

(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
2012 年 10 月 4 日(04.10.2012)



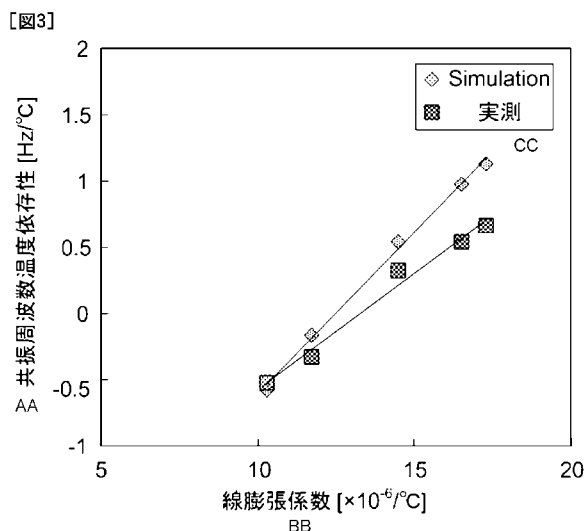
(10) 国際公開番号

WO 2012/133505 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 26/08 (2006.01) G02B 26/10 (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/058090
- (22) 国際出願日: 2012 年 3 月 28 日(28.03.2012)
- (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 2011-077585 2011 年 3 月 31 日(31.03.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): ブラザー工業株式会社(BROTHER KOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒4678561 愛知県名古屋瑞穂区苗代町 1 5 番 1 号 Aichi (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 武田 仁志(TAKEDA Hitoshi) [JP/JP]; 〒4678561 愛知県名古屋市瑞穂区苗代町 1 5 番 1 号 ブラザー工業株式会社内 Aichi (JP). 中嶋 和浩(NAKASHIMA Kazuhiro) [JP/JP]; 〒4678561 愛知県名古屋市瑞穂区苗代町 1 5 番 1 号 ブラザー工業株式会社内 Aichi (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, 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, QA, RO, RS, RU, RW, 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, MD, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告(条約第 21 条(3))

(54) Title: OPTICAL SCANNER AND MANUFACTURING METHOD FOR OPTICAL SCANNER

(54) 発明の名称: 光スキャナ及び光スキャナの製造方法



AA TEMPERATURE DEPENDENCY OF RESONANCE FREQUENCY
BB LINEAR EXPANSION COEFFICIENT
CC MEASUREMENTS

(57) Abstract: In the present invention, an optical scanner comprises a tabular structure constituted by a first material, and a pedestal. The structure has a mirror section, a pair of torsion bars of which one end is coupled to both sides of the mirror section, and a main body section coupled to the other end of the pair of torsion bars. The structure is provided with a driving section that is capable of oscillating the mirror section at a prescribed resonance frequency. At an opposing pair of non-fixed sections that are one part of the main body section and that sandwich the pair of torsion bars and the mirror section, the structure is fixed at least to the pedestal. The linear expansion coefficient of a second material that makes up the pedestal is of a higher value than the linear expansion coefficient of the first material and is set such that the absolute value of the temperature dependency of the resonance frequency becomes smaller than the absolute value of the temperature dependency of the resonance frequency in a case where the pedestal is made up of the first material.

(57) 要約: 第 1 材料によって構成される平板状の構造体と、台座とを備える光スキャナである。構造体は、ミラー部分と、その一端がミラー部分の両側に連結される一対の振れ梁部分と、一対の振れ梁部分の他端に連結される本体部分とを有する。構造体には、ミラー部分を所定の共振周波数にて揺動可能な駆動部が設けら

れる。構造体は、本体部分の一部であって一対の振れ梁部分及びミラー部分を挟んで対向する一対の被固定部分において、少なくとも台座に固定される。台座を構成する第 2 材料の線膨張係数は、第 1 材料の線膨張係数よりも大きな値であって、共振周波数の温度依存性の絶対値が、台座が第 1 材料によって構成された場合の共振周波数の温度依存性の絶対値よりも小さくなるような値に設定される。

WO 2012/133505 A1

明 細 書

発明の名称：光スキャナ及び光スキャナの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、レーザ等の光を走査する光スキャナ及び光スキャナの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 現在、振動するミラーによりレーザ光などの光を走査する光スキャナが知られている。例えば、特許文献1に記載の光スキャナは、捩れ梁部で揺動可能に支持されたミラーが、圧電素子などの駆動部によって共振状態にて揺動することにより、ミラーに入射する光を走査する。そして、ミラーを含む構造体（本体部）は、台座（ベース）に固定されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2009-186652号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 光スキャナの共振周波数は、様々な要因によって変化する。例えば、光スキャナの共振周波数は、ミラーを含む構造体のヤング率に依存して変化する。この説明として、図1に示される光スキャナ100の形状において、構造体110を異なるヤング率（＝剛性）の材料で形成した場合の、光スキャナ100の共振周波数の振る舞いを、図10に示す。図10では、横軸にヤング率の相対値が、縦軸に共振周波数の変動量が、それぞれ示される。なお、図10の横軸は、3点あるデータ点のうち、横軸において真ん中のデータ点のヤング率を基準とした相対値で示される。図10の縦軸は、3点あるデータ点のうち、縦軸において真ん中のデータ点の共振周波数を基準（100%）として、その値からの変動量の割合が示される。図10から明らかに、ヤング率と共振周波数とは、正比例の関係にある。構造体110のヤング率は

、基本的には、構造体 110 を構成する材料の種類によって決まる。しかし、材料のヤング率は、一般に温度依存性を有する。具体的には、同一種類の材料であっても、温度が高くなればヤング率が下がり、温度が低くなればヤング率が上がる。共振周波数はヤング率に依存するので、共振周波数も温度依存性を有する。従って、光スキャナが置かれる雰囲気温度の変化は、光スキャナの共振周波数に変化をもたらす。

[0005] 光スキャナが利用される装置としては、例えば、レーザープリンタや走査型画像表示装置などが考えられる。これらの装置では、走査速度の変化は出力の歪みとなるため、走査速度は一定であることが望まれる。即ち、共振状態で揺動される光スキャナが利用される場合、光スキャナの共振周波数は、所定の値に保たれることが要求される。しかし、光スキャナが置かれる雰囲気温度が変化した場合、光スキャナの共振周波数が変化する。従って、安定して駆動可能な光スキャナを得るためには、この共振周波数の温度依存性を低減される必要がある。そこで、本開示は、共振周波数の温度依存性を低減することが可能な光スキャナと、その光スキャナの製造方法と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] 上記課題を解決するために、本開示の一側面は、光を反射する反射面を含み、第 1 軸線を中心として揺動可能に構成されるミラー部分と、前記ミラー部分の両側に連結され、前記第 1 軸線に平行に前記ミラー部分から延出する一対の振れ梁部分と、前記一対の振れ梁部分の前記ミラー部分反対側の端部に連結され、前記第 1 軸線に交差する方向に延出する本体部分と、を有し、第 1 材料によって構成される平板状の構造体と、少なくとも前記構造体に設けられ、前記ミラー部分を所定の共振周波数にて前記第 1 軸線回りに揺動可能に構成される駆動部と、第 2 材料によって構成され、前記構造体が固定される台座とを備え、前記構造体は、前記本体部分の一部であって前記一対の振れ梁部分及び前記ミラー部分を挟んで対向する一対の被固定部分において、少なくとも前記台座に固定され、前記第 2 材料の線膨張係数は、前記第 1

材料の線膨張係数よりも大きく、且つ、前記共振周波数の温度依存性の絶対値が、前記台座が前記第 1 材料によって構成された場合の前記共振周波数の温度依存性の絶対値よりも小さくなる値に設定される、ことを特徴とする光スキャナである。

[0007] これによれば、構造体は、一对の被固定部分において、少なくとも台座に固定される。そして、一对の被固定部分は、一对の振れ梁部分及びミラ一部分を挟んで対向する、本体部分の一部分である。換言すれば、一对の振れ梁部分及びミラ一部分を間に挟んだ本体部分の両側において、構造体と台座とが固定される。そして、台座を構成する第 2 材料の線膨張係数の値は、以下の 2 条件を満たすように設定される。(1) 構造体を構成する第 1 材料の線膨張係数よりも大きな値、(2) 共振周波数の温度依存性の絶対値が、台座が第 1 材料によって構成された場合の絶対値よりも小さくなる値。ここで、構造体よりも台座の線膨張係数が大きいので、温度変化によって構造体に熱応力が発生する。具体的には、温度が上昇すると、台座が構造体よりも多く膨張する。この膨張量の差は、台座と構造体との固定部分に挟まれた振れ梁部分及びミラ一部分に対して、振れ梁の長手方向に張力を与える。振れ梁に張力がかかると、見かけ上、振れ梁の剛性が上昇する。振れ梁の剛性が高いほど、光スキャナの共振周波数は高くなる。一方、ヤング率は、温度が上昇するほど減少する。即ち、温度上昇に起因する第 1 材料のヤング率変化は、共振周波数を低くする方向に働く。しかし、第 2 材料の線膨張係数が第 1 材料の線膨張係数よりも大きいので、構造体に発生する熱応力は、温度上昇に伴い共振周波数を高くする方向に働く。従って、共振周波数の温度依存性が低減される。なお、温度が下降する場合は、台座が構造体よりも多く収縮するため、振れ梁を長手方向に圧縮する力が働く。即ち、振れ梁の見かけ上の剛性が低下し、共振周波数は低下する。従って、温度が下降する場合であっても同様に、構造体のヤング率変化に起因する共振周波数の変化（高くする方向に働く）は、台座と構造体との膨張量の差に起因する共振周波数の変化（低くする方向に働く）によって低減される。

