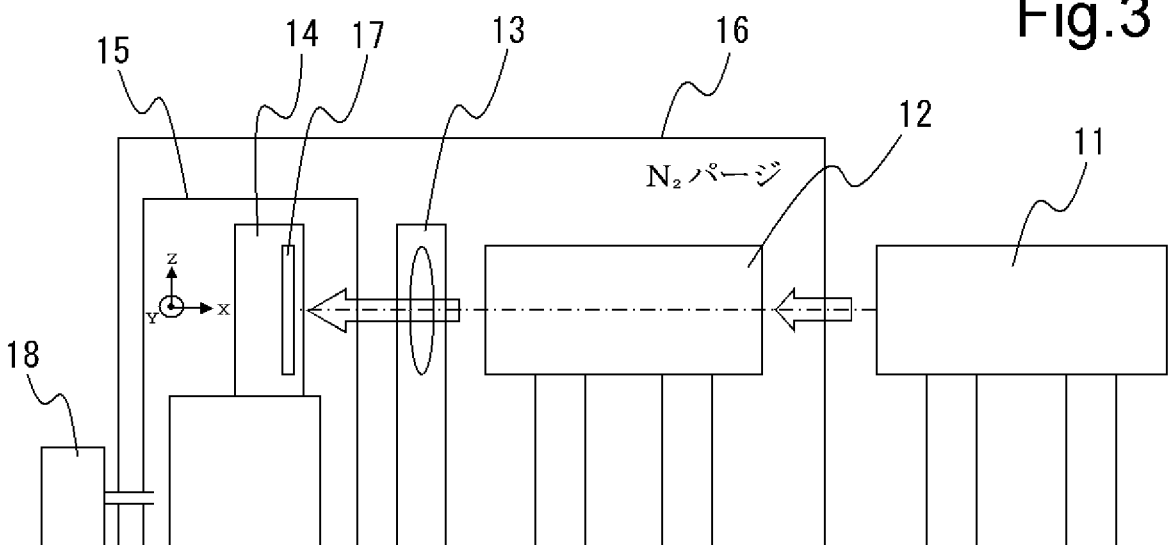
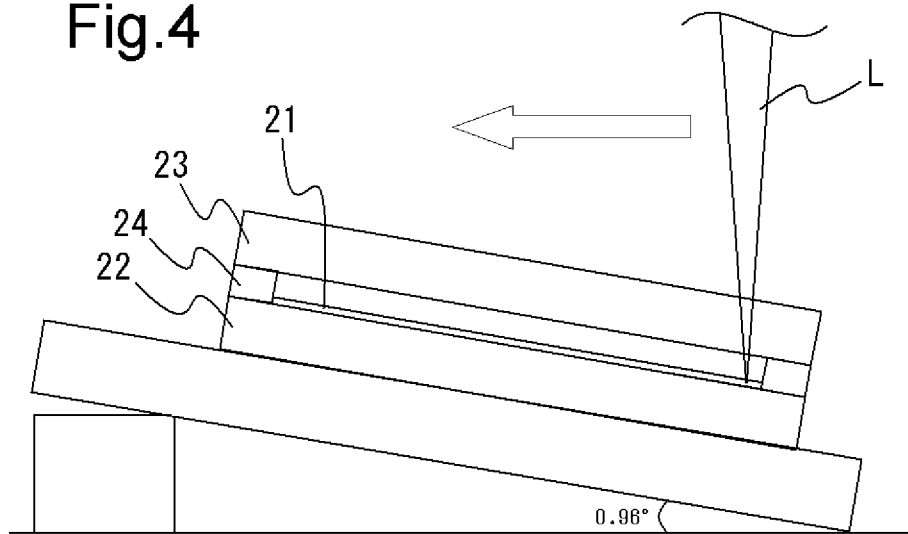


Fig.3

[図4]

Fig.4



[图5]

