

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5885552号  
(P5885552)

(45) 発行日 平成28年3月15日 (2016. 3. 15)

(24) 登録日 平成28年2月19日 (2016. 2. 19)

(51) Int. Cl. F 1  
B 0 8 B 7/02 (2006.01) B 0 8 B 7/02

請求項の数 14 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2012-63898 (P2012-63898)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成24年3月21日 (2012. 3. 21)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2013-193048 (P2013-193048A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成25年9月30日 (2013. 9. 30)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	平成27年3月23日 (2015. 3. 23)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	大橋 海史
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
			ノン株式会社内
		(72) 発明者	浦上 俊史
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
			ノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動装置、該振動装置を有する駆動装置、及び光学機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

鉛の含有量が1000ppm未満である圧電材料と電極とを備えた電気機械エネルギー変換素子を有する振動体と、

前記電気機械エネルギー変換素子に少なくとも2つの駆動電圧を印加し、前記振動体に、次数が互いに異なる複数の定在波を時間位相差を設けて発生させることにより前記複数の定在波が合成された合成振動を生成させる制御手段と、を含む振動装置であって、

前記制御手段は、

前記合成振動の振幅分布を変化させるべく、前記少なくとも2つの駆動電圧同士の電圧振幅比と時間位相差とのうち少なくとも一方を変化させることを特徴とする振動装置。

10

【請求項 2】

前記合成振動の振幅分布及び位相分布を変化させるべく、前記駆動電圧同士の電圧振幅比と時間位相差とのうち少なくとも一方を変化させることを特徴とする請求項1に記載の振動装置。

【請求項 3】

前記制御手段は、

前記駆動電圧同士の電圧振幅比を、第1の電圧振幅比から第n (nは2以上の整数) の電圧振幅比で時間毎に変化させる制御と、

前記駆動電圧同士の時間位相差を、第1の時間位相差から第nの時間位相差で時間毎に変化させる制御と、

20

のうち少なくとも一方を行う

こと特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の振動装置。

【請求項 4】

前記第 1 乃至第 n の電圧振幅比は、前記振動体の第 1 乃至第 n の領域に基づいて、それぞれ得られる電圧振幅比であり、

前記第 1 乃至第 n の時間位相差は、前記振動体の第 1 乃至第 n の領域に基づいて、それぞれ得られる時間位相差であることを特徴とする請求項 3 に記載の振動装置。

【請求項 5】

前記制御手段は、

前記駆動電圧同士の電圧振幅比を、第 1 の電圧振幅比から第 n の電圧振幅比まで時系列で順次変化させる制御と、

前記駆動電圧同士の時間位相差を、第 1 の時間位相差から第 n の時間位相差まで時系列で順次変化させる制御と、

のうち少なくとも一方を行うことを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の振動装置。

【請求項 6】

前記制御手段は、前記駆動電圧同士の電圧振幅比を、前記第 1 の電圧振幅比から前記第 n の電圧振幅比まで所定時間単位で時系列に順次切り替える制御と、

前記駆動電圧同士の時間位相差を、前記第 1 の時間位相差から前記第 n の時間位相差まで所定時間単位で時系列に順次切り替える制御と、

のうち少なくとも一方を行う

ことを特徴とする請求項 3 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の振動装置。

【請求項 7】

前記圧電材料がチタン酸バリウムを主成分とする圧電セラミックスであることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の振動装置。

【請求項 8】

前記圧電材料が下記一般式 (1)

一般式 (1)  $(Ba_{1-x}Ca_x)(Ti_{1-y}Zr_y)O_3$  ( $0.02 \leq x \leq 0.3$   
 $0 \leq y \leq 0.02$  であり、かつ  $y \leq x$ )

で表わされるペロブスカイト型金属酸化物を主成分とすることを特徴とする請求項 7 に記載の振動装置。

【請求項 9】

前記圧電材料が、前記一般式 (1) で表わされるペロブスカイト型金属酸化物を主成分とし、前記金属酸化物に Mn が含有されており、前記 Mn の含有量が前記金属酸化物 100 重量部に対して金属換算で 0.02 重量部以上 0.40 重量部以下であることを特徴とする請求項 8 に記載の振動装置。

【請求項 10】

前記複数の定在波のうち、第 1 の定在波は第 1 の振動モードにおいて励起され、第 2 の定在波は第 2 の振動モードにおいて励起され、

前記制御手段が前記駆動電圧の電圧振幅を変化させる場合、

前記第 1 の電圧振幅比は、前記第 1 の領域において、前記第 1 の振動モードでの変位分布における最大変位での電圧振幅値が、前記第 2 の振動モードでの変位分布における最大変位での電圧振幅と等しくなる値であり、

前記第 n の電圧振幅比は、前記第 n の領域において、前記第 1 の振動モードでの変位分布における最大変位での電圧振幅値が、前記第 2 の振動モードでの変位分布における最大変位での電圧振幅と等しくなる値であることを特徴とする請求項 3 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の振動装置。

【請求項 11】

前記複数の定在波のうち、第 1 の定在波は第 1 の振動モードにおいて励起され、第 2 の定在波は第 2 の振動モードにおいて励起され、

前記制御手段が前記駆動電圧同士の時間位相差を変化させる場合、

前記第 1 の時間位相差は、前記第 1 の領域において、変位が正の値になる位置での、前記第 1 の振動モードと前記第 2 の振動モードにおける応答位相の差が 90 度となる位相差であり、

前記第 n の時間位相差は、前記第 n の領域において、変位が正の値になる位置での、前記第 1 の振動モードと前記第 2 の振動モードにおける応答位相の差が 90 度となる位相差であることを特徴とする請求項 3 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の振動装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 乃至 1 1 のいずれか 1 項に記載の振動装置と、被駆動体とを有し、  
前記振動装置によって前記被駆動体が駆動されることを特徴とする駆動装置。

【請求項 1 3】

前記合成振動により、前記振動体上の塵埃を移動させて塵埃を除去する塵埃除去装置として機能することを特徴とする請求項 1 乃至 1 1 のいずれか 1 項に記載の振動装置。

【請求項 1 4】

前記振動体が光路上に設けられた請求項 1 2 に記載の塵埃除去装置である振動装置と、前記振動体を透過した光が入射する撮像素子と、を有することを特徴とする光学機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動装置、該振動装置を有する駆動装置、及び光学機器に関する。  
特に、カメラ、ファクシミリ、スキャナー、プロジェクター、複写機、レーザビームプリンター、インクジェットプリンター、レンズ、双眼鏡、画像表示装置などの光学機器に関する。また、このような光学機器の塵埃除去装置に用いる振動装置、振動によって被駆動体を駆動させる駆動装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年の撮像装置においては、光学センサの分解能の向上とともに、使用中に光学系に付着するゴミが撮影画像に影響を及ぼすようになってきた。

【0003】

特に、ビデオカメラ、スチルカメラの撮像素子の分解能はめざましく向上していることから、撮像素子に近く的光路上に配置されている光学素子に塵埃が付着すると、画像欠陥を生じることになる。

【0004】

例えば、赤外線カットフィルタ、光学ローパスフィルタなどに、外部からの埃や、内部の機械的な摺擦面で生ずる摩耗粉などが付着すると、撮像素子面での像のぼけが少ないため、撮影画像に埃の写り込みなどが生じる。

【0005】

一方、コピー、ファクシミリ、スキャナーなどの撮像部は、ラインセンサをスキャン、またはラインセンサに近接させた原稿をスキャンすることによって平面原稿を読み取っている。

【0006】

そして、ラインセンサへの光線入射部に埃が付着すると、スキャン画像に写り込んでしまう場合がある。

【0007】

また、原稿をスキャンする方式の機器、ファクシミリの読み取り部や、コピー機の自動原稿送り装置からの原稿を搬送中に読み取る、いわゆる流し読みの方式では、1つの埃が原稿送り方向へ連続する線画像となって写り込む場合がある。

【0008】

これにより、画像の品質が大きく損なわれるという問題が生じる。

【0009】

これらの塵埃を人手によって拭き取ることで画像品位は回復するが、使用中に付着した

10

20

30

40

50

埃は撮影後に確認する他ない。

【 0 0 1 0 】

その間に撮影、スキャンした画像については塵埃の画像が映りこむため、ソフトウェアでの画像処理による修正が必要となるほか、複写機では同時に紙メディアに出力されてしまうため修正には多大な労力がかかる。

【 0 0 1 1 】

このような問題に対し、従来では、振動を付与することによってゴミを画像読み取り部から移動させる塵埃除去装置、及び、これを搭載した光学機器が提案されている（特許文献 1 参照）。

【 0 0 1 2 】

図 1 3 ( a ) は、特許文献 1 に開示された従来の塵埃除去装置の振動装置の構成を示す図である。

振動装置 3 0 0 は、受光した被写体像を電気信号に変換して画像データを作成する撮像素子 3 0 1 に設けられている。

振動装置 3 0 0 と撮像素子 3 0 1 とで、撮像素子 3 0 1 の表（おもて）面の空間が密封されている。即ち、撮像素子 3 0 1 の表面側に振動装置 3 0 0 がシール部材等を介して間の空間を密封するように接合される。

振動装置 3 0 0 は、矩形の板状を有する光学素子 3 0 2、およびその両端部に接着によって固着された電気機械エネルギー変換素子である一対の圧電素子 3 0 3 a、3 0 3 b から構成されている。

圧電素子 3 0 3 a には、駆動電圧として交番電圧  $V_a$  が印加され、圧電素子 3 0 3 b には駆動電圧として交番電圧  $V_b$  が印加されている。

【 0 0 1 3 】

図 1 3 ( b ) 中の A は 1 次の面外曲げ振動（定在波）の変位分布を表しており、B は 2 次の面外曲げ振動（定在波）の変位分布を表している。

縦軸は、振動装置 3 0 0 の撮像素子 3 0 1 が配置されている側とは反対側の表面の面外方向の変位で、撮像素子 3 0 1 側の向きを負としている。横軸は、図示しているように振動装置 3 0 0 の長手方向の位置と対応している。

交番電圧  $V_a$  と交番電圧  $V_b$  は共に、1 次の面外曲げ振動と 2 次の面外曲げ振動の共振現象に 응답を有する周期の交番電圧となっていて、さらに交番電圧  $V_a$  と交番電圧  $V_b$  とは時間的な位相が異なっている。

これらによって、振動装置 3 0 0 には時間位相の異なる 1 次の面外曲げ振動と 2 次の面外曲げ振動の 2 つの振動が合成された合成振動が励起される。

【 0 0 1 4 】

図 1 4、図 1 5、図 1 6、図 1 7 は 2 つの振動の時間的位相差が  $90^\circ$  かつ振幅が 1 : 1 である場合の 1 次の面外曲げ振動、2 次の面外曲げ振動、およびこれらの振動が重ね合わされた振動体の変位及び変位速度を、時間位相毎に示すグラフである。

縦軸は、変位及び変位速度で、撮像素子 3 0 1 側の向きを負としている。横軸は、図 1 3 ( b ) に示したのと同じく、振動装置 3 0 0 の長手方向の位置と対応している。

【 0 0 1 5 】

図中、波形 C は 1 次の面外曲げ振動の変位を示している。波形 D は 2 次の面外曲げ振動の変位を示している。

波形 E はこれら 2 つの振動が重ね合わされた振動装置 3 0 0 の変位を示す。

波形 G は波形 E の時間位相  $30^\circ$  前の振動装置 3 0 0 の変位を示している。

波形 F は振動装置 3 0 0 における正規化された変位速度を示している。

塵埃除去装置を動作させた場合には、光学素子 3 0 2 の表面に付着した塵埃は、光学素子 3 0 2 が塵埃を面外（図 1 4 ~ 図 1 7 の縦軸の正の向き）に突き上げる時、光学素子 3 0 2 の表面の法線方向の力を受けて弾かれるように移動していく。

【 0 0 1 6 】

つまり、各時間位相で、変位速度を示す波形 F が正の値であるとき、塵埃は面外に突き

10

20

30

40

50

上げられ、この時間位相における振動装置 300 の変位を示す波形 E の法線方向の力を受け、塵埃は移動していく。光学素子 302 を一定の角度（典型的には垂直）に立てた状態で上記変位を与えた場合には、光学素子 302 表面に付着している塵埃が光学素子 302 の表面の法線方向の力を受けて弾かれた場合には、一定の確率で再付着せずに、重力により落下する。

【0017】

図 14 ~ 図 17 の矢印 h は、塵埃が移動する向きを示している。

【0018】

図 14 ~ 図 17 を見てみると、光学素子 302 の位置 60 から 300 において、振動の 1 周期の間では、横軸の負の向きに塵埃を移動させる振動の量より、正の向きに塵埃を移動させる振動の量が相対的に多い。

10

そのため、塵埃は横軸の正の向きに移動させることが可能になっている。

撮像素子 301 に対する光学素子 302 の有効部（光学有効部ともいう）が位置 60 から位置 300 の範囲であった場合に、有効部から塵埃を除去することが可能となっている。ここで、有効部とは、光学素子を撮像素子の光路上に配置した場合に、撮像素子に入射する光が、光学素子を透過する範囲を意味する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0019】

【特許文献 1】特開 2008 - 207170 号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0020】

しかし、上記した振動装置においては、以下に述べるような解決すべき課題を有している。

特許文献 1 による振動装置 300 では、駆動に用いる二つの振動モードの共振周波数の付近に多数の振動モードがある。駆動に用いる振動モードを大きくするために、この共振周波数の付近の振動を励起すると、その他の不要な振動モードも応答（励起、又は励振ともいう）してしまう。

不要な振動モードにおける振幅がない節位置（変位しない位置）では、不要な振動モードの振動の影響を受けることなく、良好な振動状態を実現できる。しかし、それ以外の位置では不要な振動モードの振動の影響を受けるため、振幅分布や位相分布が乱れてしまう。