- [0008] また、前記台座は、前記第2材料によって構成される第1層と、前記第1層と前記構造体との間に設けられ、前記第2材料とは異なる線膨張係数を有する第3材料によって構成される第2層とを有し、前記第2層は、前記構造体の前記被固定部分に固定され、前記第1層は、前記第2層に固定されてもよい。
- [0009] これによれば、台座が第1層と第2層とを有する。第1層と第2層は異なる線膨張係数を有する材料によって構成されるので、材料の組み合わせによって、より共振周波数の温度依存性を低減可能な台座の選択範囲が広がる。
- [0010] さらに、前記第2層は、前記第1層よりも積層方向における厚みが薄くなるように構成されてもよい。
- [0011] これによれば、構造体に接する第2層は、第1層よりも積層方向における厚みが薄い。従って、台座全体での線膨張係数は第1層によって大枠が決められ、第2層の材質を選択することで、細かな調整が可能となる。
- [0012] さらに、前記第1材料及び前記第2材料は、金属であってよい。
- [0013] これによれば、構造体及び台座が、ともに延性材料である金属から構成される。仮に、例えばシリコンなどの脆性材料で構造体や台座が構成された場合、材料の組み合わせによっては、熱応力が原因で、構造体や台座が破損する可能性がある。そのため、構造体及び台座が金属から構成されることで、材料の組み合わせの自由度が増す。また、プレスなどの機械加工による製造も可能となるため、低コストで光スキャナを提供できる。
- [0014] さらに、前記駆動部は、前記本体部分に設けられ、前記本体部分に板波を励起することで、前記本体部分及び前記一对の振れ梁部分を介して前記ミラー部分を前記第1軸線回りに揺動させることが可能な圧電素子であってもよい。
- [0015] これにより、圧電素子によって励起された板波がミラーを揺動させる、いわゆる外部励振型の光スキャナが得られる。従って、大きな振れ角が得られる。
- [0016] 本開示の他の側面は、光スキャナの製造方法であって、光を反射する反射

面を含み、第1軸線を中心として揺動可能に構成されるミラー部分と、前記ミラー部分の両側に連結され、前記第1軸線に平行に前記ミラー部分から延出する一对の振れ梁部分と、前記一对の振れ梁部分の前記ミラー部分反対側の端部に連結され、前記第1軸線に交差する方向に延出する本体部分とを有する構造体を構成する第1材料の線膨張係数よりも大きい値であって、互いに異なる線膨張係数の値を有する複数の材料を含む母集団から、前記構造体が固定される台座を構成する前記第2材料としての候補となる材料である第2材料候補を決定する候補決定工程と、前記第2材料候補を前記第2材料として用いた場合における、前記光スキャナの共振周波数の温度依存性を決定する依存性決定工程と、前記依存性決定工程によって前記温度依存性が決定された2つ以上の前記第2材料候補の中から、前記温度依存性の絶対値が最小となった前記第2材料候補を、前記第2材料として決定する第2材料決定工程と、前記第2材料決定工程によって決定された前記第2材料を用いて、前記光スキャナを作成する作成工程と、有することを特徴とする光スキャナの製造方法である。

[0017] これによれば、光スキャナの共振周波数の温度依存性が最小となる第2材料によって、台座が構成される。従って、共振周波数の温度依存性が低減された光スキャナが得られる。

[0018] また、前記2つ以上の前記第2材料候補の線膨張係数を取得する取得工程と、前記2つ以上の前記第2材料候補の線膨張係数の値と、前記依存性決定工程によって決定された前記2つ以上の第2材料候補における前記温度依存性との相関関係を決定する関係決定工程をさらに備え、前記第2材料決定工程は、前記関係決定工程によって決定された前記相関関係に基づいて、前記2つ以上の前記第2材料候補に加えて、前記母集団の中から前記温度依存性の絶対値が最小に近い値に対応する線膨張係数を有する材料を、前記第2材料として決定してもよい。

[0019] これによれば、線膨張係数と、共振周波数の温度依存性との相関関係に基づいて、温度依存性が最小となる第2材料が決定される。従って、全ての第

2 材料候補に対して共振周波数の温度依存性を決定しなくても、その線膨張係数の値に基づいて、第 2 材料としての決定が可能となる。

[0020] さらに、前記第 2 材料決定工程によって決定された前記第 2 材料における前記温度依存性が、所定の範囲内に収まるか否かを判断する判断工程と、前記判断工程において前記温度依存性が所定の範囲内に収まらなと判断された場合に、前記母集団の中から、前記台座の前記第 2 材料によって構成される第 1 層と前記構造体との間に設けられる第 2 層を構成する第 3 材料として用いる材料を決定する第 3 材料決定工程とをさらに有し、前記作成工程は、前記判断工程において前記温度依存性が所定の範囲内に収まらなと判断された場合に、前記第 2 材料を前記台座の前記第 1 層とし、前記第 3 材料を前記第 2 層とする前記台座を用いて、前記光スキャナを製造してもよい。

[0021] これによれば、共振周波数の温度依存性が所定の範囲内に収まらな場合、第 1 層と第 2 層とを有する積層構造の台座が作成される。第 1 層と第 2 層との材料の組み合わせによって、より共振周波数の温度依存性を低減可能な台座の選択範囲が広がる。

[0022] さらに、前記第 3 材料決定工程は、前記温度依存性が負の値の場合、前記第 2 材料よりも大きな線膨張係数を有する材料を前記第 3 材料として決定し、前記温度依存性が正の値の場合、前記第 2 材料よりも小さな線膨張係数を有する材料を前記第 3 材料として決定してもよい。

[0023] これによれば、第 2 材料のみで構成された台座の共振周波数の温度依存性が正の値の場合、換言すれば、温度上昇に伴い共振周波数も上昇する場合、第 2 材料よりも小さな線膨張係数を有する材料が、第 2 層を構成する第 3 材料として決定される。これにより、台座全体で見たときの線膨張係数を小さくすることができ、共振周波数の温度依存性を低減できる。一方、第 2 材料のみで構成された台座の共振周波数の温度依存性が負の値の場合、換言すれば、温度上昇に伴い共振周波数が低下する場合、第 2 材料よりも大きな線膨張係数を有する材料が、第 2 層を構成する第 3 材料として決定される。これにより、台座全体で見たときの線膨張係数を大きくすることができ、共振周

波数の温度依存性を低減できる。

発明の効果

[0024] 本発明によれば、共振周波数の温度依存性を低減することが可能な光スキャナと、その光スキャナの製造方法とが提供される。

図面の簡単な説明

[0025] [図1A]第1実施形態に係る、光スキャナ100の斜視図。

[図1B]第1実施形態に係る、光スキャナ100の平面図及びA-A断面図。

[図2A]台座120の構成材料の線膨張係数に対して、共振周波数の温度依存性を、シミュレーションによって求めた結果を示す図。

[図2B]台座120の構成材料の線膨張係数に対して、共振周波数の温度依存性を、実測によって求めた結果。

[図3]図2の結果をグラフにプロットし、光スキャナ100の共振周波数の温度依存性と台座の線膨張係数との相関関係を示す図。

[図4A]第2実施形態に係る、光スキャナ200の斜視図。

[図4B]第2実施形態に係る、光スキャナ200の平面図及びA-A断面図。

[図5]台座220を2層構造にした場合の、第1層221と第2層222との構成材料の線膨張係数と、その組み合わせにおける共振周波数の温度依存性との関係を示す図。

[図6]第3実施形態に係る、光スキャナ100及び200の製造工程を説明するフローチャート。

[図7]図6のフローチャートにおける、台座積層の検討工程を説明するフローチャート。

[図8]図6のフローチャートにおける、光スキャナの製造工程を説明するフローチャート。

[図9]台座220の第2層222の厚みが変化した場合における、共振周波数の温度依存性の変化を説明する図。

[図10]構造体110のヤング率と、光スキャナ100の共振周波数との相関関係を説明する図。

発明を実施するための形態

[0026] <第1実施形態>

以下に図面を参照しつつ、本開示の一側面に係る実施の形態を示す。なお、本開示の一側面は以下に記載の構成に限定されるものではなく、同一の技術的思想において種々の構成を採用することができる。例えば、以下に説明する各構成において、所定の構成を省略し、または他の構成などに置換してもよい。また、他の構成を含むようにしてもよい。

[0027] [光スキャナ100の構成]

図1A及び図1Bに示されるように、光スキャナ100は、構造体110と、台座120とを有する。構造体110のミラー部分111は、圧電素子114によって、第1軸線aを中心軸として揺動する。この揺動によって、ミラー部分111に入射した光は走査される。

[0028] 構造体110は、第1軸線aに平行な一对の短辺と、第1軸線aに直交する一对の長辺とから構成される、平面視矩形の板状構造である。構造体110は、ミラー部分111、一对の振れ梁部分112、本体部分113を有する。本体部分113の一方の面（例えば、上面）には、圧電素子114が設けられる。構造体110は、例えば、金属である第1材料によって構成される。以下、構造体110の説明を行う。

[0029] ミラー部分111は、レーザ等の光を反射する反射面を含む。ミラー部分111の形状は、本実施形態では、平面視において矩形である。しかし、ミラー部分111の形状は、これに限定されず、平面視において円形、楕円形、多角形など、任意の形状であっても差し支えない。反射面は、例えば、ミラー部分111の表面を鏡面研磨する、アルミニウムや銀などの金属薄膜が成膜されたサファイヤやダイヤモンドなどの誘電体をミラー部分111に貼り付ける、などの方法によって設けられる。

[0030] 一对の振れ梁部分112の一端は、ミラー部分111の両側に連結される。一对の振れ梁部分112は、ミラー部分111から離れる方向にそれぞれ延出する。本実施形態では、一对の振れ梁部分112の延出方向は、第1軸

線 a に平行である。具体的には、第 1 軸線 a は、一对の捩れ梁部分 1 1 2 の中心を通る。一对の捩れ梁部分 1 1 2 によって、ミラー部分 1 1 1 の両側が、第 1 軸線 a 回りに揺動可能に弾性的に支持される。つまり、一对の捩れ梁部分 1 1 2 は、ミラー部分 1 1 1 を第 1 軸線 a 回りに揺動可能に支持するトーションバーとしての役割を持っている。

[0031] 本体部分 1 1 3 は、一对の捩れ梁部 1 1 2 の他端、即ち、ミラー部分 1 1 1 とは反対側の端部に連結される。本体部分 1 1 3 は、ミラー部分 1 1 1 から離間し、且つ第 1 軸線 a に交差する方向に延出する。本実施形態では、本体部分 1 1 3 は、一对の捩れ梁部 1 1 2 との連結部分から、第 1 軸線 a に直交する方向の両側へと延出する。本体部分 1 1 3 は、被固定部分 1 1 3 a と、節連結部分 1 1 3 b とを有する。被固定部分 1 1 3 a は、一对の捩れ梁部分 1 1 2 及びミラー部分 1 1 1 を挟んで、一对設けられる。本実施形態では、本体部分 1 1 3 の第 1 軸線 a 方向における端部に、第 1 軸線 a に直交する長辺に沿って矩形の貫通孔が設けられる。第 1 軸線 a 方向において、この貫通孔よりもミラー部分 1 1 1 から遠い位置に存在する本体部分の領域が、被固定部分 1 1 3 a である。この被固定部分 1 1 3 a において、構造体 1 1 0 と台座 1 2 0 とが固定される。節固定部分 1 1 3 b は、矩形の貫通孔の第 1 軸線 a に直交する方向の中心部分に設けられる。節固定部分 1 1 3 b は、第 1 軸線 a 方向に伸長する。節固定部分 1 1 3 b は、矩形の貫通孔よりもミラー部分 1 1 3 に近い本体部分 1 1 3 と、被固定部分 1 1 3 a とを連結する。より具体的には、節固定部分 1 1 3 b は、一对の捩れ梁部分 1 1 2 と同一直線状に位置する。これにより、構造体 1 1 0 と台座 1 2 0 との線膨張係数の差による熱応力は、節固定部分 1 1 3 b を介して、一对の捩れ梁部分 1 1 2 の引張／収縮に効率よく変換される。