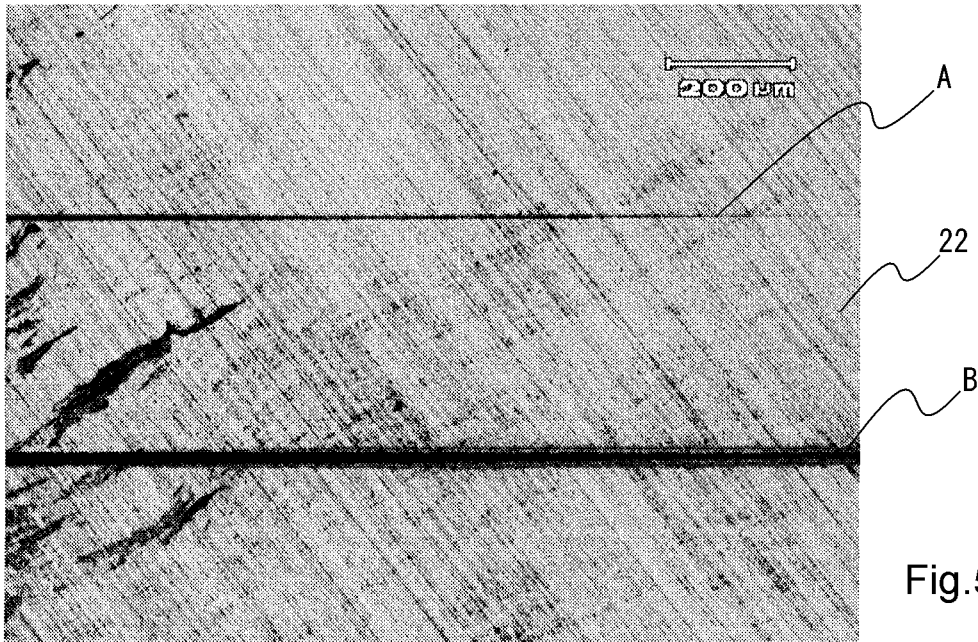


Fig.5A

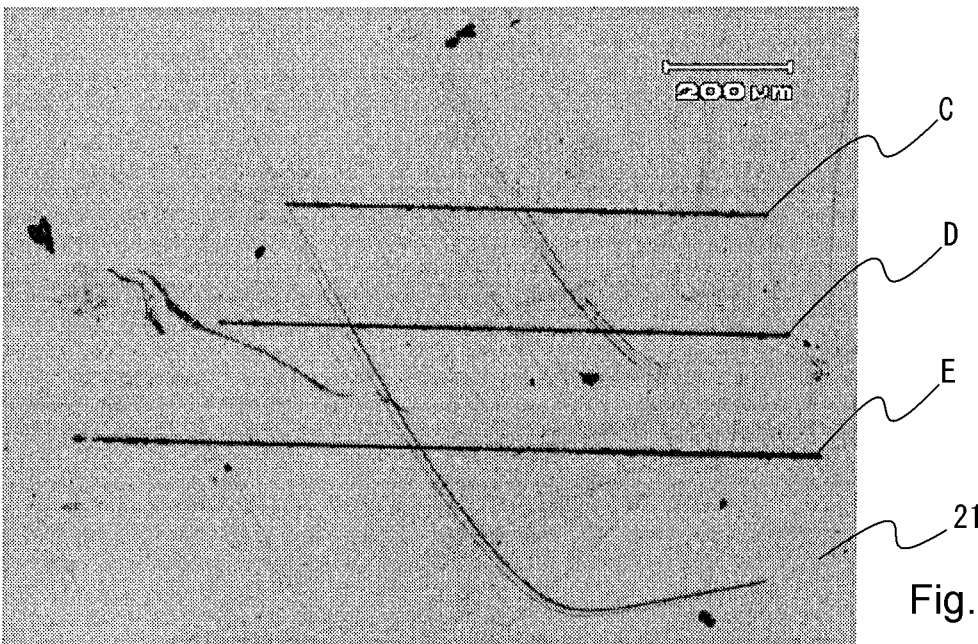


Fig.5B

[図6]