30

【0021】

これによって、光学素子 302 表面の塵埃（被駆動対象物）を面外にたたき上げる（突き上げるともいう）時の面内方向の向きが逆方向になってしまう位置や、面内方向の成分が小さい位置が発生する場合がある。

【0022】

上記のように設計とは異なる振動状態となった場合に位置によっては、面内の移動方向が向き合って塵埃が移動できない、或いは塵埃の付着力に対し移動力が小さくなり、塵埃を移動させる効率が低くなる場合がある。

40

【0023】

本発明は、上記課題に鑑み、不要な振動モードの振動応答を考慮した駆動方法とすることで、塵埃を含む被駆動対象物を効率よく所定の方角に移動させることが可能となる振動装置、該振動装置を有する駆動装置と塵埃除去装置と光学機器を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0024】

本発の一様態は、鉛の含有量が 1000 ppm 未満である圧電材料と電極とを備えた電気機械エネルギー変換素子を有する振動体と、前記電気機械エネルギー変換素子に少なくとも 2 つの駆動電圧を印加し、前記振動体に、次数が互いに異なる複数の定在波を時間位相差

50

を設けて発生させることにより前記複数の定在波が合成された合成振動を生成させる制御手段と、を含む振動装置であって、

前記制御手段は、

前記合成振動の振幅分布を変化させるべく、前記少なくとも2つの駆動電圧同士の電圧振幅比と時間位相差とのうち少なくとも一方を変化させる振動装置に関する。

【発明の効果】

【0025】

本発明によれば、振動によって塵埃を含む被駆動対象物を、効率よく所定の方

向に移動させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】本発明の実施形態1におけるカメラの図である。

【図2】本発明の実施形態1における振動装置の図である。

【図3】(a)は本発明の実施形態1における第1の振動モードでの光学素子の変形形状の斜視図であり、(b)は第2の振動モードでの光学素子の変形形状の斜視図である。

【図4】本発明の実施形態1における第1の振動モード及び第2の振動モードの節線と各圧電素子の配置及び電極パターンの対応を示す図である。

【図5】(A)は加振電圧の周波数と単位電圧あたりの各振動モードの振動の応答ゲインを表す図である。(B)は加振電圧の周波数と各振動モードの振動の応答位相を表す図である。

【図6】(a-1)は本発明の実施形態1における第3の振動モードの光学素子の変形形状を示す斜視図、(a-2)は第1の方向Aから見た図である。また、(b-1)は本発明の実施形態1における第4の振動モードの光学素子の変形形状を示す斜視図、(b-2)は第1の方向Aから見た図である。

【図7】(A)は本発明の実施形態1における領域を規定する範囲と、領域と交番電圧の設定との対応を示す図である。また、(B)は本発明の実施形態1における第3の振動モードでの、光学素子の変形形状の斜視図、(C)は第1の方向Aから見た図であり、領域の配置を示している。

【図8】本発明の実施形態1における各々の交番電圧の設定の算出に用いた第1から第4の振動モードの振動の振動応答の値を示した図である。

【図9】(A)は本発明の実施形態1における各々の交番電圧の設定に用いる10次及び11次振動の振動応答の値を示した図である。また、(B)は、加振電圧の大きさと位相を示した図で、(C)は交番電圧の大きさ及び位相と、これの電圧振幅比及び時間位相差を示した図である。

【図10】本発明の実施形態1における領域境界での振動状態の算出に用いた第1から第4の振動モードの振動の応答の値を示した図である。

【図11】本発明の実施形態1における領域境界での振動状態の算出に用いた10次及び11次振動の応答の値を示した図である。

【図12】(A)は本発明の実施形態1における領域境界での振動状態を示した図である。(B)は振動状態の10次振動と11次振動の振幅比と時間位相差の値を示した図である。

【図13】(a)は従来の振動装置の構成を示す図であり、(b)は従来の振動装置の振動体の面外1次曲げ振動と面外2次曲げ振動の変位分布と圧電素子の配置を示す図である。

【図14】従来の振動装置の、2つの振動の時間的位相差が90°である場合の面外1次曲げ振動、面外2次曲げ振動、およびこれらの振動が重ね合わされた振動体の変位を、時間位相毎に示すグラフである。

【図15】従来の振動装置の、2つの振動の時間的位相差が90°である場合の面外1次曲げ振動、面外2次曲げ振動、およびこれらの振動が重ね合わされた振動体の変位を、時間位相毎に示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図 1 6】従来の振動装置の、2つの振動の時間的位相差が90°である場合の面外1次曲げ振動、面外2次曲げ振動、およびこれらの振動が重ね合わされた振動体の変位を、時間位相毎に示すグラフである。

【図 1 7】従来の振動装置の、2つの振動の時間的位相差が90°である場合の面外1次曲げ振動、面外2次曲げ振動、およびこれらの振動が重ね合わされた振動体の変位を、時間位相毎に示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0027】

本発明は、少なくとも2つの駆動電圧を上述した不要な振動モードの振動応答を考慮した設定とし、駆動電圧同士の電圧振幅比と時間位相差とのうち少なくとも一方を変化させる。

10

【0028】

本発明において振動体とは、弾性体である光学素子と、圧電素子と、を接着材等により接合することで一体化したものを意味する。

【0029】

本発明は、以下に述べる構成の振動装置、該振動装置を有する駆動装置と塵埃除去装置と光学機器を提供するものである。以下に、本発明をさらに詳細に説明するが本発明はこれらによって何ら限定されるものではない。

【0030】

(実施形態1)

20

図1は光学機器のカメラである。11はカメラ本体で、12はレンズ筐体である。

【0031】

図2を用いて、実施形態1におけるカメラに装備された振動装置の構成例について説明する。

【0032】

本実施形態の振動装置は、塵埃を移動させて除去する塵埃除去装置として機能する。また塵埃除去装置は、光学機器の光路上に配置される。

【0033】

図2において、1は光学素子で、2枚の電気機械エネルギー変換素子である圧電素子2(2a、2b)が接着によって撮像素子4と同じ側に固着されている。ただし、本発明において圧電素子の数は、特許文献1と同様、2つに限定されず、少なくとも1つあればよい。圧電素子が1つの場合は、その圧電素子上に個別の電極を設け、夫々の電極に異なる駆動電圧を印加するとよい。また、本発明の圧電素子は、鉛の含有量が1000ppm未満である圧電材料と電極とを備えている。圧電材料の詳細は後述する。

30

【0034】

制御回路100は電源101の発生する駆動電圧としての交番電圧の周波数及び電圧値及び時間位相を設定する。電源101は圧電素子2a、2bと電氣的に接続されている。制御手段1000は、制御回路100と電源101とで構成される。本発明の駆動電圧は、少なくとも2つあればよい。

【0035】

40

光学素子1と圧電素子2とで振動体3を構成している。振動体3は、受光素子である撮像素子4の表面の空間が密封されるように撮像素子4に取り付けられている。被写体からの光が、光学素子1を透過し、撮像素子4に入射する。このときの撮像素子に入射する光が、光学素子1を透過する範囲が、光学有効部5である。

【0036】

本実施形態においても特許文献1と同様に、同方向に節線が並ぶ次数の異なる2つの面外曲げ振動(定在波)を、時間位相差を設けて励起することにより、2つの面外曲げ振動が合成された合成振動を振動体に生成させる。本発明における上記節線とは、弾性体である振動対象物(例えば光学素子)の所定の面に振動を与えて当該振動対象物の面上に定在波を発生させた場合に定在波の節となる部分を結んだ際に形成される仮想的線をいう。

50

## 【 0 0 3 7 】

本実施形態では、制御回路 1 0 0 は電源 1 0 1 の発生する駆動電圧の周波数を、紙面の左右方向（第 1 の方向、図中 A ）に節線が並び次数の異なる面外 1 0 次曲げ振動モード（第 1 の振動モード）と、面外 1 1 次曲げ振動モード（第 2 の振動モード）の両方に応答があって、両方の応答が略同じ周波数としている。ここで「応答がある」とは、振動が励起される、又は励振されることを意味する。

## 【 0 0 3 8 】

図 3（a）は、第 1 の振動モードの光学素子 1 の変形形状の斜視図であり、図 3（b）は第 2 の振動モードの光学素子 1 の変形形状の斜視図である。図 3（a）及び 3（b）において、A は第 1 の方向で、B は第 1 の方向と交差する第 2 の方向である。

10

## 【 0 0 3 9 】

本実施形態では第 1 の方向 A と第 2 の方向 B は直交している。C は振動モードにおける節線である。第 1 の振動モードと第 2 の振動モードは、第 1 の方向 A に並ぶ複数の節線を有している。また、第 1 の方向 A に並ぶ節線の数、第 1 の振動モードで 1 1 であり、第 2 の振動モードで 1 2 であり、異なる。第 1 の振動モードは、面外曲げ変形の次数が第 2 の振動モードよりも少なく、波長が長いために、第 2 の振動モードよりも固有振動数が低い。

## 【 0 0 4 0 】

制御回路 1 0 0 は電源 1 0 1 の発生する 2 つの駆動電圧の時間位相差を設定している。これによって、振動体 3 に面外 1 0 次曲げ振動モード（第 1 の振動モード）と、面外 1 1 次曲げ振動モード（第 2 の振動モード）が異なる時間位相で生成される。

20

## 【 0 0 4 1 】

これらの合成された振動については、先行技術（特許文献 1）と同様に、塵埃等の被駆動対象物を面外にたたき上げる時の面内方向の向きが、光学素子 1 の表面のほぼ全領域において同じとなる。これによって、振動によって移動させられる全ての被駆動対象物に面内の一方向の力を付与し、一方向の移動を実現することが可能となっている。

## 【 0 0 4 2 】

図 4 を用いて、本実施形態の面外 1 0 次曲げ振動モード（第 1 の振動モード）及び面外 1 1 次曲げ振動モード（第 2 の振動モード）の節線と各圧電素子 2 の配置及び電極パターンの対応を説明する。

30

## 【 0 0 4 3 】

プロット 6 に、振動体 3 に励起する第 1 の振動モードの変位分布（図中 7）と、同じく第 2 の振動モードの変位分布（図中 8）を示している。縦軸は光学素子 1 の面外方向の変位で、撮像素子 4 が配置されている側と反対側を正としている。横軸は図中の光学素子 1 の左右方向の位置と対応している。また、本実施形態では、この 2 つの振動の曲げの中立面が光学素子 1 の内部になっている。

## 【 0 0 4 4 】

変位の正の箇所配置されている圧電素子 2 には左右方向に伸縮の変形が生じ、変位の負の箇所配置されている圧電素子 2 には逆位相（ $180^\circ$ ）の左右方向の伸縮の変形が生じる。左右の両端の圧電素子 2 a と 2 b は矩形板形状で、左右方向（第 1 の方向 A）においては、光学素子 1 の端から光学有効範囲 5 まで配置されており、上下方向（第 2 の方向 B）においては、光学素子 1 の両端まで配置されている。

40

## 【 0 0 4 5 】

圧電素子 2 a と 2 b は、光学素子 1 と結合されている裏面には全面に一樣な電極を有しており、反対面の表面には複数の分割された電極（以下、分割電極 9）を有している。

## 【 0 0 4 6 】

分割電極 9 の分割箇所は、図中の破線に対応を示しているように、第 1 の振動モードの変位分布 7 での変位がほぼゼロとなる節の箇所と、第 2 の振動モードの変位分布 8 での変位がほぼゼロとなる節の箇所との中間の位置となっている。

## 【 0 0 4 7 】

50



分極時には、裏面の電極をグラウンド電位とし、表面の分割電極 9 には図中の + 及び - で示しているように、隣合う電極には異なる極性の電位を印加している。左の圧電素子 2 a の分割電極には左端から + - + - の極性が与えられ、右の圧電素子 2 b には右端から + - + - の極性が与えられている。分極方向は圧電素子 2 の厚さ方向で、図 4 中では紙面に直交した方向である。

#### 【 0 0 4 8 】

分極後には導電性を有する導電性塗料 10 を、分割電極 9 を跨るように施して、分割電極 9 のいずれかの箇所に電圧を印加すると、一つの圧電素子 2 の分割電極 9 の全てが同電位となるようになっている。

#### 【 0 0 4 9 】

圧電素子 2 は分極時の電位の極性と同じ電位の極性を与えると分極方向との直交方向に伸びる力が発生し、分極時の電位と異なる電位の極性を与えると縮む特性をもっている。交番電圧を印加した際には、交番電圧の周期と一致した周期的な伸縮力を発生する。また、交番電圧では分極時の極性によって、交番電圧に対する伸縮力の位相 (  $0^\circ$  または  $180^\circ$  ) が決定される。

#### 【 0 0 5 0 】

交番電圧である駆動電圧  $E(1) = V(1) \times \cos(2\pi f t)$  を左の圧電素子 2 a に印加する。駆動電圧  $E(1)$  は本発明における第 1 の駆動電圧であり、 $V(1)$  は電圧の大きさ ( 振幅 ) で、 $f$  は周波数で、 $t$  は時間である。これとは時間位相がディグリー (  $degree$  ) 単位で だけ異なる交番電圧である駆動電圧  $E(2) = V(2) \times \cos(2\pi f t + \pi / 180)$  を右の圧電素子 2 b に印加する。駆動電圧  $E(2)$  は本発明における第 2 の駆動電圧であり、 $V(2)$  は電圧の大きさ ( 振幅 ) である。

このとき、圧電素子 2 a と 2 b が逆位相の曲げ変形となる面外 10 次曲げ振動モード ( 第 1 の振動モード 7 ) に主に寄与する電圧は、駆動電圧  $E(1)$  と  $E(2)$  の差の成分を左右の圧電素子 2 a と 2 b に振り分けた  $E(差)$  であり、 $E(差) = E(1) / 2 - E(2) / 2$  で定義される。