[0032] 本体部分 1 1 3 の上面には、駆動部としての圧電素子 1 1 4 が設けられる。圧電素子 1 1 4 は、本体部分 1 1 3 の第 1 軸線 a 方向における中間位置であって、第 1 軸線 a に直交する方向における両端部に、一对設けられる。圧電素子 1 1 4 は、例えば、厚さ $30\ \mu\text{m}$ ～ $100\ \mu\text{m}$ の平板状に成形された

チタン酸ジルコン酸鉛などの圧電材料の両面に対して、電極層として金や白金等を $0.2\mu\text{m}\sim 0.6\mu\text{m}$ 積層することで形成される。圧電素子114と本体部分113とは、導電性接着剤で接着される。そして、圧電素子114の上面に、ワイヤボンディングなどで金などの金属細線（非図示）が接続される。

[0033] 台座120は、平面視矩形の形状を示す。台座120は、矩形に切り抜かれた矩形孔を、その中央部分に有する。この矩形孔の長手方向に沿って、構造体110の被固定部分113aは、台座120の矩形孔の隣接部分に固定される。台座120の厚みは、構造体110の厚みに比べて十分に大きい。そのため、構造体110が揺動しても、台座120は、殆ど変形しない。台座120は、第1層121のみで構成される、単一の層構造を示す。第1層121を構成する第2材料は、例えば、構造体110を構成する第1材料とは異なる線膨張係数を有する金属である。より具体的には、第2材料の線膨張係数の値は、以下の2条件を満たすように設定される。（1）第1材料の線膨張係数よりも大きな値、（2）共振周波数の温度依存性の絶対値が、台座120が構造体110と同じ第1材料によって構成された場合の共振周波数の温度依存性の絶対値よりも小さくなる値。

[0034] 構造体110は金属で形成されるので、構造体110と圧電素子114の上面の電極層との間に電圧を印加することで、圧電素子114を変形させることが可能となる。第1軸線aに対して一方の側に設けられる圧電素子114と、他方の側に設けられる圧電素子114とは、逆位相となるように交流電圧がそれぞれ印加される。この交流電圧の周波数が、光スキャナ100の共振周波数に相当する場合、圧電素子114の変形に伴い、本体部分114に板波が励起される。この板波が、本体部分113及び一対の振れ梁部分112を介してミラー部分111に伝達されることで、ミラー部分111は、所定の共振周波数において第1軸線a回りに揺動する。即ち、光スキャナ100は、いわゆる外部励振型の光スキャナであるため、大きな振れ角が得られる。ここで、構造体110は、被固定部分113aにおいて台座120

に固定され、被固定部分 1 1 3 a に挟まれる本体部分 1 1 3 は、台座 1 2 0 によって宙に浮いた状態となっている。そのため、光スキャナ 1 0 0 の駆動時に、本体部分 1 1 3 は上下方向に変位する。しかし、振れ梁部分 1 1 2 は、本体部分 1 1 3 の振動の節となる位置に設けられるので、本体部分 1 1 3 が上下に変位しても、振れ梁部分 1 1 2 は、上下に変位しない。さらに、振れ梁部分 1 1 2 と同一直線上に設けられた節固定部分 1 1 3 b が、被固定部分 1 1 3 a と振れ梁部分 1 1 2 とを接続する。そのため、振れ梁部分 1 1 2 は、上下方向の変位がより抑制される。そのため、ミラー部分 1 1 1 は第 1 軸線 a 回りに揺動される際に、上下方向の変位が抑制される。従って、ミラー部分 1 1 1 に入射する光は、常にミラー部分 1 1 1 上の同じ位置に入射するので、安定した光走査が可能になる。

[0035] 構造体 1 1 0 よりも台座 1 2 0 の線膨張係数が大きいので、温度変化によって構造体 1 1 0 に熱応力が発生する。具体的には、温度が上昇すると、台座 1 2 0 の方が構造体よりも多く膨張する。この膨張量の差は、台座 1 2 0 と構造体 1 1 0 との固定部分に挟まれた一对の振れ梁部分 1 1 2 及びミラー部分 1 1 1 に対して、第 1 軸線 a の方向に張力を与える。一对の振れ梁部分 1 1 2 に張力がかかると、見かけ上、一对の振れ梁部分 1 1 2 の剛性が上昇する。そして、一对の振れ梁部分 1 1 2 の剛性が高いほど、光スキャナ 1 0 0 の共振周波数は高くなる。一方、ヤング率は、温度が上昇するほど減少する。即ち、温度上昇に起因する第 1 材料のヤング率変化は、共振周波数を低くする方向に働く。しかし、第 2 材料の線膨張係数が第 1 材料の線膨張係数よりも大きいので、構造体 1 1 0 に発生する熱応力は、温度上昇に伴い共振周波数を高くする方向に働く。従って、共振周波数の温度依存性が低減される。なお、温度が下降する場合は、台座 1 2 0 の方が構造体 1 1 0 よりも多く収縮するため、一对の振れ梁部分 1 1 2 を長手方向に圧縮する力が働く。即ち、一对の振れ梁部分 1 1 2 の見かけ上の剛性が低下し、共振周波数は低下する。従って、温度が下降する場合であっても同様に、構造体 1 1 0 のヤング率変化に起因する共振周波数の変化（高くする方向に働く）は、台座 1

20と構造体110との膨張量の差に起因する共振周波数の変化（低くする方向に働く）によって低減される。

[0036] 構造体110及び台座120が、ともに延性材料である金属から構成される。仮に、例えばシリコンなどの脆性材料で構造体110や台座120が構成された場合、材料の組み合わせによっては、熱応力が原因で、構造体110や台座120が破損する可能性がある。そのため、構造体110及び台座120が金属から構成されることで、材料の組み合わせの自由度が増す。また、プレスなどの機械加工による製造も可能となるため、低コストで光スキャナ100を提供できる。

[0037] [台座120の構成材料の検討]

図2に示されるように、異なる線膨張係数を有する材料が台座120に用いられることによって、光スキャナ100の共振周波数の温度依存性は変化する。本実施形態では、構造体110の材料として、SUS430が利用される。SUS430の線膨張係数 α は、 $10.4 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$ である。SUS430の構造体110に対して、台座120の構成材料は、SUS420 ($\alpha = 10.3 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$)、SECC ($\alpha = 11.7 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$)、SUS309 ($\alpha = 14.5 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$)、SUS316 ($\alpha = 16.5 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$)、SUS304 ($\alpha = 17.3 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$)の5種類の金属を含む母集団の中から選定される。なお、図2において、共振周波数の温度依存性は、 1°C の温度上昇に対する共振周波数の変化量 ($\text{Hz}/\text{°C}$) の単位で示される。

[0038] 図2Aには、図1A及び図1Bに示される光スキャナ100において、SUS430によって構造体110を形成し、台座120の材料（＝線膨張係数）を変化させた場合の、共振周波数の温度依存性をシミュレーションによって求めた結果が示される。図2Bには、図1A及び図1Bに示される光スキャナ100において、SUS430によって構造体110を形成し、台座120の材料（＝線膨張係数）を変化させた場合の、共振周波数の温度依存性を実際に光スキャナ100を製造した上での実測によって求めた結果が示

される。

[0039] 図2Aと図2Bとの間では、台座120と構造体110との接着条件や、製造上のサイズばらつきなどの様々な不定性により、同一材料であっても、温度依存性の絶対値は異なる。しかし、どちらの結果であっても、台座120の材料の線膨張係数が大きいほど、共振周波数の温度依存性も大きくなるという傾向は一致した。より具体的には、SUS420で台座120が構成される場合、共振周波数の温度依存性は、シミュレーション、実測どちらも $-0.5 \sim -0.6$ [Hz/°C]であった。SUS420の線膨張係数 ($\alpha = 10.3 \times 10^{-6}$ [1/°C]) は、構造体110の構成材料であるSUS430の線膨張係数 ($\alpha = 10.4 \times 10^{-6}$ [1/°C]) とほぼ等しい。即ち、SUS420で台座120が形成される場合の共振周波数の温度依存性は、構造体110と台座120との線膨張係数がほぼ同じ場合の値と見なせる。ヤング率は温度上昇に伴い低下するため、構造体110と台座120との線膨張係数がほぼ同じ場合、共振周波数の温度依存性は負の値を示す（温度が上昇するほど、共振周波数が下がる）。そして、台座120の線膨張係数が、構造体110よりも大きくなると、共振周波数の温度依存性は緩和される。これは、前記したように、構造体110と台座120との線膨張係数の差に起因して構造体110に働く熱応力によって、一对の振れ梁部分112が引っ張られ、見かけ上、一对の振れ梁部分112の剛性が上昇するためである。図2の結果に従えば、SECC及びSUS309が台座120に用いられる場合、構造体110と同一材料にて台座120が構成される場合と比較して、共振周波数の温度依存性は緩和される。なお、共振周波数の温度依存性は低減されるほど望ましいので、この結果から、共振周波数の温度依存性の絶対値が最小となる材料が、台座120の構成材料として決定されてよい。例えば、図2Aの結果に従えば、SECCを用いて台座120が形成される。また、図2Bの結果に従えば、SECC又はSUS309を用いて台座120が形成される。これにより、共振周波数の温度依存性が低減された光スキャナ100が得られる。