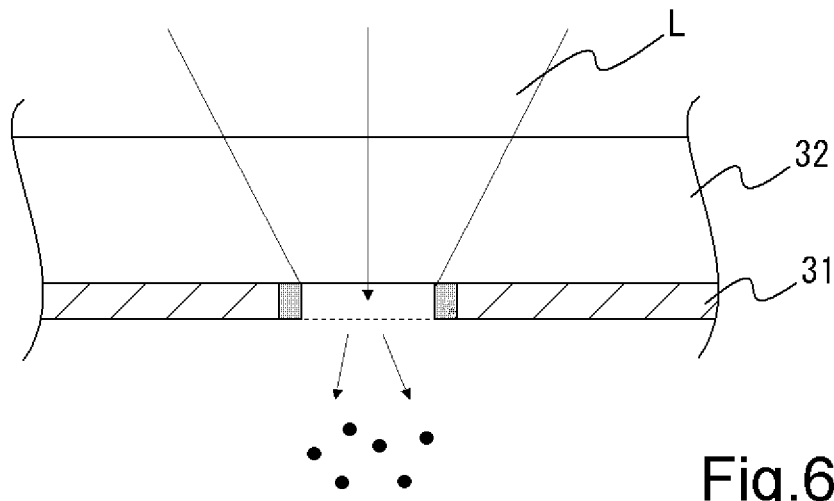


Fig.6

[図7]