#### 【 0 0 5 1 】

一方、圧電素子 2 a と 2 b が同位相の曲げ変形となる面外 11 次曲げ振動モード ( 第 2 の振動モード 8 ) に主に寄与する電圧は、駆動電圧  $E(1)$  と  $E(2)$  の和の成分を左右の圧電素子 2 a と 2 b に振り分けた  $E(和)$  で、 $E(和) = E(1) / 2 + E(2) / 2$  で定義される。

#### 【 0 0 5 2 】

ここで、 $E(差)$  による圧電素子 2 で発生する伸縮力の位相について、 $E(差)$  を位相の基準として述べる。左の圧電素子 2 a の伸縮力の位相の分布は、分割電極 9 に対応して左端から、 $0^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $180^\circ$  となる。右の圧電素子 2 b では右端から、 $180^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $0^\circ$  となる。

この伸縮力の位相の分布は、面外 10 次曲げ振動モード ( 第 1 の振動モード ) の変位分布 7 による圧電素子 2 の伸縮の変形の位相の分布とほぼ合致する。

このため、面外 10 次曲げ振動モード ( 第 1 の振動モード ) の大きな振動を得ることが可能となっている。

#### 【 0 0 5 3 】

一方、伸縮力の位相の分布は、面外 11 次曲げ振動モード ( 第 2 の振動モード ) の変位分布 8 と、左の圧電素子 2 a でほぼ合致し、右の圧電素子 2 b でほぼ逆転している。

$E(差)$  による面外 11 次曲げ振動 ( 第 2 の振動モード ) では、左の圧電素子 2 a によって励起される振動と、右の圧電素子 2 b によって励起される振動とが、大きさが等しく逆位相であるため、これらが打ち消し合って大きさがほぼゼロとなる。このため、 $E(差)$  では面外 11 次曲げ振動モード ( 第 2 の振動モード ) の振動は発生しない。

また、面外 10 次曲げ振動モード ( 第 1 の振動モード ) と左右方向の節数が異なる他の振動モードに対しても、伸縮力の位相の分布と変形の位相分布が異なり、振動を打ち消す効果によって、振動を小さくできる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 4 】

つぎに、E（和）による圧電素子 2 で発生する伸縮力の位相について E（和）を位相の基準として述べる。左の圧電素子 2 a の伸縮力の位相の分布は、分割電極 9 に対応して左端から、 $0^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $180^\circ$  となる。同様に右の圧電素子 2 b では右端から、 $0^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $180^\circ$  となる。

## 【 0 0 5 5 】

この伸縮力の位相の分布は、面外 1 1 次曲げ振動モード（第 2 の振動モード）の変位分布 8 による圧電素子 2 の伸縮の変形の位相の分布とほぼ合致する。このため、面外 1 1 次曲げ振動（第 2 の振動モード）の大きな振動を得ることが可能となっている。

## 【 0 0 5 6 】

この伸縮力による位相分布は、面外 1 0 次曲げ振動モード（第 1 の振動モード）の変位分布 7 と、左の圧電素子 2 a でほぼ合致し、右の圧電素子 2 b でほぼ逆転している。

E（和）による面外 1 0 次曲げ振動（第 1 の振動モード）では、左の圧電素子 2 a によって励起される振動と、右の圧電素子 2 b によって励起される振動とが、大きさが等しく逆位相であるため、これらが打ち消し合って大きさがほぼゼロとなる。このため、E（和）では面外 1 0 次曲げ振動モード（第 1 の振動モード）の振動は発生しない。

また、面外 1 1 次曲げ振動モード（第 2 の振動モード）とは左右方向の節数が異なる他の振動モードに対しても、伸縮力の位相の分布と変形の位相分布とが異なり、振動を打ち消す効果によって、振動を小さくできる。

## 【 0 0 5 7 】

ここで、第 1 の振動モードの振動及び第 2 の振動モードの振動と、駆動電圧 E（1）及び駆動電圧 E（2）の関係を、上述した加振電圧 E（差）及び加振電圧 E（和）に加えて、振動応答（応答振幅のゲインと応答位相）を考慮して、改めて述べる。

## 【 0 0 5 8 】

加振電圧 E（差）に対する第 1 の振動モードの振動応答の、応答振幅のゲインを（1）とし、応答位相を（1）とする。同様に、加振電圧 E（和）に対する第 2 の振動モードの振動応答の、応答振幅のゲインを（2）とし、応答位相を（2）とする。応答振幅のゲイン（1）及び（2）は、図 4 に示した第 1 及び第 2 の振動モードの変位分布の中で、最大変位の箇所で算出した値としている。この最大振幅の箇所は、1 波長ごとに 1 箇所あり、これらの位置では同じ振幅値となっている。

## 【 0 0 5 9 】

各々の振動モードでの応答位相の分布は、変位が正の箇所で一定値となっている。また、変位が負の箇所でも一定値となり、正の箇所の応答位相に対し、 $180^\circ$  異なる逆位相となっている。応答位相（1）及び（2）は、変位が正の箇所で、応答位相を算出した値としている。

（1）、（1）、（2）、（2）は、レーザドップラー振動計などを用いて測定し、既知の値となる。併せて、ここでは、駆動電圧 E（1）、駆動電圧 E（2）、加振電圧 E（差）、加振電圧 E（和）の大きさを、順に V（1）、V（2）、V（差）、V（和）とし、時間位相を順に、（1）、（2）、（差）、（和）とする。

## 【 0 0 6 0 】

第 1 の振動モードの振動は、大きさ X（1）と時間位相（1）とするための V（差）と（差）が、下記の式（1）（2）のように求められる。大きさ X（1）は、第 1 の振動モードの変位分布の中で、最大変位の箇所の振幅の値である。時間位相（1）は、変位が正の箇所の応答位相の値である。

$$V（差）= X（1）/（1） \cdots \text{式（1）}$$

$$（差）=（1）-（1） \cdots \text{式（2）}$$

## 【 0 0 6 1 】

同様に、第 2 の振動モードの振動は、大きさ X（2）と時間位相（2）とするための V（和）と（和）が、下記の式（3）（4）のように求められる。大きさ X（2）は、第 2 の振動モードの変位分布の中で、最大変位の箇所の振幅の値である。時間位相（2

10

20

30

40

50

）は、変位が正の箇所の応答位相の値である。

$$V(和) = X(2) / (2) \cdots \text{式}(3)$$

$$(和) = (2) - (2) \cdots \text{式}(4)$$

【0062】

また、駆動電圧  $E(1)$  は、 $E(和)$  と  $E(差)$  を足したものとなり、 $E(2)$  は、 $E(和)$  から  $E(差)$  を引いたものとなり、 $V(1)$ 、 $(1)$ 、 $V(2)$ 、 $(2)$  は、下記の式(5)～(8)で求められる。

$$V(1) = [\{V(和) \times \cos(和) + V(差) \times \cos(差)\}^2 + \{V(和) \times \sin(和) + V(差) \times \sin(差)\}^2]^{0.5} \cdots \text{式}(5)$$

$$(1) = \tan^{-1} [\{V(和) \times \sin(和) + V(差) \times \sin(差)\} / \{V(和) \times \cos(和) + V(差) \times \cos(差)\}] \cdots \text{式}(6)$$

$$V(2) = [\{V(和) \times \cos(和) - V(差) \times \cos(差)\}^2 + \{V(和) \times \sin(和) - V(差) \times \sin(差)\}^2]^{0.5} \cdots \text{式}(7)$$

$$(2) = \tan^{-1} [\{V(和) \times \sin(和) - V(差) \times \sin(差)\} / \{V(和) \times \cos(和) - V(差) \times \cos(差)\}] \cdots \text{式}(8)$$

【0063】

本発明において、より効率よく塵埃など（振動によって移動させられる全ての物体）を移動させるには、第1の振動モードの振動と第2の振動モードの振動が、同じ大きさで、かつ、時間位相差が  $90^\circ$  であると良い。つまり、 $X(1) = X(2) = X(0)$ 、 $(1) - (2) = 90^\circ$  の条件である。 $X(0)$  は、事前に移動させる物体の移動状態をみて設定すべき振幅の大きさである。この条件を満足する  $V(1)$  と  $V(2)$  及び  $(1)$  と  $(2)$  が、式(1)～(8)を用いて求められる。

【0064】

$X(0)$  を 倍にするには、 $V(1)$  と  $V(2)$  を共に 倍にすれば良く、 $V(1)$  と  $V(2)$  との電圧振幅比  $= V(2) / V(1)$  は変わらない。また、 $(1)$  を時間位相の基準とすると、時間位相差 は、 $= (2) - (1)$  となる。すなわち、より効率よく塵埃などを移動するには、電圧振幅比 と時間位相差 を式(1)～(8)と  $X(1) = X(2)$  の式(9)と  $(1) - (2) = 90^\circ$  の式(10)を用いて算出できる。

【0065】

ここで、本発明の理解を高めるために、上記した従来技術（特許文献1）における課題について、更に詳細に説明する。図5(A)は、加振電圧の周波数と単位電圧(1V)当たりの各振動モードの振動の応答ゲインを表すグラフである。図5(B)は、加振電圧の周波数と各振動モードの振動の応答位相を表すグラフである。

【0066】

図5(A)中において、プロットDは先に説明した交番電圧である加振電圧  $E(差)$  が単位電圧(1V)の場合の第1の振動モードの振動の応答ゲインの  $(1)$  を示している。そして、プロットEは交番電圧である加振電圧  $E(和)$  が単位電圧(1V)の場合の第2の振動モードの振動の応答ゲイン  $(2)$  を示している。図5(B)中において、プロットDは  $E(差)$  に対する第1の振動モードの振動の応答位相  $(1)$  を示し、プロットEは  $E(和)$  に対する第2の振動モードの振動の応答位相  $(2)$  を示している。

【0067】

振動体3にはこれら振動モードの固有振動数の付近に、他にも多くの振動モードが存在する(図5(A)中、プロットのF及びG及びH)。

【0068】

これらは、第1の振動モードDや第2の振動モードEと変位の分布が異なり、生成される振動の振幅分布や位相分布を変化させる振動モードである。

【0069】

10

20

30

40

50

図5 (A) 中のプロットFの振動モードは、左右方向(第1の方向A)の曲げ次数が第1の振動モードDと同じく面外10次曲げ変形であり、かつ、上下方向(第2の方向B)に面外1次曲げ変形となる振動モード(第3の振動モード)である。第3の振動モードは、上下方向(第2の方向B)の中央部と上下端部において、応答ゲインの最大値を持ち、Fはこの応答ゲインの最大値のE(差)が単位電圧(1V)の場合の大きさを示している。図5 (B) 中のプロットFは、E(差)に対する第3の振動モードの振動の応答位相を示している。

【0070】

図6 (a - 1) は、第3の振動モードFの光学素子1の変形形状を示す斜視図で、図6 (a - 2) は第1の方向Aから見た図である。

10

【0071】

第3の振動モードFの変形形状は、第1の振動モードDの変形形状に加えて上下方向(第2の方向B)にも変形がある。このため、第3の振動モードは、第1の振動モードDよりもやや高い固有振動数を有する。

【0072】

多くの不要な振動モードの中でも、第3の振動モードFの振動が特に大きくなる。

【0073】

第3の振動モードFの振動が特に大きくなる理由について、ここで述べる。

【0074】

第1の振動モードDの振動と第2の振動モードEの振動を発生させるために、圧電素子2a及び2bに駆動電圧を印加して、左右方向(第1の方向A)に伸縮力を発生させ、振動体3の方向の曲げ変形力を発生させている。

20

前述したように、分割電極9の分割位置は、第1の振動モードD及び第2の振動モードEの節線の位置に近くなっている。

【0075】

一方、第3の振動モードFも、第1の方向Aでの伸縮変形の位相分布が、圧電素子2の発生する伸縮力の位相分布に近くなっている。

このため、第3の振動モードFの振動が大きくなる。さらに、圧電素子2では、上下方向(第2の方向B)も分極方向と直交した方向であり、この方向にも伸縮力を発生して、振動体3に対して曲げ変形力を発生する。

30

【0076】

第3の振動モードFは、この上下方向(第2の方向B)に曲げ変形がある振動モードである。これにより、第3の振動モードFの振動はさらに大きくなる。

同様に、図5中のGに振動の大きさを示している左右方向(第1の方向A)の曲げ次数が第2の振動モードと同じ面外11次曲げ変形となり、かつ、上下方向(第2の方向B)に面外1次曲げ変形となる振動モード(第4の振動モード)の振動も、特に大きくなる。第4の振動モードは、上下方向(第2の方向B)の中央部と上下端部において、応答ゲインの最大値を持ち、Gはこの応答ゲインの最大値のE(和)が単位電圧(1V)の場合の大きさを示している。図5 (B) 中のプロットGは、E(和)に対する第4の振動モードの振動の応答位相を示している。

40

【0077】

図6 (b - 1) は、第4の振動モードGの光学素子1の変形形状を示す斜視図で、図6 (b - 2) は第1の方向Aから見た図である。

【0078】

第4の振動モードGの変形形状は、第2の振動モードEの変形形状に加えて上下方向(第2の方向B)にも変形がある。このため、第4の振動モードGは、第2の振動モードEよりもやや高い固有振動数を有する。

【0079】

第3の振動モードFや第4の振動モードGは、塵埃を移動させる為に励起する第1の振動モードD及び第2の振動モードEと、上下方向(第2の方向B)の変位分布が異なる。

50

このため、これらの第3の振動モードFや第4の振動モードGの振動が大きいと、塵埃などを移動させるための振動の、振幅分布や位相分布が変化してしまう。そして、塵埃を移動できない箇所や移動力が小さい箇所が発生し、塵埃を移動させる効率が低くなってしまう。