[0040] 台座１２０の材料の線膨張係数を横軸に、共振周波数の温度依存性を縦軸に取ることで、両者の相関関係を調べる。図３から明らかに、台座１２０の構成材料の線膨張係数と、共振周波数の温度依存性との間には、正の相関、より具体的には一次比例の関係がある。なお、シミュレーションと実測とにおける共振周波数の温度依存性の差は、比例係数の違いとして図３には表れている。この一次比例の関係（相関関係）を用いて、例えば、共振周波数の温度依存性の絶対値が最小となる材料を、台座１２０の材料として選定できる。さらに言えば、例えば、母集団の中から少なくとも２つの材料に対する共振周波数の温度依存性を決定すれば、線膨張係数と共振周波数の温度依存性との比例係数が決定できる。即ち、この比例係数を利用すれば、共振周波数の温度依存性を決定していない材料に対しても、その線膨張係数の値のみに基づいて、共振周波数の温度依存性が最小となる材料の選定が可能になる。

[0041] ＜第２実施形態＞

図４Ａ及び図４Ｂを用いて、本発明の好ましい他の実施の形態を示す。図４に示されるように、光スキャナ２００は、構造体２１０と、台座２２０とを有する。光スキャナ２００は、台座２２０の構成において、前記した光スキャナ１００と相違する。

[0042] [光スキャナ２００の構成]

構造体２１０は、ミラー部分２１１、一对の振れ梁部分２１２、本体部分２１３を有する。本体部分２１３の上面には、圧電素子２１４が設けられる。構造体２１０が有するこれらの構成は、前記した構造体１１０が有する構成と同様である。そのため、構造体２１０の詳細な説明は省略される。

[0043] 台座２２０は、第１層２２１と第２層２２２とを有する。第１層２２１の構成材料と、第２層２２２の構成材料とは、線膨張係数が互いに異なる金属である。そのため、材料の組み合わせによって、より共振周波数の温度依存性を低減可能な台座２２０の選択範囲が広がる。第２層２２２は、平面視矩形に構成され、矩形に切り抜かれた矩形孔をその中心部分に有する。第２層

222は、前記した実施形態における第1層121と同様に、構造体210の被固定部分213aに固定される。第1層221は、平面視において、第2層222と同一に形成される。第1層221は、第2層222の下面に固定される。即ち、第2層222は、その一方の面（上面）が構造体210に固定され、その他方の面（下面）が第1層221に固定される。なお、第2層222の厚さは、第1層221の厚さよりも薄い。一例として、第1層221の厚さが2mm程度の場合、第2層222の厚さは、0.4mm程度に設定される。なお、構造体210の厚さは、例えば、0.1mm程度である。

[0044] [台座220の構成材料の検討]

前記した第1実施形態では、台座120の構成材料を変化させ、その線膨張係数を調整することで、共振周波数の温度依存性が調整可能なことを示した。ここでは、さらに、線膨張係数が異なる金属材料の積層によって、台座220を構成することで、共振周波数の温度依存性をさらに微調整できることを示す。

[0045] 図5は、図4A及び図4Bに示される光スキャナ200において、第1層221の材料に対して、第2層222の材料を組み合わせた場合における、共振周波数の温度依存性をシミュレーションで求めた結果を示す図である。一例として、第1層221の材料としては、SUS420 ($\alpha = 10.3 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$)、SECC ($\alpha = 11.7 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$)、SUS304 ($\alpha = 17.3 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$) が検討される。また、第2層222の材料としては、SUS430 ($\alpha = 10.4 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$)、高機能バネ鋼 ($\alpha = 14.0 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$)、SUS304 ($\alpha = 17.3 \times 10^{-6} [/\text{°C}]$) が検討される。なお、構造体210は、光スキャナ100の場合と同様に、SUS430によって構成される。また、高機能バネ鋼としては、例えば、日新製鋼（株）製のHT2000などが利用可能である。

[0046] 図5より、第1層221の材料を固定して、第2層222の材料を変化させた場合、共振周波数の温度依存性が変化していることが分かる。例えば、

第2層222にSUS430とSUS304とが使われる場合を比較すると、第1層221の材料に関らず、両者の共振周波数の温度依存性は、約0.2 [Hz/°C] 程度の差がある。そして、線膨張係数が大きい材料が第2層222に利用されるほど、共振周波数の温度依存性は大きくなる傾向にある。一方、第1層221にSUS420とSUS304とが使われる場合を比較すると、第2層222の材料に関らず、両者の共振周波数の温度依存性は、約0.5～0.8 [Hz/°C] 程度の差がある。即ち、台座220全体での線膨張係数は、厚みが大きい第1層221によって大枠が決められ、第2層222の材質を選択することで、細かな調整が可能となる。この性質を利用して、第1層221の材料を共振周波数の温度依存性の絶対値が最小となるものを選択した上で、第2層222の材質を選択することで、共振周波数の温度依存性をより0に近づけることが可能となる。例えば、SUS420で第1層221を構成した場合に、共振周波数の温度依存性が負の値であるので、第1層221よりも大きな線膨張係数を有する材料で第2層222を構成することによって、共振周波数の温度依存性をより低減できる。一方、例えば、SUS304で第1層221を構成した場合に、共振周波数の温度依存性が正の値であるので、第1層221よりも小さな線膨張係数を有する材料で第2層222を構成することによって、共振周波数の温度依存性をより低減できる。

[0047] <第3実施形態>

以上得られた知見に基づいて、共振周波数の温度依存性が緩和された光スキャナの製造が可能となる。ここでは、その工程について図6～図8を用いて説明する。

[0048] 先ず、工程S1において、光スキャナの構造体（前記した実施形態の構造体110又は構造体210）を構成する第1材料の、線膨張係数が取得される。なお、構造体を構成する材料は、例えば光スキャナの共振周波数の設計値などに従って、予め選定されている。線膨張係数は、材料を直接測定することによって取得されてもよいし、データシートなどの既存の値を利用する

ことによって取得されてもよい。

[0049] 次に、工程 S 2 において、構造体を構成する材料のヤング率の、温度依存性が取得される。前記したように、構造体のヤング率は、光スキャナの共振周波数に影響を与える。ヤング率が高いほど、共振周波数も高くなる。そのため、ヤング率の温度依存性を取得することで、構造体のみに起因する、光スキャナの共振周波数の温度依存性が分かる。なお、ヤング率の温度依存性は、データシートなどの既存の値を係数に利用した数式の適用や、実測など、任意の方法で取得されてよい。

[0050] 次に、工程 S 3 において、台座を構成する第 2 材料の候補が決定され、その線膨張係数が取得される。まず、互いに異なる線膨張係数の値を有する複数の材料（例えば、図 2 に第 2 材料として示される 5 種類の材料）が、第 2 材料としての候補の母集団として存在する。この母集団には、構造体を構成する第 1 材料の線膨張係数よりも、大きな線膨張係数を有する材料が含まれている。なお、第 1 材料の線膨張係数よりも小さな線膨張係数を有する材料が、この母集団に含まれていても差し支えない。そして、この母集団から、1 つの材料（例えば、S U S 4 2 0）が、第 2 材料の候補として決定される。その上で、この第 2 材料候補の線膨張係数が取得される。なお、線膨張係数の取得は、実測やデータシートの値を利用など、任意の方法で達成されてよい。

[0051] 次に、工程 S 4 において、工程 S 3 にて決定された第 2 材料候補のヤング率の温度依存性が取得される。ここでも、ヤング率の温度依存性は、データシートなどの既存の値を係数に利用した数式や、実測など、任意の方法で取得されてよい。

[0052] 次に、工程 S 5 において、第 2 材料候補が台座に用いられる光スキャナにおける、共振周波数の温度依存性が決定される。この工程は、例えば、実際に光スキャナを作成した上で、光スキャナの置かれる雰囲気温度を変化させながら、光スキャナの共振周波数を測定することで達成される。共振周波数は、例えば、光スキャナが走査する光が入射する位置に光センサを配置し、

その光センサが検出する走査光のタイミングから決定されてよい。勿論、実際の測定でなくても、シミュレーションを用いて光スキャナの共振周波数の温度依存性が取得されても差し支えない。或いは、共振周波数の温度依存性が、2つ以上の第2材料候補に対して得られている場合であれば、前記した共振周波数の温度依存性と材料の線膨張係数との相関関係に基づいて、線膨張係数の値から共振周波数の温度依存性を取得することも可能である。例えば、図2A又は図2Bにおいて、SUS420とSUS304とで台座が構成された場合における、共振周波数の温度依存性が、実測によってそれぞれ得られていたとする。この場合、工程S3で得られたSUS420とSUS304との線膨張係数を用いて、線膨張係数と共振周波数の温度依存性との間の比例係数が決定される。この比例係数を用いれば、例えば実測をしていないSECC、SUS309及びSUS316で台座が構成された場合の、共振周波数の温度依存性が決定可能となる。即ち、一旦比例係数さえ定まれば、その材料が台座に用いられた場合における共振周波数の温度依存性が、その材料の線膨張係数の値にのみ基づいて決定できる。なお、さらに拡張するのであれば、例えば第2材料の候補として母集団に含まれない材料（例えば、図2に記載されていない材料）であっても、その材料の線膨張係数の値にのみ基づいて、共振周波数の温度依存性が決定できる。

[0053] 次に、工程S6において、工程S3にて決定された第2材料候補の共振周波数の温度依存性の絶対値が、最小であるか否かが判断される。そして、第2材料候補の共振周波数の温度依存性の絶対値が最小である場合（S6：Y）、工程S7において、その第2材料候補が台座を構成する第2材料として決定された後で、工程S8に移行する。一方、第2材料候補の共振周波数の温度依存性の絶対値が最小でない場合（S6：N）、工程S8に移行する。例えば、図2A又は図2BにおいてSUS420が最初に第2材料候補として決定された場合であれば、それより前に決定された第2材料候補が無いため、SUS420の共振周波数の温度依存性の絶対値が最小となる（工程S6：Y）。そのため、SUS420が、台座を構成する第2材料として決定

される（Ｓ７）。一方、ＳＵＳ４２０の次に、ＳＥＣＣが第２材料候補として決定された場合であれば、ＳＥＣＣの共振周波数の温度依存性の絶対値は、ＳＵＳ４２０の共振周波数の温度依存性の絶対値よりも小さい。そのため、ＳＥＣＣの共振周波数の温度依存性の絶対値が最小となる（工程Ｓ６：Ｙ）。従って、ＳＵＳ４２０に代わって、ＳＥＣＣが、台座を構成する第２材料として決定される（Ｓ７）。一方、ＳＥＣＣの次に、ＳＵＳ３０９が第２材料候補として決定された場合であれば、ＳＵＳ３０９の共振周波数の温度依存性の絶対値は、ＳＥＣＣの共振周波数の温度依存性の絶対値よりも大きい。そのため、ＳＥＣＣの共振周波数の温度依存性の絶対値が最小のままである（工程Ｓ６：Ｎ）。この場合、工程Ｓ７は実行されないので、台座を構成する第２材料は、ＳＥＣＣのままである。