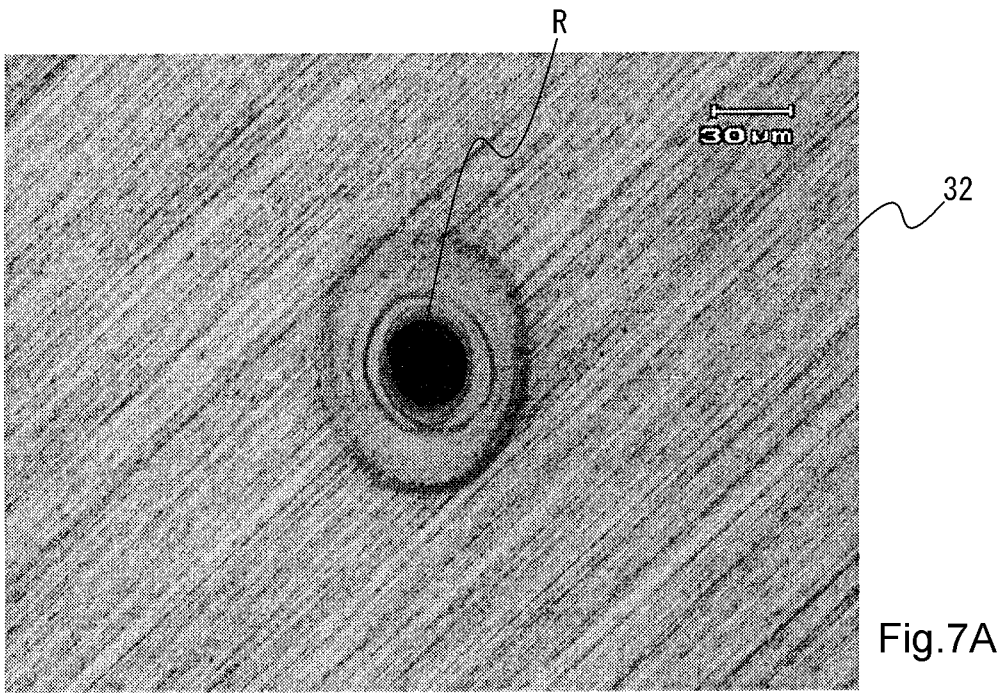


Fig.7A