#### 【0080】

ここで、特に大きくなってしまう第3の振動モードの振動と第4の振動モードの振動の応答を加味して、振幅分布と位相分布の応答を述べる。図6の節線Cの箇所は、第3の振動モード及び第4の振動モードの振幅がゼロである箇所であるため、第3の振動モードの振動及び第4の振動モードの振動の影響を全く受けない。しかし、それ以外の箇所は振幅があるため、影響を受けてしまう。

10

#### 【0081】

第1の振動モードと第3の振動モードは左右方向（第1の方向A）の変位分布が共に面外10次曲げとなっている。これら振動モードの振動が合成された振動を10次振動とする。この大きさを $X(10, b)$ とし、時間位相を $(10, b)$ とする。さらに、第3の振動モードについて、応答振幅のゲインを $(3, b)$ とし、応答位相を $(3, b)$ とする。第3の振動モードは第2の方向Bにおいて、応答振幅及び応答位相が分布を持つ。 $( )$ 内の $b$ は第2の方向の位置で、 $(3, b)$ 及び $(3, b)$ を位置 $b$ の関数とする。伴って、10次振動も第2の方向Bにおいて、応答振幅及び応答位相が分布を持つため、 $X(10, b)$ 及び $(10, b)$ でも同様に、 $( )$ 内の $b$ を第2の方向の位置とした関数としている。

20

#### 【0082】

応答振幅のゲイン $(3, b)$ は、第3の振動モードの位置 $b$ での変位分布の中で、最大変位の箇所でも算出した値としている。この最大振幅の箇所は、第1の方向Aの1波長ごとに1箇所あり、これらの位置では同じ振幅値となっている。第3の振動モードでの応答位相の分布は、同じ位置 $b$ の中で変位が正の箇所において一定値となっている。また、変位が負の箇所においては、正の箇所の応答位相に対し、 $180^\circ$ 異なる逆位相の一定値となっている。応答位相 $(3, b)$ は、位置 $b$ において、変位が正の箇所でも、応答位相を算出した値としている。また、第1の振動モードの振動と第3の振動モードの振動とが、合成された振動の、 $E(差)$ に対する応答振幅のゲインを $(10, b)$ とし、応答位相を $(10, b)$ とする。これらは、第2の方向の位置 $b$ の関数となっている。

30

#### 【0083】

$(10, b)$ 及び $(10, b)$ は $E(差)$ のみを印加した状態でレーザドップラー振動計などを用いて測定し、既知の値となる。また、有限要素法を用いた数値解析でモード解析を行うことによって、第3の振動モードの応答ゲインがゼロである節位置を特定することができる。この節位置では、第3の振動モードの影響が無いので、上述の測定によって、第1の振動モードの振動の応答振幅のゲイン $(1)$ 及び応答位相 $(1)$ を測定することができる。第1の振動モードは、第2の方向Bに同じ応答を持っている。測定した $(10, b)$ 及び $(10, b)$ から $(1)$ 及び $(1)$ を数学的なベクトル分解を行うことで、 $(3, b)$ 及び $(3, b)$ を既知の値とできる。

40

#### 【0084】

10次振動の大きさ $X(10, b)$ と時間位相 $(10, b)$ は下記の式(11)～(14)で表わされる。

$$X(10, b) = (10, b) \times V(差) \quad \dots \text{式}(11)$$

$$(10, b) = [ \{ (1) \times \sin(1) + (3, b) \times \sin(3, b) \}^2 + \{ (1) \times \cos(1) + (3, b) \times \cos(3, b) \}^2 ]^{0.5} \quad \dots \text{式}(12)$$

$$(10, b) = (10, b) + (差) \quad \dots \text{式}(13)$$

$$(10, b) = \tan^{-1} [ \{ (1) \times \sin(1) + (3, b) \times \sin(3, b) \} / \{ (1) \times \cos(1) + (3, b) \times \cos(3, b) \} ] \quad \dots \text{式}(14)$$

50

## 【 0 0 8 5 】

同様に、第 2 の振動モードと第 4 の振動モードは左右方向（第 1 の方向 A）の変位分布が共に面外 1 1 次曲げとなっている。これら振動モードの振動が合成された振動を 1 1 次振動とする。この大きさを  $X(11, b)$  とし、時間位相を  $(11, b)$  とする。さらに、第 4 の振動モードについて、応答振幅のゲインを  $(4, b)$  とし、応答位相を  $(4, b)$  とする。第 4 の振動モードも 1 1 次振動も、第 2 の方向 B において、応答振幅及び応答位相が分布を持つ。 $( )$  内の  $b$  は第 2 の方向の位置で、 $(4, b)$  及び  $(4, b)$  と  $X(11, b)$  及び  $(11, b)$  を位置 B の関数としている。 $(4, b)$  と  $(4, b)$  と  $(11, b)$  と  $(11, b)$  の定義は、上述の  $(3, b)$  と  $(3, b)$  と  $(10, b)$  と  $(10, b)$  と同様である。 $(2)$ 、 $(2)$ 、 $(4, b)$ 、 $(4, b)$ 、 $(11, b)$ 、 $(11, b)$  は E（和）のみを印加した状態でレーザドップラー振動計による測定やモード解析の結果やベクトル分解などを用いて、既知の値とできる。

10

## 【 0 0 8 6 】

1 1 次振動の大きさ  $X(11, b)$  と時間位相  $(11, b)$  は下記の式 (15) ~ (18) で表わされる。

$$\begin{aligned}
 X(11, b) &= (11, b) \times V(\text{和}) \quad \dots \text{式}(15) \\
 (11, b) &= [ \{ (2) \times \sin(2) + (4, b) \times \sin(4, b) \}^2 + \{ (2) \times \cos(2) + (4, b) \times \cos(4, b) \}^2 ]^{0.5} \quad \dots \text{式}(16) \\
 (11, b) &= (11, b) + (\text{和}) \quad \dots \text{式}(17) \\
 (11, b) &= \tan^{-1} [ \{ (2) \times \sin(2) + (4, b) \times \sin(4, b) \} / \{ (2) \times \cos(2) + (4, b) \times \cos(4, b) \} ] \quad \dots \text{式}(18)
 \end{aligned}$$

20

## 【 0 0 8 7 】

先に述べた第 1 振動モードと第 2 の振動モードのみを考慮した場合と同様に、これらの式 (11) ~ (18) と式 (5) ~ (8) と  $X(0) = X(10, b) = X(11, b)$  の式 (19) と  $(10, b) - (11, b) = 90^\circ$  の式 (20) から、より効率よく塵埃などを移動させる E (1) と E (2) の電圧振幅比 と時間位相差 を用いて算出し設定するべきである。 $X(0)$  は、事前に移動させる物体の移動状態をみて設定すべき振幅の大きさである。

30

## 【 0 0 8 8 】

従来技術（特許文献 1）では、主に励起する二つの振動モード（本実施形態では、第 1 の振動モードと第 2 の振動モードに相当する）の振動のみを考慮して、印加する駆動電圧を設定している。しかしながら、他の振動モードの応答は起こるものの、これを考慮したものにはなっていない。移動させる向きを切替えるために、電圧設定を変更することは述べられているが、移動させる向きが同じであれば、2 つの駆動電圧の組み合わせはひとつの設定となっている。つまり、移動させる向きが同じであれば、2 つの駆動電圧の時間位相差は、ある特定の組み合わせとなっている。もちろん 2 つの駆動電圧の電圧振幅比も、ある特定の組み合わせとなっている。このため、第 3 の振動モードと第 4 の振動モードがともに振幅がゼロの節線となっている箇所付近のみが、最良な振動状態になっており、他の箇所は塵埃を移動させる能力が低くなっている。つまり、振動体に生じる合成振動の振幅分布は変化せず、一定となっている。

40

## 【 0 0 8 9 】

本発明は、第 3 や第 4 の振動モードなどの不要な振動モードの振動の応答も考慮し、広範囲をより効率よく塵埃などを移動させるものである。

## 【 0 0 9 0 】

ここで、本実施形態での振動応答と駆動方法及びその効果について述べる。

## 【 0 0 9 1 】

駆動電圧 E (1) 及び E (2) の周波数は、E (差) と E (和) の大きさが同じであっ

50

た場合に、第 1 及び第 2 の振動モードの振動が同じ大きさとなる周波数であり、図 5 ( A ) 中では  $f$  としている。E ( 1 ) 及び E ( 2 ) の周波数が  $f$  であると、E ( 差 ) と E ( 和 ) の周波数も  $f$  となる。

【 0 0 9 2 】

周波数  $f$  では、第 3 の振動モードの振動の大きさの最大値  $F$  は、第 1 及び第 2 の振動モードの振動の大きさの半分となっている。また、第 4 の振動モードの振動の大きさの最大値  $G$  は、第 1 及び第 2 の振動モードの振動の大きさの 4 分の 1 となっている。

【 0 0 9 3 】

第 1 の振動モードの振動の大きさで、これら振動の大きさを正規化すると、( 1 ) = 1、( 2 ) = 1、( 3、b ) の最大値は 0.5、( 4、b ) の最大値は 0.25 となる。

10

【 0 0 9 4 】

また、E ( 差 ) に対する第 1 の振動モード D の応答位相 ( 1 ) は  $-165^\circ$  で、E ( 和 ) に対する第 2 の振動モード E の応答位相 ( 2 ) は  $-15^\circ$  となっている。E ( 差 ) に対する第 3 の振動モード F の応答位相 ( 3、b ) は、図 6 ( a - 1 ) 中の第 1 の方向 A に平行な二つの節線 C に挟まれる領域では  $-157^\circ$  で、その外側では反転した  $23^\circ$  となっている。

【 0 0 9 5 】

E ( 和 ) に対する第 4 の振動モード G の応答位相 ( 4、b ) は、図 6 ( b - 1 ) 中の第 1 の方向 A に平行な二つの節線 C に挟まれる領域では  $-12^\circ$  で、その外側では反転した  $168^\circ$  となっている。

20

【 0 0 9 6 】

ここで、従来技術に基づく、具体的な電圧設定と振動状態を述べる。

【 0 0 9 7 】

電圧設定の電圧振幅比 と時間位相差 の算出には、式 ( 1 ) ~ ( 10 ) と、( 1 ) 及び ( 2 ) の値、( 1 ) 及び ( 2 ) の値を用いる。

式 ( 1 ) に ( 1 ) = 1 を代入すると、 $V(差) = X(1)$  となる。式 ( 3 ) に ( 2 ) = 1 を代入すると、 $V(和) = X(2)$  となる。これらと式 ( 9 ) から、 $V(差) = V(和)$  となる。

式 ( 2 ) に ( 1 ) =  $-165^\circ$  を代入すると、 $(差) = (1) + 165^\circ$  となる。

30

式 ( 4 ) に ( 2 ) =  $-15^\circ$  を代入すると、 $(和) = (2) + 15^\circ$  となる。これらと式 ( 10 ) から、 $(差) - (和) = 240^\circ$  となる。ここで、( 差 ) を時間位相の基準として  $(差) = 0^\circ$  とすると、 $(和) = -240^\circ$  となる。

式 ( 5 ) ~ ( 8 ) に  $V(差) = V(和)$  と  $(差) = 0^\circ$  と  $(和) = -240^\circ$  を代入して計算すると、 $V(1) = V(差)$ 、 $V(2) = 1.732 \times V(差)$ 、 $(1) = 60^\circ$ 、 $(2) = 150^\circ$  となる。これらから、電圧振幅比  $= V(2) / V(1) = 1.732$ 、及び、時間位相差  $= 90^\circ$  と設定される。この電圧振幅比 及び時間位相差

によって、第 1 の振動モードの振動と第 2 の振動モードの振動とが、同じ大きさ、かつ、 $90^\circ$  時間位相差の振動状態となる。例えば、設定すべき振幅の大きさ  $X(0) = 100$  とすると、電圧設定は  $V(1) = 100$ 、 $V(2) = 173.2$ 、E ( 2 ) の E ( 1 ) に対する時間位相差  $= 90^\circ$  となり、振動状態は、 $X(0) = X(1) = X(2) = 100$ 、 $(1) - (2) = 90^\circ$  となる。

40

【 0 0 9 8 】

しかしながら、上述したように第 3 及び第 4 の振動モードの振動の影響があるために、第 3 及び第 4 の振動モードの振動の節線の位置以外では、10 次振動と 11 次振動は、同じ大きさ、かつ、 $90^\circ$  時間位相差の状態では無くなっている。

【 0 0 9 9 】

ここで、例として、同じ電圧設定での、上下方向 ( 第 2 の方向 B ) の中央部と上下端部の 10 次振動と 11 次振動の応答を述べる。

【 0 1 0 0 】

50

上下方向（第2の方向B）の中心部の10次振動と11次振動の応答は、式（11）～（14）と、上述の $V(\text{差}) = V(\text{和})$ と（差）＝0°と（和）＝-240°と、（3、b）＝0.5と（3、b）＝-165°と（4、b）＝0.25と（4、b）＝-12°から求められる。これらから、 $X(10, b) = 150$ 、 $(10, b) = -162^\circ$ 、 $X(11, b) = 125$ 、 $(11, b) = -254^\circ$ となる。このように、 $X(10, b)$ と $X(11, b)$ は同じ大きさとなっておらず、かつ、 $(10, b)$ と $(11, b)$ は90°時間位相差にもなっておらず、塵埃を移動させる能力が低くなっている。また、 $X(10, b)$ と $X(11, b)$ は設定すべき振幅の大きさ $X(0) = 100$ と大きく異なっている。

#### 【0101】

同様に、上下方向（第2の方向B）の上下端部については、式（11）～（14）と、上述の $V(\text{差}) = V(\text{和})$ と（差）＝0°と（和）＝-240°と、（3、b）＝0.5と（3、b）＝-165°と（4、b）＝0.25と（4、b）＝-12°から求められる。これらから、 $X(10, b) = 51$ 、 $(10, b) = -173^\circ$ 、 $X(11, b) = 75$ 、 $(11, b) = -256^\circ$ となる。このように、 $X(10, b)$ と $X(11, b)$ は同じ大きさとなっておらず、かつ、 $(10, b)$ と $(11, b)$ は90°時間位相差にもなっておらず、塵埃を移動させる能力が低くなっている。また、 $X(10, b)$ と $X(11, b)$ は設定すべき振幅の大きさ $X(0) = 100$ と大きく異なっている。