[0054] 次に、工程Ｓ８において、他の第２材料候補が、まだ母集団に残っているか否かが判断される。まだ他の第２材料候補が残っている場合（Ｓ８：Ｙ）、工程Ｓ３に戻り、他の第２材料候補に対して工程Ｓ３～Ｓ７が実行される。一方、他の第２材料候補が残っていない場合、換言すれば、母集団に含まれる全ての第２材料候補に対する検討が終了した場合（Ｓ８：Ｎ）、工程Ｓ９に移行する。

[0055] 次に、工程Ｓ９において、工程Ｓ７において決定された台座材料を用いた場合の共振周波数の温度依存性が、仕様の範囲内に収まるか否かが判断される。この仕様の範囲は、光スキャナを利用するプリンタや走査型画像表示装置などの装置性能に基づいて決定されてよい。或いは、光スキャナ単体の性能として、所定の値に定められてよい。共振周波数の温度依存性が仕様の範囲内に収まる場合（Ｓ９：Ｙ）、その台座材料を用いて、光スキャナが作成される（Ｓ１１）。即ち、この場合、台座が単一の層からなる、前記した光スキャナ１００が作成される。一方、共振周波数の温度依存性が仕様の範囲内に収まらない場合（Ｓ９：Ｎ）、前記した光スキャナ２００のように、台座を積層構造にすることで共振周波数の温度依存性をより低減する検討がなされる（Ｓ１０）。

[0056] 工程 S 1 0 の詳細は、図 7 に示される。まず、工程 S 1 0 0 において、工程 S 7 で決定された第 2 材料の共振周波数の温度依存性（工程 S 5 にて取得）が、正の値か否かが判断される。例えば、図 2 A 又は図 2 B に示される場合であれば、S E C C が第 2 材料として決定されている。台座が S E C C から構成された場合、共振周波数の温度依存性は負（シミュレーションで -0.162 [Hz/°C]、実測で -0.323 [Hz/°C]）であるため、工程 S 1 1 0 の判断は否定される（S 1 0 0 : N）。この場合、工程 S 1 0 2 が実行される。一方、共振周波数の温度依存性が正の値であれば、工程 S 1 1 0 の判断は肯定される（S 1 0 0 : Y）。この場合、工程 S 1 0 1 が実行される。

[0057] 工程 S 1 0 1 では、台座 2 2 0 の第 2 層 2 2 2 の材料として、第 1 層 2 2 1 の材料よりも線膨張係数が小さい材料が選択される。これによって、台座 2 2 0 全体での実質的な線膨張係数を下げることができ、共振周波数の温度依存性を 0 に近づけることができる。例えば、S U S 3 0 4 が第 1 層 2 2 1 の材料として決定されている場合であれば、S U S 3 0 4 よりも線膨張係数の小さな材料である、高機能バネ鋼や S U S 4 3 0 が、第 2 層 2 2 2 の材料として決定される（図 5 参照）。その後、台座の積層構造の検討は終了し、工程 S 1 1 に移行する。

[0058] 工程 S 1 0 2 では、台座 2 2 0 の第 2 層 2 2 2 の材料として、第 1 層 2 2 1 の材料よりも線膨張係数が大きい材料が選択される。これによって、台座 2 2 0 全体での実質的な線膨張係数を上げることができ、共振周波数の温度依存性を 0 に近づけることができる。例えば、S E C C が第 1 層 2 2 1 の材料として決定されている場合であれば、S E C C よりも線膨張係数の大きな材料である、高機能バネ鋼や S U S 3 0 4 が、第 2 層 2 2 2 の材料として決定される。その後、台座の積層構造の検討は終了し、工程 S 1 1 に移行する。

[0059] 図 6 の工程 S 1 1 において、光スキャナが作成される。ここで、工程 S 9 の判断が肯定（S 9 : Y）の場合は、単一層からなる台座 1 2 0 を備える光

スキャナ１００が形成される。一方、工程Ｓ９の判断が否定（Ｓ９：Ｎ）の場合は、第１層２２１及び第２層２２２を有する台座２２０を備える光スキャナ２００が形成される。なお、工程Ｓ１１の詳細は、図８に示される。

[0060] 先ず、工程Ｓ１１０において、所定の除去加工によって、構造体が形成される。本実施形態では、除去加工の一例として、ウェットエッチングが採用される。構造体を構成する金属板（例えば、ＳＵＳ４３０）が、構造体の外形と等しい大きさに分割される。そして、分割された金属板の、ミラー部分、捩れ梁部分、本体部分に対応する位置に、マスキングのためのレジスト膜が形成される。その後、ウェットエッチングによって構造体の外形が形成された後に、レジスト膜が除去される。なお、構造体の外形に比して十分大きな金属板に複数の構造体の外形が形成された後に、個々の構造体に分割される多数個取りが実行されても差し支えない。または、ウェットエッチングでなく、プレス加工などの機械的な加工によって構造体が形成されても差し支えない。

[0061] 次に、工程Ｓ１１１において、予め圧電素子の両面に電極層を備えたバルクの圧電材料が、構造体の実装される。この実装は、例えば、エポキシ系、アクリル系、シリコン系等の合成樹脂材料に金属フィラーなどの導電材を含有する導電性接着剤を用いて行われる。具体的には、構造体の本体部分に塗布された導電性接着剤の上に、バルクの圧電材料が設置される。圧電材料の設置後、１００～２００℃の雰囲気中に保たれた加熱炉内に構造体が３０～６０分間装入されることによって、導電性接着剤が硬化する。以上で、圧電素子の実装が完了する。

[0062] 次に、工程Ｓ１１２において、台座が作成される。台座の外形は、構造体の場合と同様に、台座の構成材料となる金属板に対して、エッチングやプレスなどの除去加工を施すことで得られる。なお、台座が第１層と第２層との積層構造の場合、第１層を構成するための金属板と、第２層を構成するための金属板とに対して、それぞれ除去加工が施される。なお、第１層及び第２層の厚みは、対応する厚みを有する金属板を加工することで、自動的に設定

される。その後、第1層と第2層とが、接着や溶着などによって固定される。

[0063] 次に、工程S113において、台座と構造体とが固定される。この固定は、例えば、レーザ溶接などによって、構造体の被固定部と台座とが溶着されることで行われる。ただし、熱硬化接着剤を利用した接着など、他の固定方法によって、構造体と台座とが固定されても差し支えない。

[0064] そして、工程S114において、圧電素子と構造体とに対して、ワイヤボンディングによって信号線が接続される。この信号線は、非図示の交流電源に接続される。構造体と圧電素子とは導電性接着剤によって接着されているので、この信号線を介して圧電素子と構造体との間に電圧が印加される。以上で、光スキャナの製造工程が終了する。

[0065] 本開示は、今までに述べた実施形態に限定されることは無く、その趣旨を逸脱しない範囲において種々の変形・変更が可能である。以下にその一例を述べる。

[0066] 前記した光スキャナ200において、台座220は、第1層221と第2層222とを有する。しかし、この実施例は、台座が3層以上の積層構造を有する構成を排除するものではない。台座が3層以上の積層構造で形成される場合、前記したように第1層及び第2層の材料が決定された上で、第3層以降の材料が決定されればよい。

[0067] 前記した光スキャナ200において、第2層222の材料は、構成材料の種類、より具体的には構成材料の線膨張係数を変数として、共振周波数の温度依存性を低減するものに決定された。しかし、共振周波数の温度依存性を低減するために、第2層222の構造を決定する他の変数がさらに導入されても差し支えない。例えば、図9に示されるように、第2層222の厚みが変わると、共振周波数の温度依存性も変化する。なお、図9に示される例は、構造体210がSUS430で、台座220の第1層221がSECCで、第2層222がSUS304で、それぞれ構成される。また、構造体210の厚みは100 μ mに、第1層221の厚みは2000 μ mに、それぞ

れ設定される。図9から明らかに、第2層222が厚くなるに従って、共振周波数の温度依存性が上昇する。即ち、例えば図7に示される工程S101又は工程S102の後で、第2層222の厚みを決定する工程が実行されても差し支えない。これによって、線膨張係数という変数に加えて、台座の厚みという変数を用いて、共振周波数の温度依存性の絶対値がさらに小さくなるように、台座の構造を決定することが可能になる。

[0068] 前記した実施形態において、構造体及び台座は金属で構成される。しかし、本開示は、構造体と台座との線膨張係数を異ならせることで、共振周波数の温度依存性を緩和することに特徴がある。そのため、台座や構造体が例えばシリコンなどの非金属で構成されても、本開示の範囲に含まれる。同様に、構造体や台座の形状も、前記した実施例には限定されない。ミラー部分と振れ梁部分と本体部分を有する平板状の構造体が、台座に対して固定されるタイプの光スキャナは、全て本発明の範囲に含まれる。また、前記した実施形態では、駆動部として圧電素子が利用される。しかし、磁石とコイルパターンとの組み合わせによる電磁駆動方式や、極板間に働く静電気力による静電駆動方式など、他の駆動方式を採用した光スキャナであっても、本開示の範囲に含まれる。

符号の説明

- [0069] 100, 200 光スキャナ
110, 210 構造体
111, 211 ミラー部分
112, 212 振れ梁分
113, 213 本体部分
113a, 213a 被固定部分
113b, 213b 節連結部分
114, 214 圧電素子
120, 220 台座
121, 221 第1層

2 2 2 第 2 層

請求の範囲

- [請求項1] 光を反射する反射面を含み、第1軸線を中心として揺動可能に構成されるミラー部分と、
- 前記ミラー部分の両側に連結され、前記第1軸線に平行に前記ミラー部分から延出する一対の振れ梁部分と、
- 前記一対の振れ梁部分の前記ミラー部分反対側の端部に連結され、前記第1軸線に交差する方向に延出する本体部分と、
- を有し、第1材料によって構成される平板状の構造体と、
- 少なくとも前記構造体に設けられ、前記ミラー部分を所定の共振周波数にて前記第1軸線回りに揺動可能に構成される駆動部と、
- 第2材料によって構成され、前記構造体が固定される台座とを備え、
- 前記構造体は、前記本体部分の一部であって前記一対の振れ梁部分及び前記ミラー部分を挟んで対向する一対の被固定部分において、少なくとも前記台座に固定され、
- 前記第2材料の線膨張係数は、前記第1材料の線膨張係数よりも大きく、且つ、前記共振周波数の温度依存性の絶対値が、前記台座が前記第1材料によって構成された場合の前記共振周波数の温度依存性の絶対値よりも小さくなる値に設定される、
- ことを特徴とする光スキャナ。
- [請求項2] 前記台座は、
- 前記第2材料によって構成される第1層と、
- 前記第1層と前記構造体との間に設けられ、前記第2材料とは異なる線膨張係数を有する第3材料によって構成される第2層とを有し、
- 前記第2層は、前記構造体の前記被固定部分に固定され、
- 前記第1層は、前記第2層に固定される、
- 請求項1に記載の光スキャナ。
- [請求項3] 前記第2層は、前記第1層よりも積層方向における厚みが薄くなる