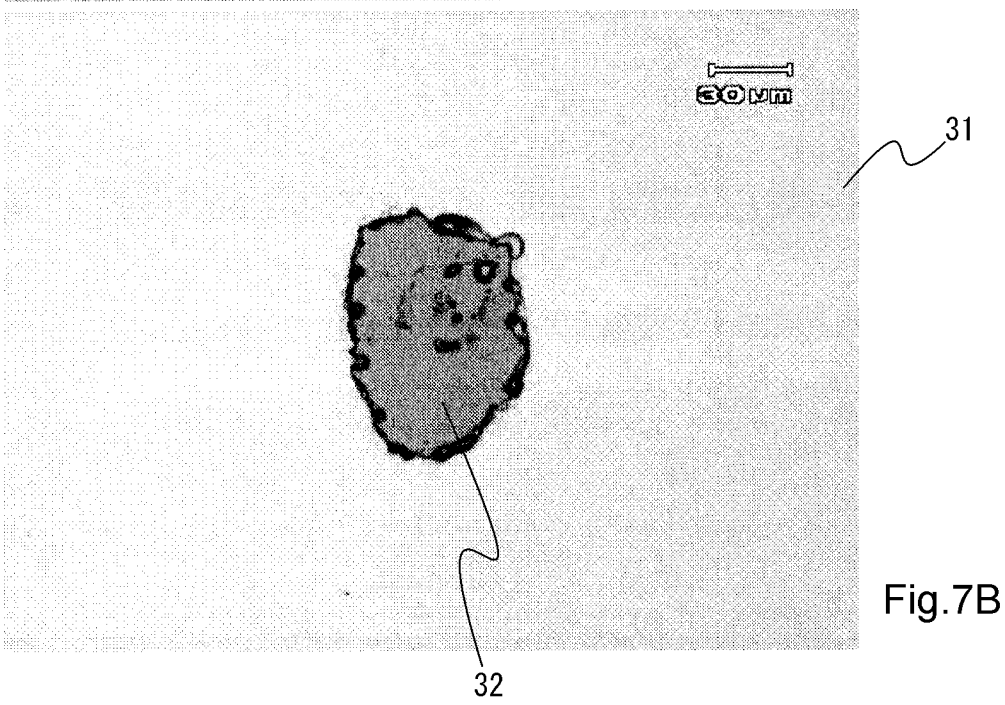
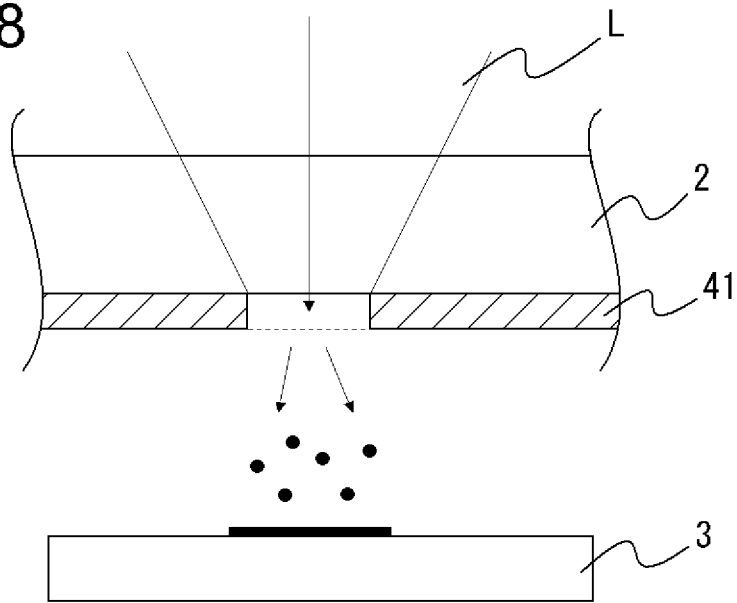