#### 【0102】

本実施形態では、特に大きくなる第3の振動モード及び第4の振動モードの応答（励起／励振）も考慮して、制御手段は、駆動電圧 $E(1)$ 及び $E(2)$ の電圧振幅比と時間位相差を変化させている。つまり、駆動電圧 $E(1)$ 及び $E(2)$ の電圧振幅比と時間位相差を、所定時間単位で時系列に変化させている。第3及び第4の振動モードの振動の応答は、上述のとおり、第2の方向Bに分布を持っている。これを考慮して、第3の振動モードの振動の応答振幅のゲイン（3、b）と応答位相（3、b）を閾値として、図7（A）に示すように、光学素子1を上下方向（第2の方向）に、10個の領域（領域1～10）に仮想的に分割している。図7（B）は、第3の振動モードの光学素子1の変形形状を示す斜視図である。図7（C）は第1の方向Aから第1から見た図で、領域1～10の配置を示している。

#### 【0103】

本発明は、これら領域ごとに最適な交番電圧の設定があることに着目し、合成振動の振幅分布を変化させるべく、駆動電圧同士の電圧振幅比と時間位相差とのうち少なくとも一方を変化させる。このような駆動電圧により、理想的には、最適な振動状態となる領域が順次時系列で切り替わり、1回の制御期間中に、全領域が最適な振動状態を経験することを実現するものである。

#### 【0104】

第1から第4の振動モードの応答振幅のゲイン及び応答位相の分布は、いずれも、上下方向に対称な関係になっている。従って、図7（A）に示すように、領域1から10と交番電圧の設定との組合せは、領域1から領域10の上下対称な領域を同一の交番電圧を設定する（印加する）一組の領域としている。そして、この一組の同一の交番電圧を設定する領域に対して、第1から第5の交番電圧を設定する。即ち、本発明において、「同一の交番電圧を設定する領域」とは、必ずしも1つの物理的に連続する領域だけではなく、物理的に離れた位置であっても、同一の交番電圧を設定する領域であれば、「同一の交番電圧を設定する領域」となる。従って、「同一の交番電圧を設定する第1の領域」と「同一の交番電圧を設定する第2の領域」というように区別する場合には、各々の領域は、物理的に連続した1つの領域の場合もあれば少なくとも一方の領域が物理的に離れた領域の集合体の場合もあり得る。そして第1の領域又は第2の領域に含まれる領域は各々同一の交番電圧が設定され、第1の領域の交番電圧と第2の領域の交番電圧とは互いに異なる交番電圧の設定となる。

10

20

30

40

50



## 【0105】

また本発明において、設定（仮想的に分割）される領域は少なくとも2つ存在すれば本発明の効果は得られるが、設定する（分割する）領域の数は、2つに限られず、設定する振動の状態に応じて、2以上の領域に設定（分割）することもできる。つまり、第1～第nの領域（nは2以上の整数）に仮想的に分割して、夫々の領域ごとに最適な交番電圧の設定を算出するとよい。

## 【0106】

また各領域の設定（分割）の仕方は、設定する振動の状態や振動対象物の形状に基づいて適宜定められる。例えば方形の振動対象物であれば、振動対象物の長手方向と垂直な方向に複数のライン状に領域を設定（分割）することができる。同様に振動対象物の長手方向と平行な方向に複数のライン状に領域を設定（分割）することもできる。また振動対象物の長手方向と垂直な方向及び平行な方向に格子状に複数のライン状に領域を設定（分割）することができる。円形状の振動対象物であれば、方形の振動対象物と同様にライン状に複数の領域を設定することもできるが、同心円状に複数の領域を設定することもできる。

## 【0107】

本実施形態においては、領域5と領域6とを合わせて、同一の交番電圧である第1の交番電圧を設定する第1の領域としている。同様に領域4と領域7とを合わせて、同一の交番電圧である第2の交番電圧を設定する第2の領域としている。同様に領域3と領域8とを合わせて、同一の交番電圧である第3の交番電圧を設定する第3の領域としている。同様に領域2と領域9とを合わせて、同一の交番電圧である第4の交番電圧を設定する第4の領域としている。同様に領域1と領域10とを合わせて、同一の交番電圧である第5の交番電圧を設定する第5の領域としている。そして第1の交番電圧乃至第5の交番電圧は互いに電圧振幅比と時間位相差との少なくとも一方の値が異なる。

## 【0108】

本発明の制御装置には、これら第1から第5の領域ごとに最適な交番電圧が設定されており、第1から第5の領域ごとに順次最適な振動状態を実現するものである。領域と交番電圧の設定の対応は、図7（A）に示すとおりである。第1の領域を最適な振動状態とするために、前記したように第1の交番電圧の設定がある。第2の領域を最適な振動状態とするために、第2の交番電圧の設定がある。第3の領域を最適な振動状態とするために、第3の交番電圧の設定がある。第4の領域を最適な振動状態とするために、第4の交番電圧の設定がある。第5の領域を最適な振動状態とするために、第5の交番電圧の設定がある。ここで上記において、「第1の交番電圧の設定」として表現しているのは、圧電素子が2つ設けられている場合は、「第1の領域」を最適な振動状態とするため、第1の圧電素子と第2の圧電素子とに夫々印加する交番電圧の「組み合わせ」のことである。つまり、第1の交番電圧の設定には、第1の圧電素子と第2の圧電素子とに夫々印加する交番電圧同士の振幅比（第1の電圧振幅比）と時間位相差（第1の時間位相差）がある。同じように、第2の交番電圧の設定には、第2の電圧振幅比と第2の時間位相差がある。同様に、第3から第5の交番電圧の設定には、第3から第5の電圧振幅比と第3から第5の時間位相差がある。つまり、第nの領域に対応する第nの交番電圧の設定は、交番電圧同士の振幅比（第nの電圧振幅比）と時間位相差（第nの時間位相差）で表現される。

## 【0109】

交番電圧の設定の算出には、図8に示す値を用いている。各々の交番電圧の設定の算出には、対応する各領域の（3、b）の中間値を用いている。第1及び第2の振動モードの振動の応答は、上下方向（第2の方向B）に応答が均一である。全ての領域において、

（1）＝1、（2）＝1、（1）＝－165°、（2）＝－15°となっている。第1の交番電圧を設定する第1の領域である領域5と領域6では、（3、b）は0.3～0.5で、この中間値0.4を用いている。その他の交番電圧の設定においても、同様に（3、b）の範囲の中間値を用いている。（3、b）は、図7（B）の第1の方向Aに平行な二つの節線Cに挟まれる領域では、－157°で、その他の外側では23°

である。これに対応して、図 8 に示す (3、b) の値となっている。第 3 の交番電圧を設定する第 3 の領域である領域 3 及び領域 8 の交番電圧の設定値は、 $-157^\circ$  または  $23^\circ$  と記載しているが、ここで用いる応答振幅のゲイン (3、b) がゼロであるので、実質的な意味を持たない。

#### 【0110】

第 4 の振動モードの上下方向 (第 2 の方向 B) の変位分布は、第 3 の振動モードと同じとなるので、(4、b) (3、b) となる。(3、b) も (4、b) も上下方向 (第 2 の方向 B) の中心部と上下端部で最大値を持ち、前者が 0.5 で、後者が 0.25 である。これらのことから、 $(4、b) = 0.5 \times (3、b)$  となる。(4、b) は、図 7 (B) の第 1 の方向 A に平行な二つの節線 C に挟まれる領域では、 $-12^\circ$  で、その他の外側では  $168^\circ$  である。これに対応して、図 8 に示す (4、b) の値となっている。第 3 の交番電圧を設定する第 3 の領域である領域 3 及び領域 8 の交番電圧の設定値は、 $-12^\circ$  または  $168^\circ$  と記載しているが、ここで用いる応答振幅のゲイン (4、b) がゼロであるので、実質的な意味を持たない。

#### 【0111】

図 8 に示す値と式 (5) ~ (8) と式 (11) ~ (20) とを用いて、上述の従来技術に基づく具体的な電圧設定と同じく  $X(0) = 100$  として、各々の交番電圧の設定を算出している。

#### 【0112】

図 8 に示した値と式 (12) (14) (16) (18) から、各々の交番電圧の設定に用いる、(10、b)、(10、b)、(11、b)、(11、b) の値は図 9 (A) に示すとおりとなる。図 9 (A) に示した値と式 (11) (13) (15) (17) (19) (20) から、 $V(\text{差})$ 、(差)、 $V(\text{和})$ 、(和) は図 9 (B) に示すとおりとなる。図 9 (B) に示した値と式 (5) ~ (8) から、 $V(1)$ 、(1)、 $V(2)$ 、(2) は図 9 (C) に示すとおりとなる。また、電圧振幅比 と時間位相差の値も図 9 (C) に示す。第 1 から第 5 の電圧振幅比 は、互いに異なった値となっている。第 1 から第 5 の時間位相差 も、互いに異なった値となっている。

#### 【0113】

ここで、各交番電圧の設定において、対応する領域内の振動状態について述べる。

#### 【0114】

各々の領域で、対応する交番電圧の設定の算出に用いた箇所は、 $X(10) = X(11) = X(0) = 100$ 、かつ、 $(1) - (2) = 90^\circ$  となっており、最良の振動状態となっている。ここから離れる程に、振動状態は悪化していき、領域内では、領域の境界 (以下、領域境界) が最も振動状態が悪い状態となっている。

#### 【0115】

この領域境界での振動状態を算出する。図 10 に、領域境界での (1)、(1)、(2)、(2)、(3、b)、(3、b)、(4、b)、(4、b) の値を示す。図 10 に示した値と式 (12) (14) (16) (18) から、各々の領域境界での、(10、b)、(10、b)、(11、b)、(11、b) の値は図 11 に示すとおりとなる。図 11 の値と、図 9 (B) の交番電圧の設定の値と、式 (11) (13) (15) (17) から、各々の交番電圧の設定における領域境界での振動状態は、図 12 (A) のとおりとなる。

#### 【0116】

ここで、従来技術に対しての本実施形態での効果について、述べる。

#### 【0117】

これまで述べてきたとおり、塵埃などを効率よく移動させる最良の振動状態は、10 次振動と 11 次振動が、同じ大きさで、かつ  $90^\circ$  時間位相差となっている状態である。この指標として、 $X(10、b) / X(11、b)$  の値と、 $(10、b) - (11、b)$  の値を用いることができる。 $X(10、b) / X(11、b)$  が 1 に近いほど良く、併せて  $(10、b) - (11、b)$  が  $90^\circ$  に近いほど良い。

## 【0118】

先に述べた従来技術による駆動電圧の設定は、光学素子1の全体に対して一組の交番電圧の設定を用いている。つまり、2つの駆動電圧の電圧振幅比と時間位相差は一定である。第3及び第4の振動モードの第1の方向Aに平行な節線の位置では、 $X(1) = X(2) = X(10, b) = X(11, b)$ となり、 $X(10, b) / X(11, b)$ が1となる。また、 $(1) = (10, b)$ 、 $(2) = (11, b)$ で $(1) - (2) = 90^\circ$ であるので、 $(10, b) - (11, b) = 90^\circ$ となる。しかし、例えば、 $(3, b)$ や $(4, b)$ が最大値のなる上下方向(第2の方向B)の中心部や上下端部では、これと振動状態が大きく異なってしまう。上述したように、この中心部では、 $X(10, b) = 150$ 、 $(10, b) = -162^\circ$ 、 $X(11, b) = 125$ 、 $(11, b) = -254^\circ$ となっている。これらから、 $X(10, b) / X(11, b) = 150 / 125 = 1.2$ で、 $(10, b) - (11, b) = -162^\circ - (-254^\circ) = 92^\circ$ である。上下端部では、 $X(10, b) = 51$ 、 $(10, b) = -173^\circ$ 、 $X(11, b) = 75$ 、 $(11, b) = -256^\circ$ となっている。これらから、 $X(10, b) / X(11, b) = 51 / 75 = 0.68$ で、 $(10, b) - (11, b) = -173^\circ - (-256^\circ) = 83^\circ$ である。より悪い振動状態は、上下端部の $X(10, b) / X(11, b) = 0.68$ で、 $(10, b) - (11, b) = 83^\circ$ である。ここでは、最良の状態に対し、 $X(10, b) / X(11, b)$ が32%の差異があり、 $(10, b) - (11, b)$ が7°の差異がある。

10

## 【0119】

20

一方、本実施形態での駆動電圧の設定では、同一の交番電圧を設定する領域を構成する各領域境界での $X(10, b) / X(11, b)$ と $(10, b) - (11, b)$ を算出すると、図12(B)となる。算出には、先に示した図12(A)の $X(10, b)$ 、 $X(11, b)$ 、 $(10, b)$ 、 $(11, b)$ を用いている。

## 【0120】

本実施形態の駆動手順は、駆動電圧の設定を、第1から第5の交番電圧の設定まで、所定時間単位で順次時系列に切替え、振動体に生成する合成振動の振幅分布と位相分布を時系列に切替えるものである。つまり、本発明では、駆動電圧同士の電圧振幅比を、第1の交番電圧同士の電圧振幅比から第nの交番電圧同士の電圧振幅比まで、時系列で変化させたり、駆動電圧同士の位相差を、第1の交番電圧同士の位相差から第nの交番電圧同士の位相差まで、時系列で変化させたり、している。これによって、各々の交番電圧の設定に対応する領域を、良好な振動状態にする。各対応する領域での最も悪い振動状態の箇所は、領域境界の位置で、図12(B)である。図12(B)のとおり、その中で最も悪い振動状態は、第5の交番電圧の設定における領域1及び領域10の上下端部で、 $X(10, b) / X(11, b) = 0.90$ で、 $(10, b) - (11, b) = 87.6^\circ$ である。最良の状態である、 $X(10, b) / X(11, b) = 1$ かつ $(10, b) - (11, b) = 90^\circ$ に対し、 $X(10, b) / X(11, b)$ が10%の差異となり、 $(10, b) - (11, b)$ が2.4°の差異となっている。