ように構成される、

請求項 2 に記載の光スキャナ。

[請求項 4] 前記第 1 材料及び前記第 2 材料は、金属である、

請求項 1 の何れか 1 項に記載の光スキャナ。

[請求項 5] 前記駆動部は、前記本体部分に設けられ、前記本体部分に板波を励起することで、前記本体部分及び前記一对の捩れ梁部分を介して前記ミラー部分を前記第 1 軸線回りに揺動させることが可能な圧電素子である、

請求項 4 に記載の光スキャナ。

[請求項 6] 光スキャナの製造方法であって、

光を反射する反射面を含み、第 1 軸線を中心として揺動可能に構成されるミラー部分と、前記ミラー部分の両側に連結され、前記第 1 軸線に平行に前記ミラー部分から延出する一对の捩れ梁部分と、前記一对の捩れ梁部分の前記ミラー部分反対側の端部に連結され、前記第 1 軸線に交差する方向に延出する本体部分とを有する構造体を構成する第 1 材料の線膨張係数よりも大きい値であって、互いに異なる線膨張係数の値を有する複数の材料を含む母集団から、前記構造体が固定される台座を構成する前記第 2 材料としての候補となる材料である第 2 材料候補を決定する候補決定工程と、

前記第 2 材料候補を前記第 2 材料として用いた場合における、前記光スキャナの共振周波数の温度依存性を決定する依存性決定工程と、

前記依存性決定工程によって前記温度依存性が決定された 2 つ以上の前記第 2 材料候補の中から、前記温度依存性の絶対値が最小となった前記第 2 材料候補を、前記第 2 材料として決定する第 2 材料決定工程と、

前記第 2 材料決定工程によって決定された前記第 2 材料を用いて、前記光スキャナを作成する作成工程と、

を有することを特徴とする光スキャナの製造方法。

[請求項7] 前記2つ以上の前記第2材料候補の線膨張係数を取得する取得工程と、

前記2つ以上の前記第2材料候補の線膨張係数の値と、前記依存性決定工程によって決定された前記2つ以上の第2材料候補における前記温度依存性との相関関係を決定する関係決定工程をさらに備え、

前記第2材料決定工程は、前記関係決定工程によって決定された前記相関関係に基づいて、前記2つ以上の前記第2材料候補に加えて、前記母集団の中から前記温度依存性の絶対値が最小に近い値に対応する線膨張係数を有する材料を、前記第2材料として決定する、請求項6に記載の光スキャナの製造方法。

[請求項8] 前記第2材料決定工程によって決定された前記第2材料における前記温度依存性が、所定の範囲内に収まるか否かを判断する判断工程と、

前記判断工程において前記温度依存性が所定の範囲内に収まらないと判断された場合に、前記母集団の中から、前記台座の前記第2材料によって構成される第1層と前記構造体との間に設けられる第2層を構成する第3材料として用いる材料を決定する第3材料決定工程とをさらに有し、

前記作成工程は、前記判断工程において前記温度依存性が所定の範囲内に収まらないと判断された場合に、前記第2材料を前記台座の前記第1層とし、前記第3材料を前記第2層とする前記台座を用いて、前記光スキャナを製造する、請求項6に記載の光スキャナの製造方法。

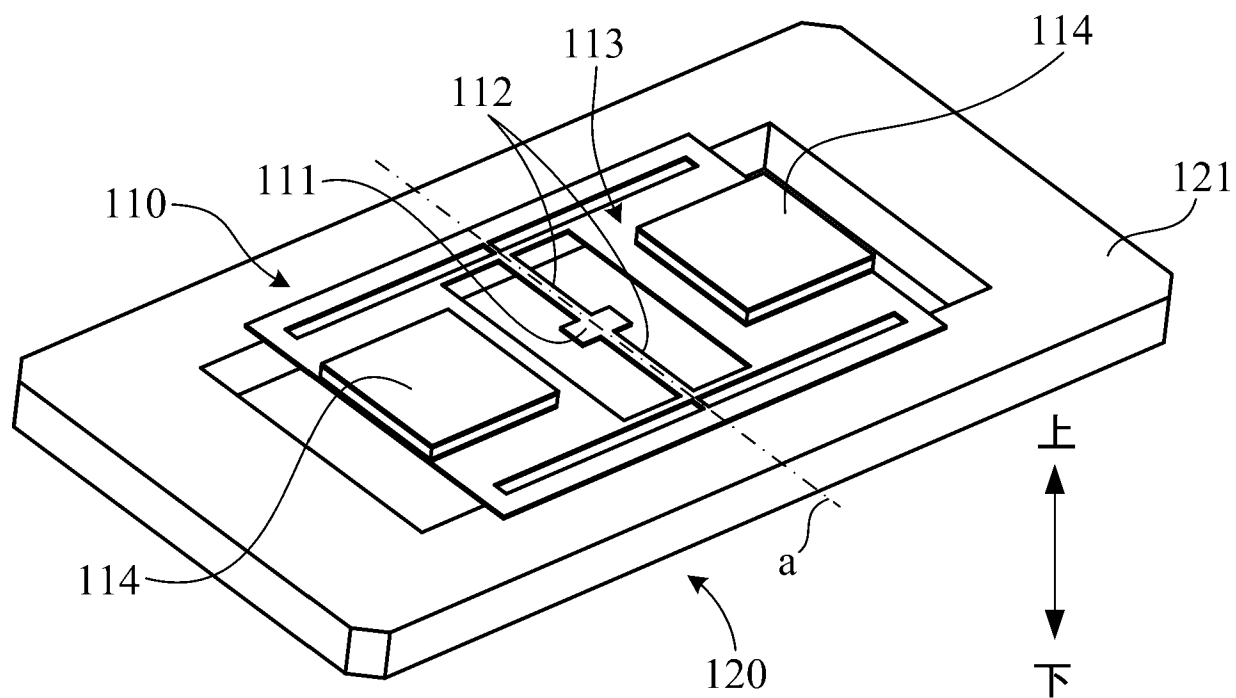
[請求項9] 前記第3材料決定工程は、

前記温度依存性が負の値の場合、前記第2材料よりも大きな線膨張係数を有する材料を前記第3材料として決定し、

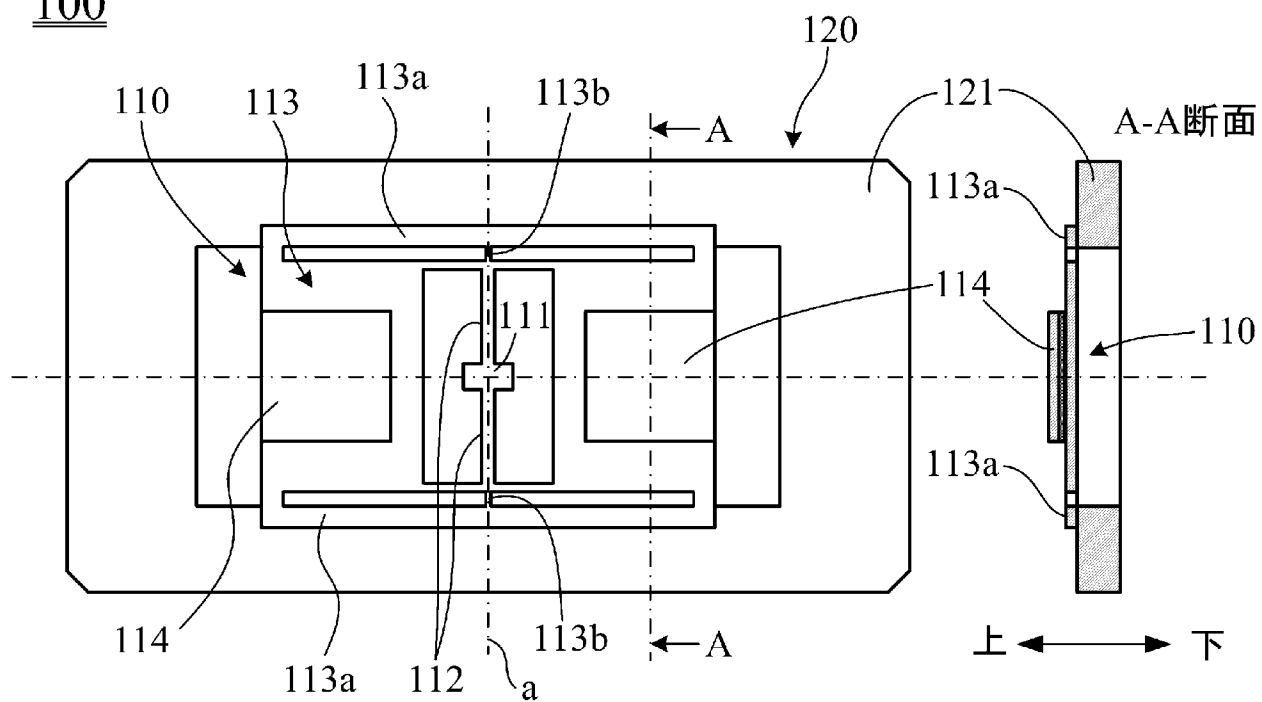
前記温度依存性が正の値の場合、前記第2材料よりも小さな線膨張係数を有する材料を前記第3材料として決定する、請求項8に記載の

光スキャナの製造方法。

[図1A]

100

[図1B]

100

[図2A]