Fig.7B

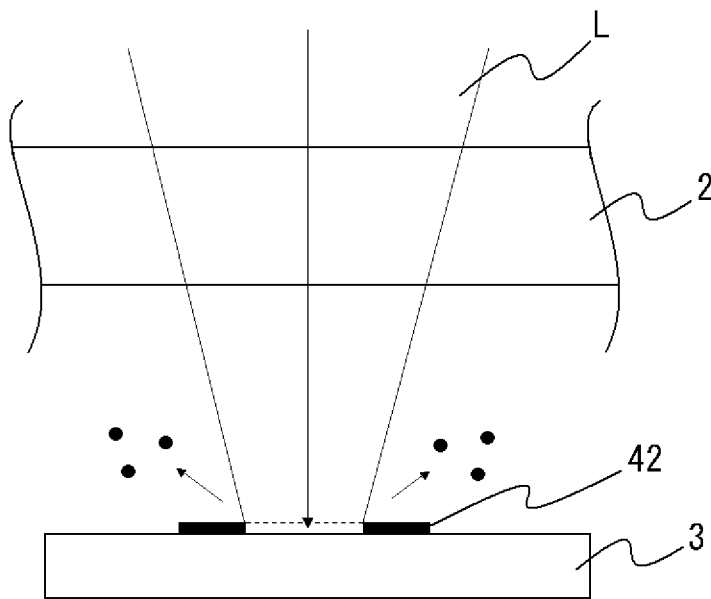
[図8]

Fig.8

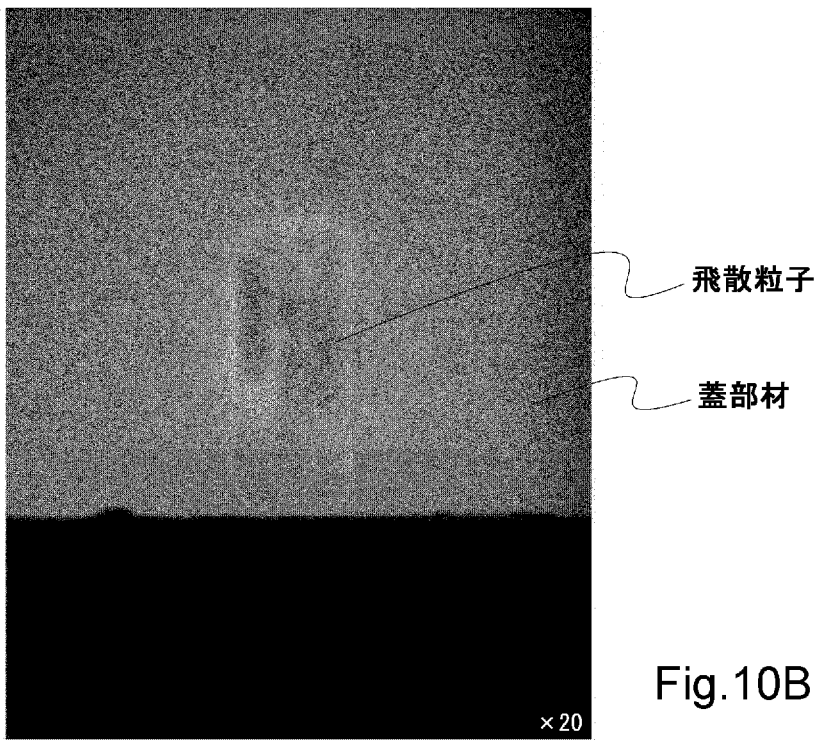
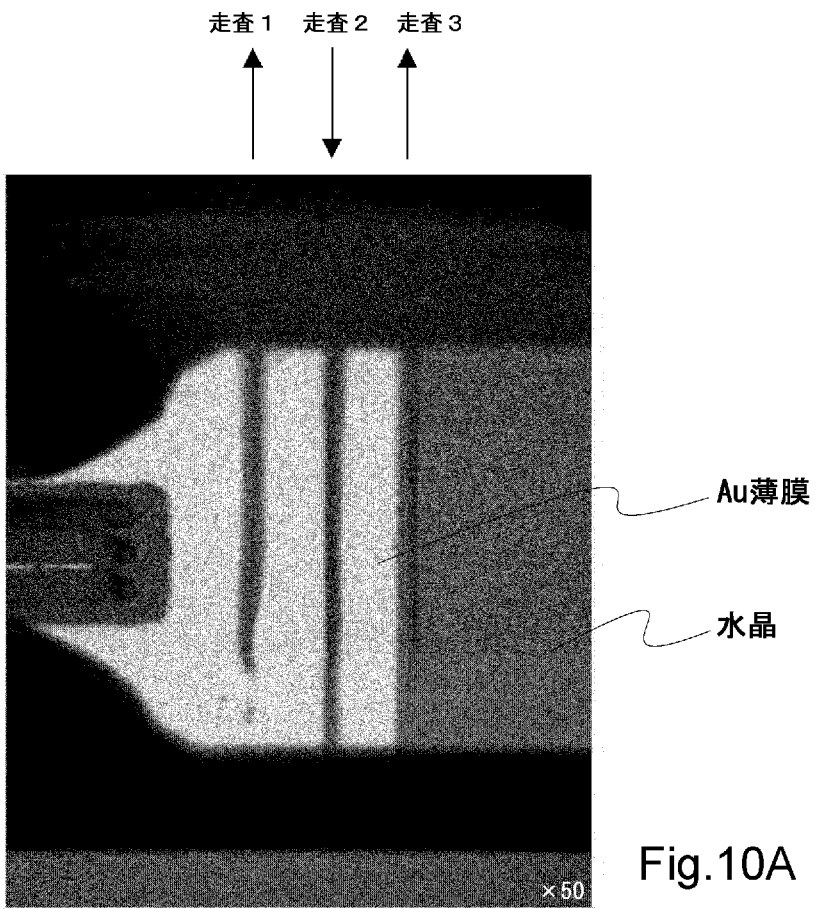