30

## 【0121】

駆動手順が完了した際には、光学素子1の全ての箇所が、これ以上に良好な振動状態を経験している。従来技術では、最良の状態である、 $X(10, b) / X(11, b) = 1$ かつ $(10, b) - (11, b) = 90^\circ$ に対し、 $X(10, b) / X(11, b)$ が32%の差異があり、 $(10, b) - (11, b)$ が7°の差異であるので、本実施形態の方が、 $X(10, b) / X(11, b)$ はより良くなっており、 $(10, b) - (11, b)$ もより良くなっている。光学素子1の全ての箇所として、より効率よく塵埃などを移動させることができている。また領域境界においても、 $X(10, b)$ 及び $X(11, b)$ が従来技術に比較し目標値 $X(0) = 100$ に近い値とできている。

40

## 【0122】

ここで、本発明においては、合成振動の振幅分布を変化させるべく、駆動電圧同士の電圧振幅比と時間位相差とのうち少なくとも一方を変化させるだけでもよいが、本実施形態

50

のように、電圧振幅比と時間位相差をどちらも変化させることが好ましい。

【0123】

また、本発明においては、合成振動の振幅分布を時系列に変化させるだけでなく、合成振動の位相分布も時系列で変化してもよい。

【0124】

さらに、駆動電圧同士の電圧振幅比や時間位相差を時系列で変化させる際は、なだらかに変化させてもよいし、瞬時に切替え（スイッチ）してもよい。

【0125】

（圧電材料）

本発明の圧電素子に用いられる圧電材料としては、鉛の含有量が1000ppm未満である。従来の塵埃除去装置において、圧電材料はそのほとんどがジルコン酸チタン酸鉛を主成分とする圧電セラミックスである。このため、例えば塵埃除去装置が廃却され酸性雨を浴びたり、過酷な環境に放置されたりした際、圧電材料中の鉛成分が土壤中に溶け出し生態系に害を成す可能性が指摘されている。しかし、鉛の含有量が1000ppm未満であれば、例えば塵埃除去装置470が廃却され酸性雨を浴びたり、過酷な環境に放置されたりしても、圧電材料431中の鉛成分が環境に悪影響を及ぼす可能性は低い。

【0126】

圧電材料の鉛の含有量は、例えば蛍光X線分析（XRF）、ICP発光分光分析により定量された圧電材料の総重量に対する鉛の含有量によって評価することができる。

【0127】

本発明の圧電材料はチタン酸バリウムを主成分とする圧電セラミックスであることが好ましい。このような非鉛圧電セラミックスでは、現状、各種諸特性がジルコン酸チタン酸鉛を主成分とする圧電セラミックスに匹敵するような優れた材料の実現には未だ至っていない。しかし、例えば圧電材料がチタン酸バリウムを主成分とする圧電セラミックスである場合は、弾性率がジルコン酸チタン酸鉛より大きくなる。本発明の振動装置は、圧電素子2a, 2bの長さ方向に伸縮振動により、弾性体である光学素子1に面外振動を発生させるが、圧電素子2a, 2bの弾性率が大きければ、圧電定数等の圧電諸特性がジルコン酸チタン酸鉛に多少及ばなくても、光学素子1に従来と同等の面外振動を発生させることができることがわかった。このため、本発明の圧電材料は、環境面も考慮し、チタン酸バリウムを主成分とする圧電セラミックスであることが好ましい。

【0128】

なお、本明細書中においてセラミックスとは、基本成分が金属酸化物であり、熱処理によって焼き固められた結晶粒子の凝集体（バルク体とも言う）、いわゆる多結晶を表す。焼結後に加工されたものも含まれる。

【0129】

本発明の圧電材料は下記一般式（1）

一般式（1）  $(Ba_{1-x}Ca_x)(Ti_{1-y}Zr_y)O_3$   
 $(0.02 \leq x \leq 0.30, 0.020 \leq y \leq 0.095)$  であり、かつ  $y \leq x$  で表わされるペロブスカイト型金属酸化物を主成分とすることが好ましい。

【0130】

本発明において、ペロブスカイト型金属酸化物とは、岩波理化学辞典 第5版（岩波書店 1998年2月20日発行）に記載されているような、理想的には立方晶構造であるペロブスカイト構造（ペロフスカイト構造とも言う）を持つ金属酸化物を指す。ペロブスカイト構造を持つ金属酸化物は一般に  $ABO_3$  の化学式で表現される。ペロブスカイト型金属酸化物において、元素A、Bは各タイオンの形でAサイト、Bサイトと呼ばれる単位格子の特定の位置を占める。例えば、立方晶系の単位格子であれば、A元素は立方体の頂点、B元素は体心に位置する。O元素は酸素の陰イオンとして立方体の面心位置を占める。

【0131】

前記一般式（1）で表わされる金属酸化物は、Aサイトに位置する金属元素がBaとC

10

20

30

40

50

a、Bサイトに位置する金属元素がTiとZrであることを意味する。ただし、一部のBaとCaがBサイトに位置してもよい。同様に、一部のTiとZrがAサイトに位置してもよい。

【0132】

一般式(1)における、Bサイトの元素とO元素のモル比は1対3であるが、モル比が若干ずれた場合(例えば、1.00対2.94~1.00対3.06)でも、金属酸化物がペロブスカイト構造を主相としていれば、本発明の範囲に含まれる。

【0133】

金属酸化物がペロブスカイト構造であることは、例えば、X線回折や電子線回折による構造解析から判断することができる。

10

【0134】

一般式(1)において、AサイトにおけるCaのモル比を示すxは、0.02 < x < 0.30の範囲である。xが0.02より小さいと誘電損失(tan δ)が増加する。誘電損失が増え、圧電素子430に電圧を印加して駆動させた際に発生する発熱が増え、駆動効率が低下する恐れがある。一方で、xが0.30より大きいと圧電特性が充分でなくなる恐れがある。

【0135】

一般式(1)において、BサイトにおけるZrのモル比を示すyは、0.020 < y < 0.095の範囲である。yが0.020より小さいと、圧電特性が充分でなくなる。一方で、yが0.095より大きいとキュリー温度(Tc)が85℃未満と低くなり、高温において圧電特性が消失する恐れがある。

20

【0136】

本明細書において、キュリー温度とは、強誘電性が消失する温度をいう。その特定方法は、測定温度を変えながら強誘電性が消失する温度を直接測定する方法に加えて、微小交流電界を用いて測定温度を変えながら誘電率を測定し誘電率が極大を示す温度から求める方法がある。

【0137】

一般式(1)において、Caのモル比xとZrのモル比yはy > xの範囲である。y > xであると、誘電損失が増加したり、絶縁性が充分でなくなったりする。また、これまで示したxとyの範囲を同時に満たすと、相転移温度Tを室温付近から実用温度以下に移動させることが可能となり、広い温度領域において安定に圧電素子430を駆動させることが可能となる。

30

【0138】

また、一般式(1)において、AサイトにおけるBaとCaのモル量とBサイトにおけるTiとZrのモル量との比を示すA/Bは、1.00 < A/B < 1.01の範囲であることが好ましい。A/Bが1.00より小さいと異常粒成長が生じ易くなり、圧電材料の機械的強度が低下してしまう。一方で、A/Bが1.01より大きくなると粒成長に必要な温度が高くなり過ぎ、一般的な焼成炉では密度が十分に大きくならなかったり、圧電材料内にポアや欠陥が多数存在してしまったりする。

【0139】

本発明の圧電材料は、前記一般式(1)で表わされるペロブスカイト型金属酸化物を主成分とし、前記金属酸化物にMnが含有されており、前記Mnの含有量が前記金属酸化物100重量部に対して金属換算で0.02重量部以上0.40重量部以下であることが好ましい。

40

【0140】

前記範囲のMnを含有すると、絶縁性や機械的品質係数Qmが向上する。絶縁性と機械的品質係数の向上は、TiやZrと価数が異なるMnによって欠陥双極子が導入されて内部電界が発生することに由来すると考えられる。内部電界が存在すると、圧電素子に電圧を印加し駆動させた際に、圧電素子の信頼性が確保できる。

【0141】

50

ここで、Mnの含有量を示す金属換算とは、圧電材料から蛍光X線分析(XRF)、ICP発光分光分析、原子吸光分析などにより測定されたBa、Ca、Ti、ZrおよびMnの各金属の含有量から、一般式(1)で表わされる金属酸化物を構成する元素を酸化物換算し、その総重量を100としたときに対するMn重量との比によって求められた値を表す。

#### 【0142】

Mnの含有量が0.02重量部未満であると、圧電素子の駆動に必要な分極処理の効果が充分でなくなる。一方、Mnの含有量が0.40重量部より大きくなると、圧電特性が充分でなくなることや、圧電特性に寄与しない六方晶構造の結晶が発現するので好ましくない。

10

#### 【0143】

Mnは金属Mnに限らず、Mn成分として圧電材料に含まれていれば良く、その含有の形態は問わない。例えば、Bサイトに固溶していても良いし、粒界に含まれていてもかまわない。または、金属、イオン、酸化物、金属塩、錯体などの形態でMn成分が圧電材料に含まれていても良い。より好ましい含有の形態は、絶縁性や焼結容易性という観点からBサイトに固溶することである。Bサイトに固溶された場合、AサイトにおけるBaとCaのモル量とBサイトにおけるTi、ZrおよびMnのモル量の比をA/Bとすると、好ましいA/Bの範囲は0.993 A/B 0.998である。A/Bがこれらの範囲にある圧電素子は、圧電素子の長さ方向に伸縮振動が大きく、また、機械的品質係数が高いため、塵埃除去性能に優れ、かつ、耐久性に優れた塵埃除去装置を得ることができる。また、本発明の圧電材料は、前記一般式(1)およびMn以外の成分(副成分)を特性が変動しない範囲で含んでいてもよい。

20

#### 【実施例】

#### 【0144】

以下に実施例を挙げて、上述した本実施形態の圧電素子に用いられる圧電材料を具体的に説明するが、本発明は、以下の実施例により限定されるものではない。

#### 【0145】

##### (製造例1)

平均粒径100nmのチタン酸バリウム(堺化学工業製：BT-01)、平均粒径300nmのチタン酸カルシウム(堺化学工業製：CT-03)、平均粒径300nmのジルコン酸カルシウム(堺化学工業製：CZ-03)をモル比で83.0対10.5対6.5になるように秤量した(表1参照)。

30

#### 【0146】

次に、これらの秤量粉を、ボールミルを用いて24時間の乾式混合によって混合した。得られた混合粉を造粒するために、混合粉に対してMn重量が金属換算で0.18重量部となる酢酸マンガンを(I I)と混合粉に対して3重量部となるPVAバインダーを、それぞれスプレードライヤー装置を用いて、混合粉表面に付着させた。

#### 【0147】

次に、得られた造粒粉を金型に充填し、プレス成型機を用いて200MPaの成形圧をかけて円盤状の成形体を作製した。この成形体は冷間等方加圧成型機を用いて、更に加圧しても構わない。

40

#### 【0148】

得られた成形体を電気炉に入れ、1340の最高温度で5時間保持し、合計24時間かけて大気雰囲気中で焼結した。

#### 【0149】

次に、蛍光X線分析により組成を評価した。その結果、 $(Ba_{0.830}Ca_{0.170})(Ti_{0.935}Zr_{0.065})O_3$ の化学式で表わすことができる組成にMnが0.18重量部含有されていることが分かった。これは秤量した組成と焼結後の組成が一致していることを意味する。また、Ba、Ca、Ti、ZrおよびMn以外の元素は検出限界以下の量であり、1重量部以下であった。

50

## 【0150】

さらに、25 および、-70 でX線回折により、結晶構造を解析した。その結果、ペロブスカイト構造に相当するピークのみが観察された。またX線回折の結果をリートベルト解析した結果、25 においては正方晶、-70 においては斜方晶の結晶相であることがわかった。

## 【0151】

(比較用の製造例1)

平均粒径100nmのチタン酸バリウム(堺化学工業製:BT-01)を造粒するために、混合粉に対してMn重量が金属換算で0.12重量部となる酢酸マンガン(II)と混合粉に対して3重量部となるPVAバインダーを、それぞれスプレードライヤー装置を用いて、混合粉表面に付着させた。

10

## 【0152】

次に、得られた造粒粉を金型に充填し、プレス成型機を用いて200MPaの成形圧をかけて円盤状の成形体を作製した。得られた成形体を電気炉に入れ、1380 の最高温度で5時間保持し、合計24時間かけて大気雰囲気で焼結した。

## 【0153】

次に、蛍光X線分析により組成を評価した。その結果、 $\text{BaTiO}_3$ の化学式で表わすことができる組成にMnが0.12重量部含有されていることが分かった。また、Ba、Ca、Ti、ZrおよびMn以外の元素は検出限界以下の量であり、1重量部以下であった。

20

## 【0154】

さらに、25 および、-70 でX線回折により、結晶構造を解析した。その結果、ペロブスカイト構造に相当するピークのみが観察された。またX線回折の結果をリートベルト解析した結果、25 においては正方晶、-70 においては斜方晶の結晶相であることがわかった。

## 【0155】

(比較用の製造例2)

ジルコン酸チタン酸鉛の焼結体を用意した。さらに、25 および、-70 でX線回折により、結晶構造を解析した。その結果、ペロブスカイト構造に相当するピークのみが観察された。またX線回折の結果をリートベルト解析した結果、25 においては正方晶、-70 においても正方晶の結晶相であることがわかった。