シミュレーション結果

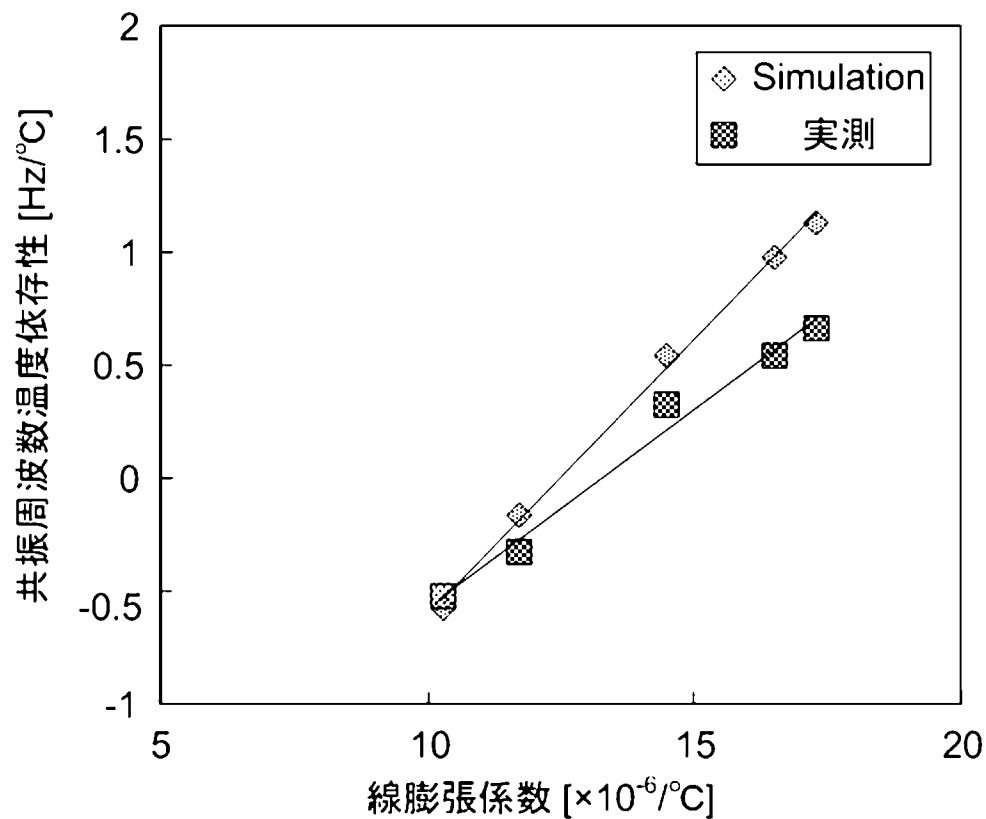
台座材料	線膨張係数 [$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]	共振周波数の 温度依存性[Hz/ $^{\circ}\text{C}$]
SUS420	10.3	-0.578
SECC	11.7	-0.162
SUS309	14.5	0.542
SUS316	16.5	0.973
SUS304	17.3	1.134

[図2B]

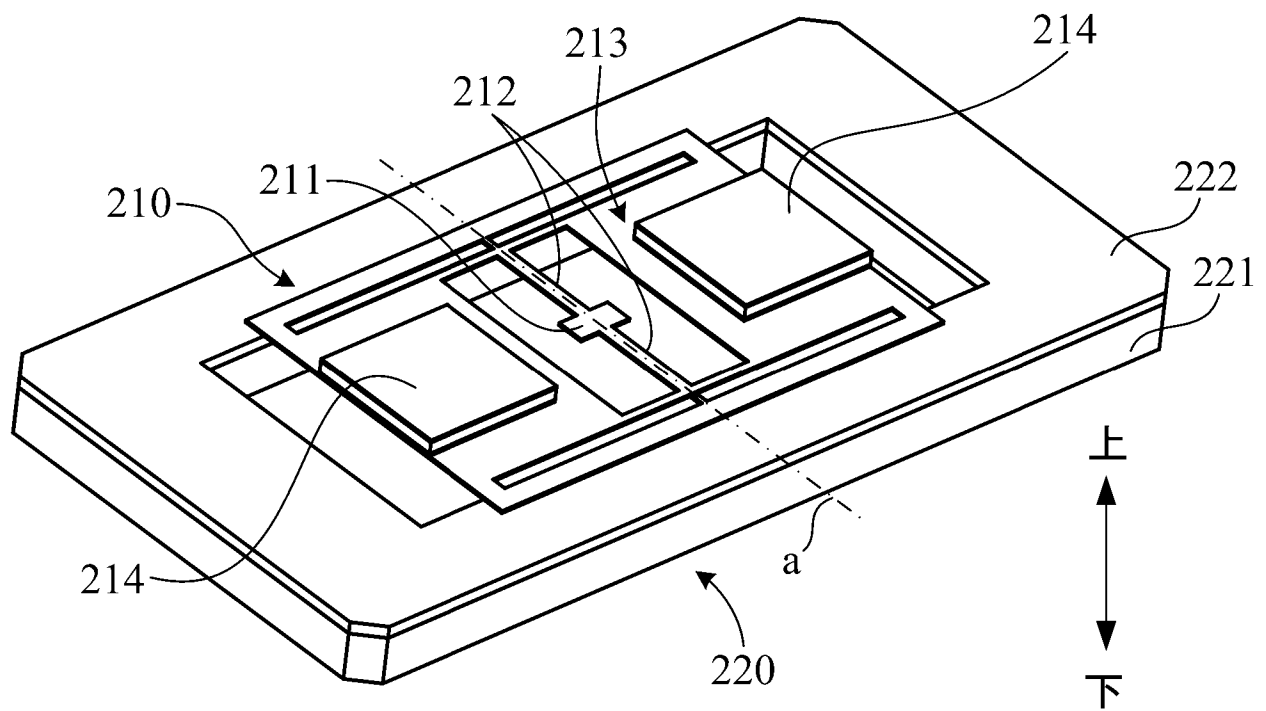
実測結果

台座材料	線膨張係数 [$\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$]	共振周波数の 温度依存性[Hz/ $^{\circ}\text{C}$]
SUS420	10.3	-0.525
SECC	11.7	-0.323
SUS309	14.5	0.329
SUS316	16.5	0.543
SUS304	17.3	0.660

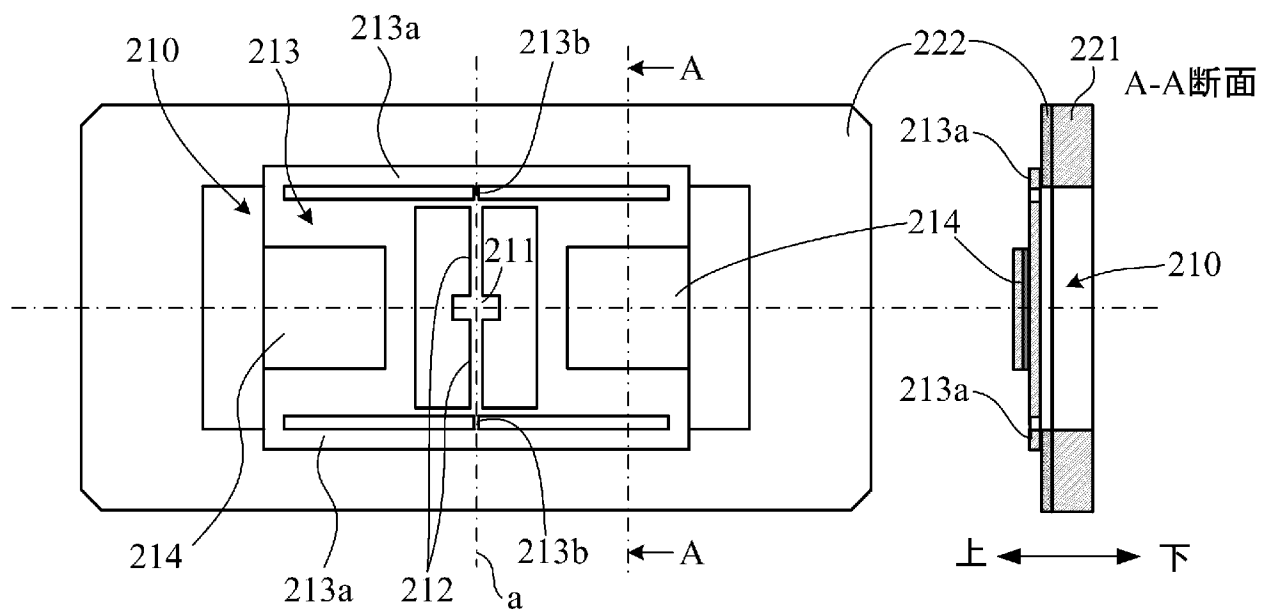
[図3]



[図4A]

200

[図4B]