[図9]

Fig.9



[図10]



[図11]

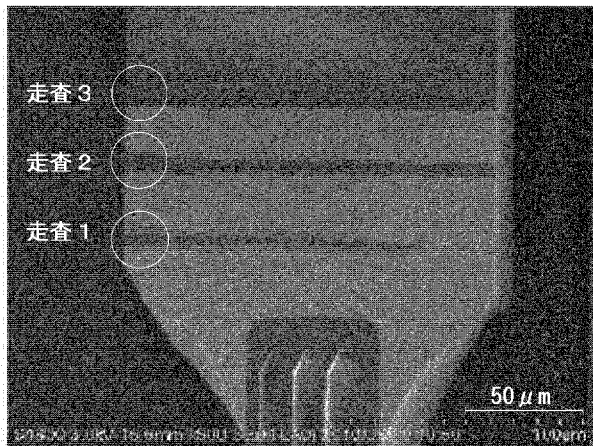


Fig.11A

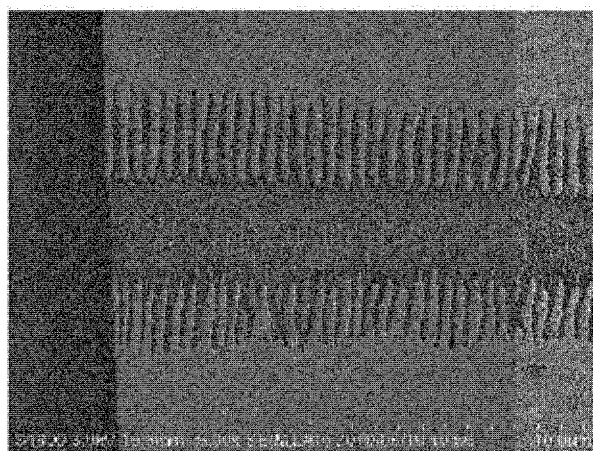


Fig.11B

走査 1

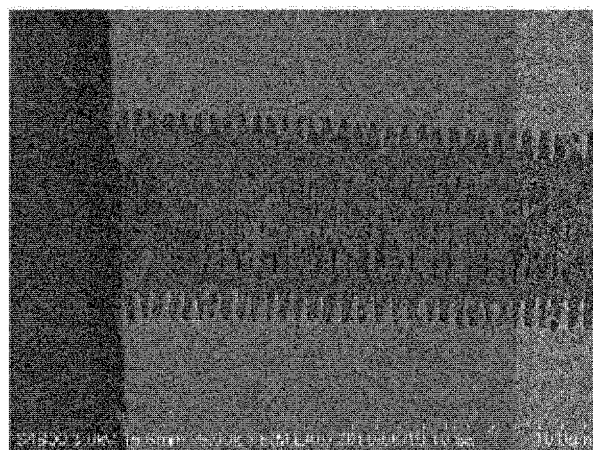


Fig.11C

走査 2

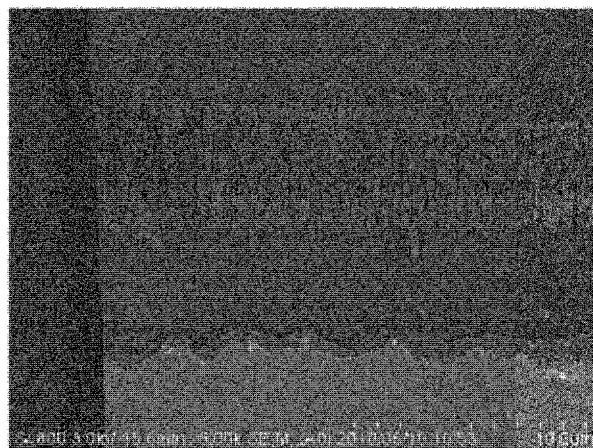


Fig.11D

走査 3

[図12]

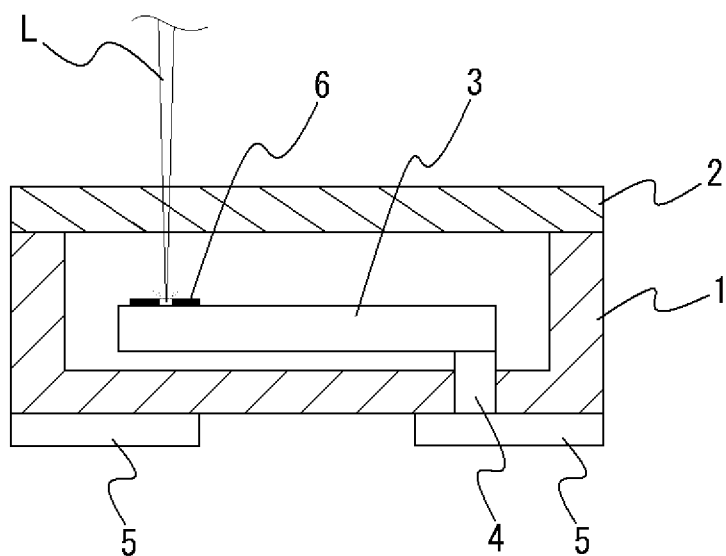


Fig.12

[図13]