30

## 【0156】

(実施例1および比較例1)

製造例1および比較用の製造例1の圧電材料を用いて実施例1および比較例1の圧電素子を作製した。

## 【0157】

圧電材料を厚さ0.5mmに研磨加工し、2つの面にDCマグネトロンスパッタリングでTiAuの順でそれぞれ30nm、380nm厚さで形成し、第1の電極および第2の電極を備えた圧電素子とした。

## 【0158】

次に、これらの圧電素子を10.0mm×2.5mm×0.5mmに切断加工した後、これらの圧電素子に直流電源を用いて圧電素子に分極処理を行った。温度は100、印加電界は1kV/mm、電圧印加時間は30分とした。ここで、これらの圧電素子の分極軸方向は膜厚方向と平行である。

40

## 【0159】

さらに、実施例1、比較例1の圧電素子に測定温度を変えながら微小交流電界印加して誘電率を測定し、相転移温度Tを評価した。その結果、相転移温度Tは実施例1、比較例1でそれぞれ-32、6であった。

## 【0160】

(比較例2)

50

比較用の製造例 2 の圧電材料を用いて比較例 2 の圧電素子を作製した。

【0161】

圧電材料を厚さ 0.25 mm に研磨加工し、2 つの面に DC マグネトロンスパッタリングで  $Ti$  Au の順でそれぞれ 30 nm、380 nm 厚さで形成し、第 1 の電極および第 2 の電極を備えた圧電素子とした。

【0162】

次に、この圧電素子を 10.0 mm × 2.5 mm × 0.5 mm に切断加工した後、直流電源を用いて圧電素子に分極処理を行った。温度は 200、印加電界は 1.7 kV/mm、電圧印加時間は 30 分とした。ここで、圧電素子の分極軸方向は膜厚方向と平行である。

10

【0163】

さらに、比較例 2 の圧電素子に測定温度を変えながら微小交流電界印加して誘電率を測定し、相転移温度  $T$  を評価した。その結果、少なくとも -60 から 50 の範囲には相転移温度  $T$  は存在しなかった。

【0164】

(実施例 1 および比較例 1 および比較例 2 の圧電素子の評価)

次に、共振 - 反共振法により、実施例 1、比較例 1、比較例 2 の圧電素子の圧電定数  $d_{31}$ 、弾性定数  $Y_{11}$ 、共振周波数を求めた。測定は 30 をスタートとし、昇温、降温、30 まで昇温、という順序で温度を変化させながら測定した。測定は恒温槽内で行い、それぞれの温度で一定時間保持し、温度が安定した後に各温度での圧電定数  $d_{31}$ 、弾性定数  $Y_{11}$ 、共振周波数を評価した。

20

【0165】

ここで、実施例 1 の圧電素子は低温になるにつれ、圧電定数が大きくなり、弾性定数が小さくなり、共振周波数が低くなった。一方、比較例 1 の圧電素子は、5 近辺に特性の変極点が存在し、5 近辺で圧電定数は最も大きくなり、弾性定数は最も小さくなり、共振周波数は最も低くなった。また、比較例 2 の圧電素子は、各物性とも温度に依存せずほぼ一定となった。

【0166】

(製造例 2 から 27)

平均粒径 100 nm のチタン酸バリウム (堺化学工業製: BT-01)、平均粒径 300 nm のチタン酸カルシウム (堺化学工業製: CT-03)、平均粒径 300 nm のジルコン酸カルシウム (堺化学工業製: CZ-03) を表 1 に示すモル比になるように秤量した。

30

【0167】

次に、これらの秤量粉を、ボールミルを用いて 24 時間の乾式混合によって混合した。得られた混合粉を造粒するために、混合粉に対して Mn 重量が金属換算で表 1 の重量部となる酢酸マンガ (II) と混合粉に対して 3 重量部となる PVA バインダーを、それぞれスプレードライヤー装置を用いて、混合粉表面に付着させた。

【0168】

次に、得られた造粒粉を金型に充填し、プレス成型機を用いて 200 MPa の成形圧をかけて円盤状の成形体を作製した。この成形体は冷間等方加圧成型機を用いて、更に加圧しても構わない。

40

【0169】

得られた成形体を電気炉に入れ、1350 から 1480 の最高温度で 5 時間保持し、合計 24 時間かけて大気雰囲気中で焼結した。最高温度は Ca の量が多くなるほど高とした。

【0170】

次に、蛍光 X 線分析により組成を評価した。その結果、 $(Ba_{1-x}Ca_x)(Ti_{1-y}Zr_y)O_3$  の化学式で表わすことができる組成 ( $x, y$  は表 2 に記載) に Mn が表 1 の重量部含有されていることが分かった。また、Ba、Ca、Ti、Zr および Mn 以

50



外の元素は検出限界以下の量であり、1重量部以下であった。

【0171】

さらに、25 および、-70 でX線回折により、結晶構造を解析した。その結果、すべての実施例においてペロブスカイト構造に相当するピークのみが観察された。またX線回折の結果をリートベルト解析した結果、すべての実施例において25 においては正方晶、-70 においては斜方晶の結晶相であることがわかった。

【0172】

(実施例2から27)

製造例2から27の圧電材料を用いて実施例2から27の圧電素子を作製した。

【0173】

圧電材料を厚さ0.5mmに研磨加工し、2つの面にDCマグネトロンスパッタリングでTi Auの順でそれぞれ30nm、380nm厚さで形成し、第1の電極および第2の電極を備えた圧電素子とした。

【0174】

次に、これらの圧電素子を10.0mm×2.5mm×0.5mmに切断加工した後、これらの圧電素子に直流電源を用いて圧電素子に分極処理を行った。温度は100、印加電界は1kV/mm、電圧印加時間は30分とした。ここで、これらの圧電素子に分極軸方向は膜厚方向と平行である。

【0175】

さらに、実施例2から27の圧電素子に測定温度を変えながら微小交流電界印加して誘電率を測定し、相転移温度Tを評価した。その結果、相転移温度Tは表2で示される温度であった。

【0176】

10

20

【表 1】

	BaTiO <sub>3</sub> [mol]	CaTiO <sub>3</sub> [mol]	CaZrO <sub>3</sub> [mol]	Mn重量部 [重量%]
製造例1	83.00	10.50	6.50	0.18
製造例2	84.50	11.40	4.10	0.18
製造例3	87.00	8.90	4.10	0.18
製造例4	85.75	9.75	4.50	0.18
製造例5	87.00	8.00	5.00	0.18
製造例6	85.00	10.00	5.00	0.18
製造例7	86.00	8.00	6.00	0.18
製造例8	86.00	8.00	6.00	0.16
製造例9	86.00	8.00	6.00	0.14
製造例10	81.30	12.70	6.00	0.24
製造例11	81.30	12.70	6.00	0.24
製造例12	81.30	12.70	6.00	0.24
製造例13	83.00	10.10	6.90	0.18
製造例14	83.00	11.00	6.00	0.18
製造例15	84.00	10.10	5.90	0.18
製造例16	87.00	7.00	6.00	0.15
製造例17	84.00	11.00	5.00	0.18
製造例18	83.00	10.10	6.90	0.18
製造例19	83.00	10.50	6.50	0.18
製造例20	83.00	11.00	6.00	0.18
製造例21	84.00	10.10	5.90	0.18
製造例22	84.00	10.50	5.50	0.18
製造例23	84.00	11.00	5.00	0.18
製造例24	83.00	10.10	6.90	0.24
製造例25	83.00	10.10	6.90	0.30
製造例26	84.00	10.10	5.90	0.24
製造例27	84.00	10.10	5.90	0.30
比較用の製造例1	100.00	0.00	0.00	0.12

【 0 1 7 7 】

【表 2】

		x	y	Mn重量部 [重量%]	副成分 [重量%]	分極後 相転移温度 [°C]
実施例1	製造例1	0.1700	0.065	0.18	0.0	-32
実施例2	製造例2	0.1550	0.041	0.18	0.0	-46
実施例3	製造例3	0.1300	0.041	0.18	0.0	-40
実施例4	製造例4	0.1425	0.045	0.18	0.0	-44
実施例5	製造例5	0.1300	0.050	0.18	0.0	-29
実施例6	製造例6	0.1500	0.050	0.18	0.0	-44
実施例7	製造例7	0.1400	0.060	0.18	0.0	-20
実施例8	製造例8	0.1400	0.060	0.16	0.0	-16
実施例9	製造例9	0.1400	0.060	0.14	0.0	-16
実施例10	製造例10	0.1870	0.060	0.24	0.0	-38
実施例11	製造例11	0.1870	0.060	0.24	0.0	-62
実施例12	製造例12	0.1870	0.060	0.24	0.0	-60
実施例13	製造例13	0.1700	0.069	0.18	0.0	-24
実施例14	製造例14	0.1700	0.060	0.18	0.0	-34
実施例15	製造例15	0.1600	0.059	0.18	0.0	-38
実施例16	製造例16	0.1300	0.500	0.15	0.0	-5
実施例17	製造例17	0.1600	0.050	0.18	0.0	-52
実施例18	製造例18	0.1700	0.069	0.18	0.0	-26
実施例19	製造例19	0.1700	0.065	0.18	0.0	-36
実施例20	製造例20	0.1700	0.060	0.18	0.0	-40
実施例21	製造例21	0.1600	0.059	0.18	0.0	-36
実施例22	製造例22	0.1600	0.055	0.18	0.0	-40
実施例23	製造例23	0.1600	0.050	0.18	0.0	-50
実施例24	製造例24	0.1700	0.069	0.24	0.0	-20
実施例25	製造例25	0.1700	0.069	0.30	0.0	-20
実施例26	製造例26	0.1600	0.059	0.24	0.0	-42
実施例27	製造例27	0.1600	0.059	0.30	0.0	-42
比較例1	比較用の製造例1	0.0000	0.000	0.12	0.0	6

10

20

## 【0178】

(その他の実施形態)

実施形態1の振動装置及び駆動方法を、他の光学機器である複写機のスキャナー部に配して塵埃除去に用いてもよいし、粉体であるトナーを移動させる駆動装置に用いても良い。広範囲の領域に位置する塵埃や粉体を効率よく移動させることができ、薄型の塵埃除去装置や駆動装置を実現できる。本発明の塵埃除去装置は、移動させる対象物(被駆動体)としては、塵埃や粉体に限るものではなく、固体や気体や液体も移動させることができる。また本発明の駆動装置は、被駆動体を本発明の振動装置によって駆動するものである。被駆動体の例としては、駆動させたい構造体(例えばレンズを保持するホルダ等の構造体)、シート材等が挙げられる。実施形態1では、考慮すべき振動モードを第1から第4の振動モードとしたが、これに他の振動モードを加えて交番電圧の設定値を算出すると、本発明の効果は更に増す。また、不要な振動モードの中で、最も影響の大きい振動モードは第3の振動モードであり、これと比べると第4の振動モードの影響度合いは相対的に小さい。従って第4の振動モードを交番電圧の設定の算出の際に、必要に応じて計算から省略しても本発明の効果は得られる。また、塵埃の移動に主に寄与する振動モードとして、実施形態1では、面外10次曲げ振動モード(第1の振動モード)と、面外11次曲げ振動モード(第2の振動モード)を用いたが、本発明はこれら振動モードの組合せに限定されるものではない。例えば、面外1次曲げモードと面外2次曲げモードを組合せても良い。また、面外m次曲げモードと面外n次曲げモードとを組合せても良い。この場合には、mとnが異なる自然数であれば良い。いずれの塵埃の移動に主に寄与する振動モードの組合せであっても、その他の振動モードの応答を考慮して、領域並びに交番電圧の設定をして駆動することで、本発明の効果を得ることができる。

30

40

## 【0179】

実施形態1では、領域を10個として、振動応答の対称性を鑑みて、振動応答が同じ領域を選択し、これらの振動応答が同じ領域を合わせた領域であるひとつの領域に同一の交

50

番電圧を設定する。そして交番電圧の異なる5つの領域を設定している。しかし、本発明においては、前記同一の交番電圧を設定する領域の数は5つに限定されるものではない。交番電圧の異なる領域が2つ以上あれば、領域ごとに最適な振動状態を実現して、塵埃を含む被駆動対象物を効率よく所定の方法に移動させる本発明の効果を得ることができる。

#### 【0180】

また、「交番電圧の設定」は、交番電圧の電圧振幅比と、交番電圧の時間位相差とを含む。振動体の第1の領域に対して、第1の電圧振幅比と第1の時間位相差とを有する第1の交番電圧の設定を決める。振動体の第1の領域とは異なる第2の領域に対して、第2の電圧振幅比と第2の時間位相差とを有する第2の交番電圧の設定を決める。この上で、第1の電圧振幅比と第2の電圧振幅比、または、第1の時間位相差と第2の時間位相差、の少なくとも一方が異なっている。第1の交番電圧の設定と第2の交番電圧の設定とを切替えて、前記振動体を駆動することで、領域ごとに最適な振動状態を実現して、塵埃を含む被駆動対象物を効率よく所定の方法に移動させる本発明の効果を得ることができる。このように本発明においては、領域の数も実施形態で例示した数に限定されない。また、実施形態1では、不要な振動モードとして、左右方向（第1の方向A）の変位分布が第1や第2の振動モードと同じ、第3の振動モードと第4の振動モードを考慮した。このため、光学素子1に励起される振動は、第3及び第4の振動モードの振動によって、左右方向（第1の方向）の変位分布が変化しなかった。従って、左右方向（第1の方向）に分割された領域を設けてはいない。しかし、実施形態1とは異なって、不要な振動モードとして、主に塵埃の移動に寄与する第1及び第2の振動モードの左右方向（第1の方向）の変位分布とは異なる振動モードの振動が大きい場合もある。この場合には、必要に応じて前述した不要な振動モードを考慮して、光学素子1を左右方向（第1の方向A）にも仮想的に分割した領域を設けると良い。この駆動方法によれば、不要な振動モードの振動によって、左右方向（第1の方向A）の変位分布が変化した場合でも、領域ごとに最適な振動状態を実現して、塵埃を含む被駆動対象物を効率よく所定の方法に移動させる本発明の効果を得ることができる。