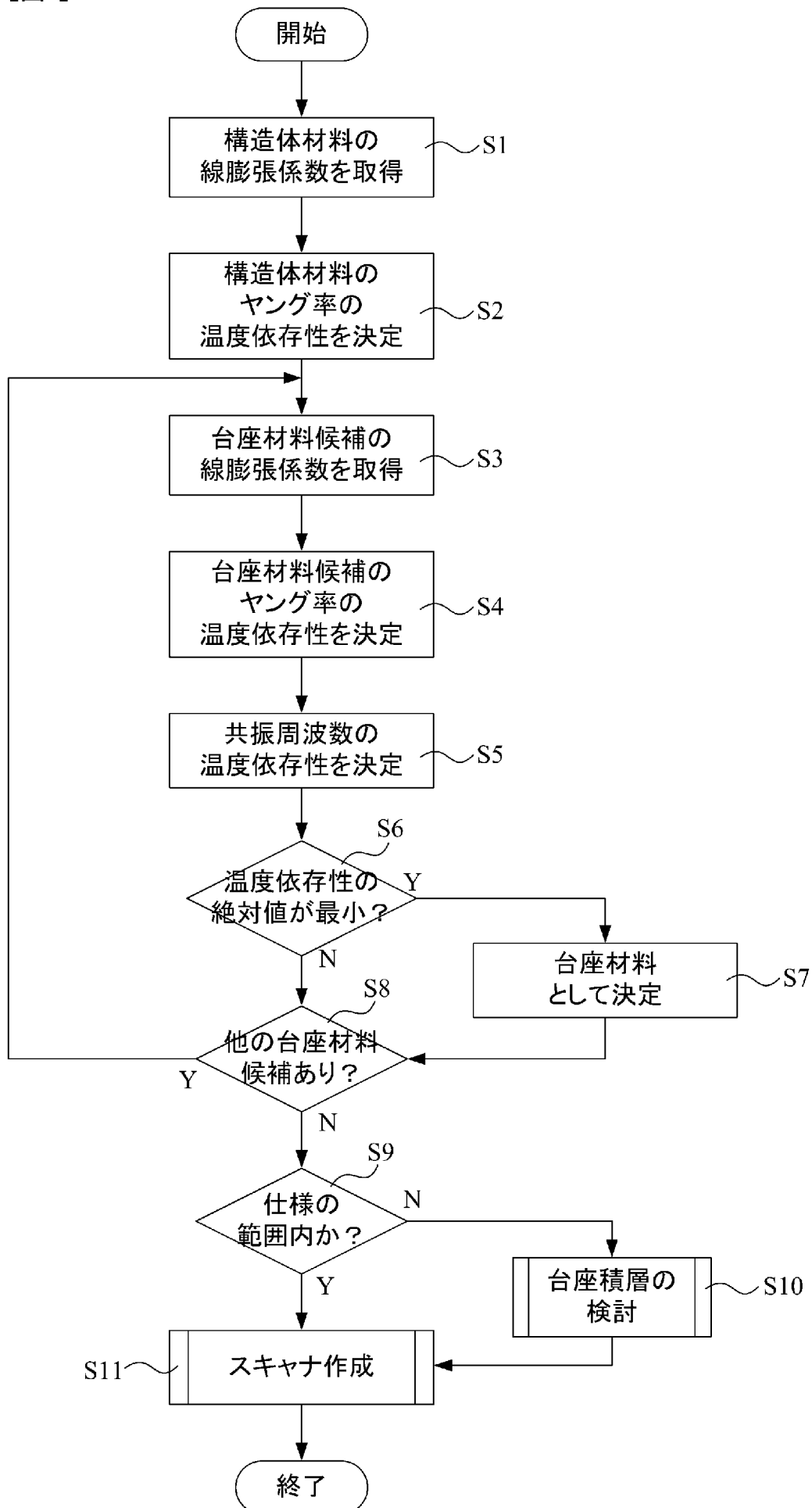


[図5]

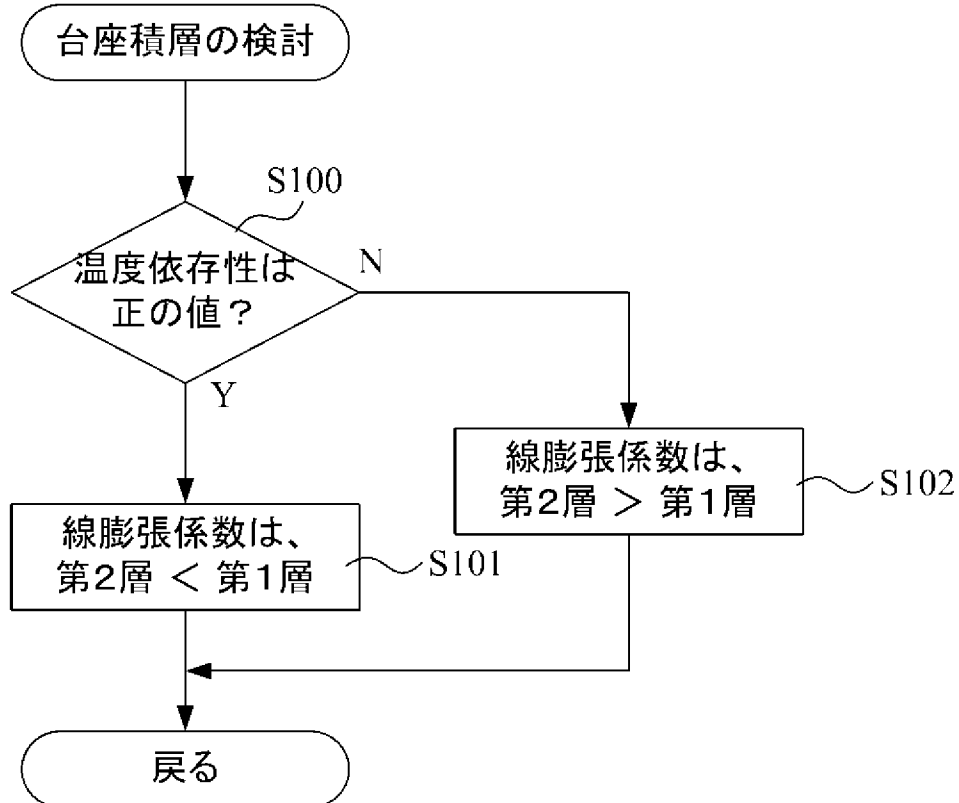
積層する材料を変化させた場合の
共振周波数の温度依存性 [Hz/°C]

		第2層材料		
		SUS430 ($\alpha=10.4 \times 10^{-6}$)	高機能バネ鋼 ($\alpha=14.0 \times 10^{-6}$)	SUS304 ($\alpha=17.3 \times 10^{-6}$)
第1層材料	SUS420 ($\alpha=10.3 \times 10^{-6}$)	-0.572	-0.461	-0.359
	SECC ($\alpha=11.7 \times 10^{-6}$)	-0.190	-0.088	0.006
	SUS304 ($\alpha=17.3 \times 10^{-6}$)	1.009	1.089	1.163

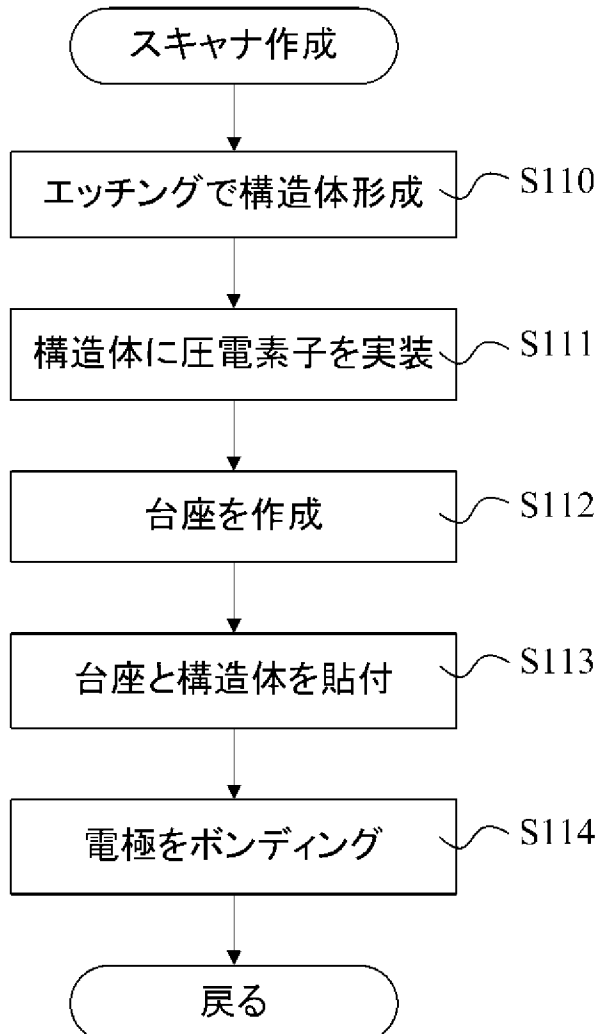
[図6]



[図7]



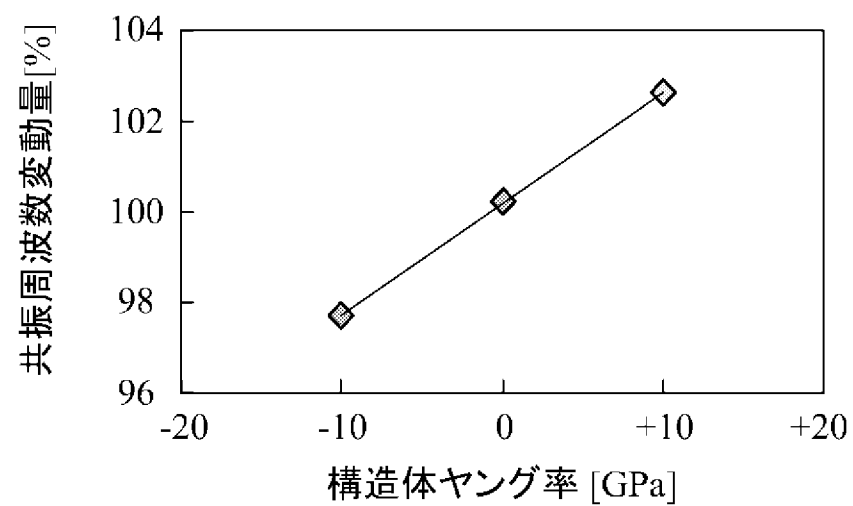
[図8]



[図9]

第2層厚み [μm]	共振周波数の 温度依存性 [Hz/°C]
100	-0.111
300	-0.035
500	0.041

[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/058090

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B26/08(2006.01)i, B81B3/00(2006.01)i, G02B26/10(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)

G02B26/08, B81B3/00, G02B26/10

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 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

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 Y	JP 2002-321195 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 05 November 2002 (05.11.2002), paragraphs [0002] to [0004], [0009] to [0015], [0040] to [0047], [0056], [0057]; fig. 1, 2, 10, 11 & US 6850349 B2 & EP 1251382 A1	1, 6, 7 2-5, 8, 9
Y	JP 2001-523350 A (Board of Regents of The University of Washington), 20 November 2001 (20.11.2001), page 12, line 6 to page 17, line 23; fig. 1, 2 & US 5557444 A & EP 788617 A1	2-5, 8, 9

☒ 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
23 April, 2012 (23.04.12)Date of mailing of the international search report
01 May, 2012 (01.05.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/058090

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2008/041585 A1 (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 10 April 2008 (10.04.2008), paragraphs [0004], [0051] to [0053]; fig. 17 & US 2010/0014142 A1	2-5, 8, 9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B26/08(2006.01)i, B81B3/00(2006.01)i, G02B26/10(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. G02B26/08, B81B3/00, G02B26/10

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 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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 2002-321195 A（オリンパス光学工業株式会社） 2002.11.05,	1, 6, 7
Y	[0002]-[0004], [0009]-[0015], [0040]-[0047], [0056], [0057], 図 1, 2, 10, 11 & US 6850349 B2 & EP 1251382 A1	2-5, 8, 9

☒ 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

2 3 . 0 4 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

0 1 . 0 5 . 2 0 1 2

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）

川口 聖司

2 X

4 4 0 8

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

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 2001-523350 A (ボード オブ リージェンツ オブ ザ ユニ バーシティ オブ ワシントン) 2001.11.20, 第12頁第6行-第17頁第23行, 図1, 2 & US 5557444 A & EP 788617 A1	2-5, 8, 9
Y	WO 2008/041585 A1 (独立行政法人産業技術総合研究所) 2008.04.10, [0004], [0051]-[0053], 図17 & US 2010/0014142 A1	2-5, 8, 9