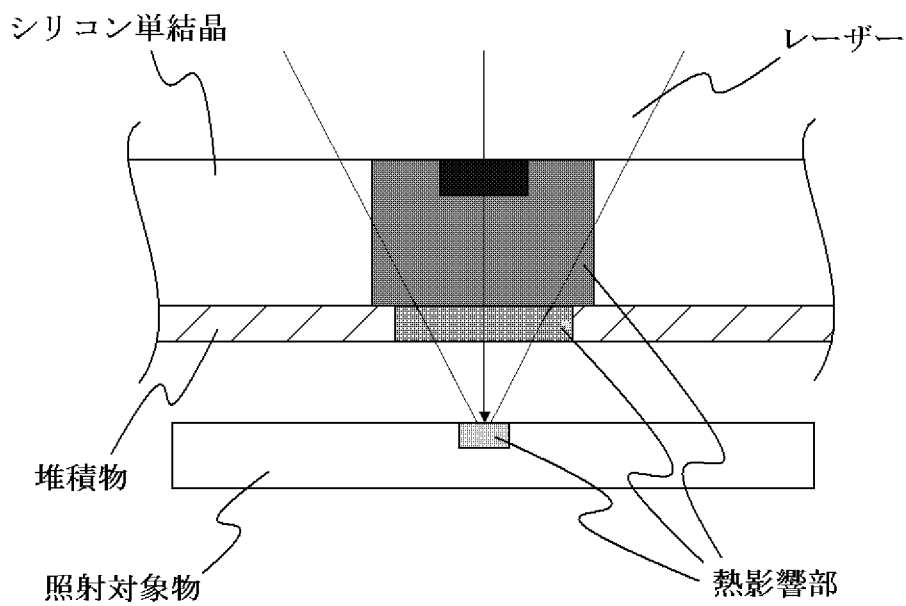


Fig.13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/067501

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H3/04(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, B23K26/36(2006.01)i, H01L41/09
(2006.01)i, H01L41/22(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)

H03H3/04, B23K26/00, B23K26/36, H01L41/09, H01L41/22

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 2007-163452 A (Citizen Holdings Co., Ltd.), 28 June 2007 (28.06.2007), paragraphs [0064] to [0071]; fig. 7, 8 (Family: none)	1
X Y	JP 2004-289237 A (Seiko Epson Corp.), 14 October 2004 (14.10.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1, 3, 7 2, 4-6
Y	JP 11-017488 A (TDK Corp.), 22 January 1999 (22.01.1999), page 2, claim 8 & US 6114795 A & US 6604266 B1	2, 4

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
10 December, 2010 (10.12.10)

Date of mailing of the international search report
21 December, 2010 (21.12.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/067501

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-106515 A (Kyocera Corp.), 11 April 2000 (11.04.2000), paragraph [0070] (Family: none)	2, 4
Y	JP 2008-078869 A (Citizen Holdings Co., Ltd.), 03 April 2008 (03.04.2008), paragraphs [0029] to [0040]; fig. 1 (Family: none)	5
Y	JP 05-029863 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 05 February 1993 (05.02.1993), entire text; all drawings (Family: none)	6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H03H3/04(2006.01)i, B23K26/00(2006.01)i, B23K26/36(2006.01)i, H01L41/09(2006.01)i, H01L41/22(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. H03H3/04, B23K26/00, B23K26/36, H01L41/09, H01L41/22

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	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2007-163452 A (シチズンホールディングス株式会社) 2007.06.28, 段落【0064】-【0071】、図7, 図8 (ファミリーなし)	1
X Y	JP 2004-289237 A (セイコーエプソン株式会社) 2004.10.14, 全文、 全図 (ファミリーなし)	1, 3, 7 2, 4-6

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

10.12.2010

国際調査報告の発送日

21.12.2010

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)

畑中 博幸

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

5W

9180

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 11-017488 A (ティーディーケイ株式会社) 1999.01.22, 2 ページ【請求項 8】 & US 6114795 A & US 6604266 B1	2, 4
Y	JP 2000-106515 A (京セラ株式会社) 2000.04.11, 段落【0070】 (ファミリーなし)	2, 4
Y	JP 2008-078869 A (シチズンホールディングス株式会社) 2008.04.03, 段落【0029】 - 【0040】、図 1 (ファミリーなし)	5
Y	JP 05-029863 A (松下電器産業株式会社) 1993.02.05, 全文、全図 (ファミリーなし)	6