#### 【0181】

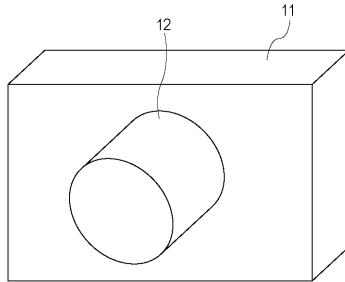
また、実施形態1においては、設定すべき（10、b）-（11、b）を90°としたが、本発明は90°に限定されず、上述した10次振動と11次振動の時間位相差が異なっていればよい。また、（10、b）-（11、b）を-180°より大きく、0°より小さい値とすると、塵埃などを移動させる向きを逆向きにすることが可能である。また、駆動電圧E（1）を右の圧電素子2bに印加し、E（2）を左の圧電素子2aに印加する様に、駆動電圧と印加する圧電素子2の組合せを入れ替えても、塵埃などを移動させる方向を逆向きにすることが可能である。このような逆向きの交番電圧の設定を、駆動手順に加えても良い。

#### 【符号の説明】

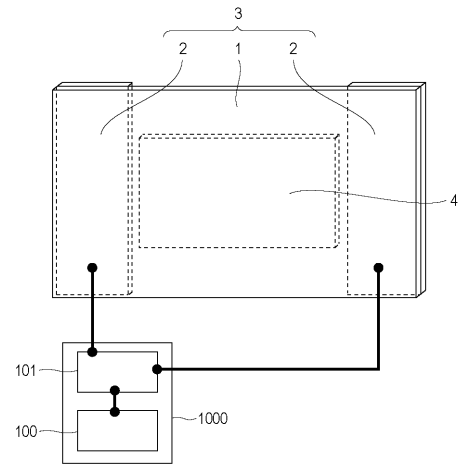
#### 【0182】

- 1 光学素子
- 2、2a、2b、2c、2d 圧電素子
- 3 振動体
- 4 撮像素子
- 5 光学有効範囲（光学有効部）
- 6 振動モードの変位分布
- 7 第1の振動モードの変位分布
- 8 第2の振動モードの変位分布
- 9 分割電極
- 10 導電性塗料
- 100 制御回路
- 101 電源

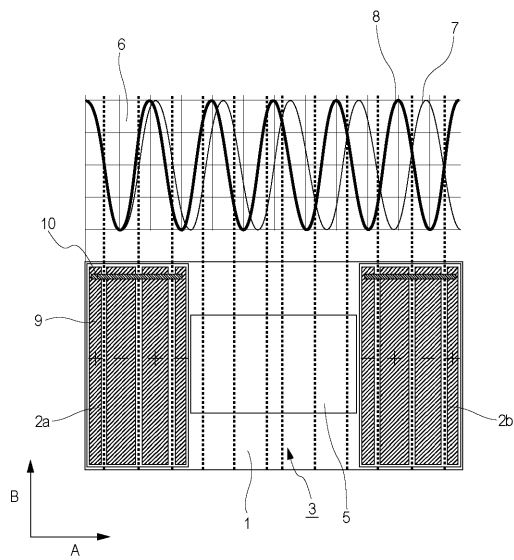
【図 1】



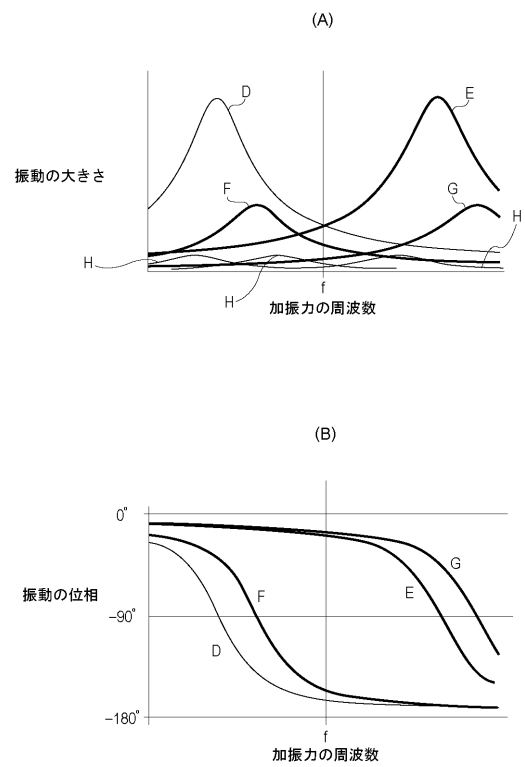
【図 2】



【図 4】



【図 5】



【図 8】

交番電圧の設定	交番電圧の設定の算出に用いた値							
	第 1 の振動モード の振動の応答		第 2 の振動モード の振動の応答		第 3 の振動モード の振動の応答		第 4 の振動モード の振動の応答	
	$\alpha(1)$	$\beta(1)$	$\alpha(2)$	$\beta(2)$	$\alpha(3, b)$	$\beta(3, b)$	$\alpha(4, b)$	$\beta(4, b)$
第 1 の交番電圧の設定	1	-165°	1	-15°	0.4	-167°	0.2	-12°
第 2 の交番電圧の設定	1	-165°	1	-15°	0.2	-167°	0.1	-12°
第 3 の交番電圧の設定	1	-165°	1	-15°	0	-167° または 23°	0	-12° または 168°
第 4 の交番電圧の設定	1	-165°	1	-15°	0.2	23°	0.1	168°
第 5 の交番電圧の設定	1	-165°	1	-15°	0.4	23°	0.2	168°

【図 9】

(A)

交番電圧の設定	$\alpha(10, b)$	$\beta(10, b)$	$\alpha(11, b)$	$\beta(11, b)$
第 1 の交番電圧の設定	1.40	-162.7°	1.20	-14.5°
第 2 の交番電圧の設定	1.20	-163.7°	1.10	-14.7°
第 3 の交番電圧の設定	1.00	-165.0°	1.00	-15.0°
第 4 の交番電圧の設定	0.80	-167.0°	0.90	-15.3°
第 5 の交番電圧の設定	0.61	-170.3°	0.80	-15.8°

(B)

交番電圧の設定	V(差)	$\theta$ (差)	V(和)	$\theta$ (和)
第 1 の交番電圧の設定	71.6	0.0°	83.3	-238.2°
第 2 の交番電圧の設定	83.4	0.0°	90.9	-238.9°
第 3 の交番電圧の設定	100.0	0.0°	100.0	-240.0°
第 4 の交番電圧の設定	124.6	0.0°	111.1	-241.7°
第 5 の交番電圧の設定	164.9	0.0°	124.9	-244.5°

(C)

交番電圧の設定	V(1)	$\theta(1)$	V(2)	$\theta(2)$	$\varepsilon$	$\delta$
第 1 の交番電圧の設定	76.1	68.7°	135.5	148.5°	1.781	79.8°
第 2 の交番電圧の設定	86.0	64.9°	151.9	149.1°	1.766	84.2°
第 3 の交番電圧の設定	100.0	60.0°	173.2	150.0°	1.732	90.0°
第 4 の交番電圧の設定	121.4	53.7°	202.5	151.1°	1.668	97.4°
第 5 の交番電圧の設定	158.4	45.4°	246.0	152.7°	1.553	107.3°

【図 10】

領域境界の箇所及び境界での $\alpha(3, b)$	領域境界での振動状態の算出に用いた値							
	第 1 の振動モード の振動の応答		第 2 の振動モード の振動の応答		第 3 の振動モード の振動の応答		第 4 の振動モード の振動の応答	
	$\alpha(1)$	$\beta(1)$	$\alpha(2)$	$\beta(2)$	$\alpha(3, b)$	$\beta(3, b)$	$\alpha(4, b)$	$\beta(4, b)$
領域 6 と領域 5 の境界 0.5	1	-165°	1	-15°	0.5	-157°	0.25	-12°
領域 5 と領域 4 の境界 0.3	1	-165°	1	-15°	0.3	-157°	0.15	-12°
領域 4 と領域 3 の境界 0.1	1	-165°	1	-15°	0.1	-157°	0.05	-12°
領域 3 と領域 2 の境界 0.1	1	-165°	1	-15°	0.1	23°	0.05	168°
領域 2 と領域 1 の境界 0.3	1	-165°	1	-15°	0.3	23°	0.15	168°
下端 0.5	1	-165°	1	-15°	0.5	23°	0.25	168°

【図 11】

領域境界の箇所 及び境界での $\alpha(3, b)$	$\alpha(10, b)$	$\beta(10, b)$	$\alpha(11, b)$	$\beta(11, b)$
領域 6 と領域 5 の境界 0.5	1.50	-162.3°	1.25	-14.4°
領域 5 と領域 4 の境界 0.3	1.30	-163.2°	1.15	-14.6°
領域 4 と領域 3 の境界 0.1	1.10	-164.3°	1.05	-14.9°
領域 3 と領域 2 の境界 0.1	0.90	-165.9°	0.95	-15.16°
領域 2 と 1 領域の境界 0.3	0.70	-168.4°	0.85	-15.5°
下端 0.5	0.51	-172.9°	0.75	-16.0°

【図 12】

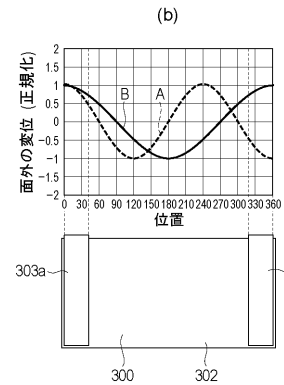
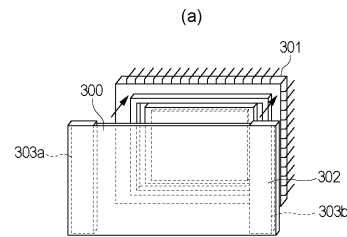
(A)

交番電圧 の設定	対応する 領域	領域境界 での $\alpha(3, b)$	$X(10, b)$	$\phi(10, b)$	$X(11, b)$	$\phi(11, b)$
第1の 交番電圧の 設定	領域5	0.5	107.1	$-162.3^\circ$	104.2	$-252.6^\circ$
	領域6	0.3	92.9	$-163.2^\circ$	95.8	$-252.8^\circ$
第2の 交番電圧の 設定	領域4	0.3	108.3	$-163.2^\circ$	104.5	$-253.6^\circ$
	領域7	0.1	91.7	$-164.3^\circ$	95.5	$-253.8^\circ$
第3の 交番電圧の 設定	領域3	0.1	109.9	$-164.3^\circ$	105.0	$-254.9^\circ$
	領域8	0.1	90.1	$-165.9^\circ$	95.0	$-255.2^\circ$
第4の 交番電圧の 設定	領域2	0.1	112.3	$-165.9^\circ$	105.5	$-256.8^\circ$
	領域9	0.3	87.8	$-168.4^\circ$	94.5	$-257.2^\circ$
第5の 交番電圧の 設定	領域1	0.3	116.1	$-168.4^\circ$	106.2	$-260.1^\circ$
	領域10	0.5	84.0	$-172.9^\circ$	93.8	$-260.5^\circ$

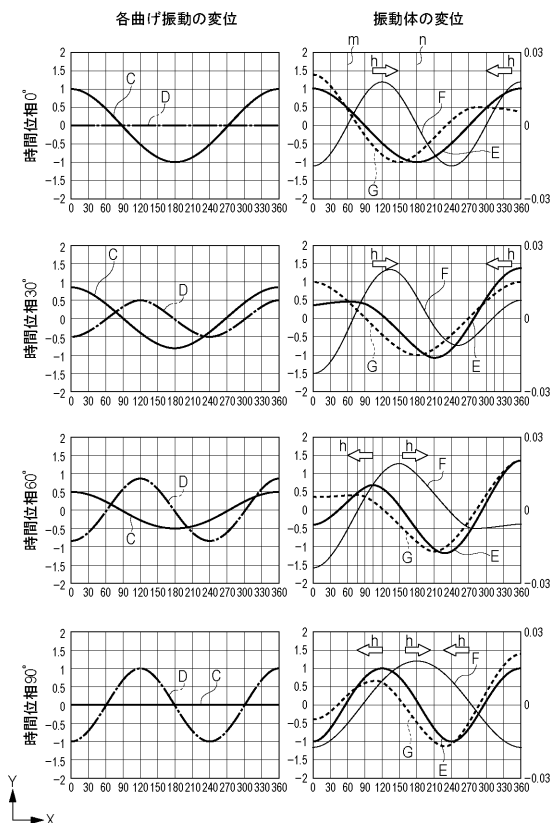
(B)

交番電圧 の設定	対応する 領域	領域境界 での $\alpha(3, b)$	$X(10, b)/X(11, b)$	$\phi(10, b) - \phi(11, b)$
第1の 交番電圧の 設定	領域5	0.5	1.03	$90.3^\circ$
	領域6	0.3	0.97	$89.6^\circ$
第2の 交番電圧の 設定	領域4	0.3	1.04	$90.4^\circ$
	領域7	0.1	0.96	$89.5^\circ$
第3の 交番電圧の 設定	領域3	0.1	1.05	$90.6^\circ$
	領域8	0.1	0.95	$89.3^\circ$
第4の 交番電圧の 設定	領域2	0.1	1.06	$90.9^\circ$
	領域9	0.3	0.93	$88.8^\circ$
第5の 交番電圧の 設定	領域1	0.3	1.09	$91.7^\circ$
	領域10	0.5	0.90	$87.6^\circ$

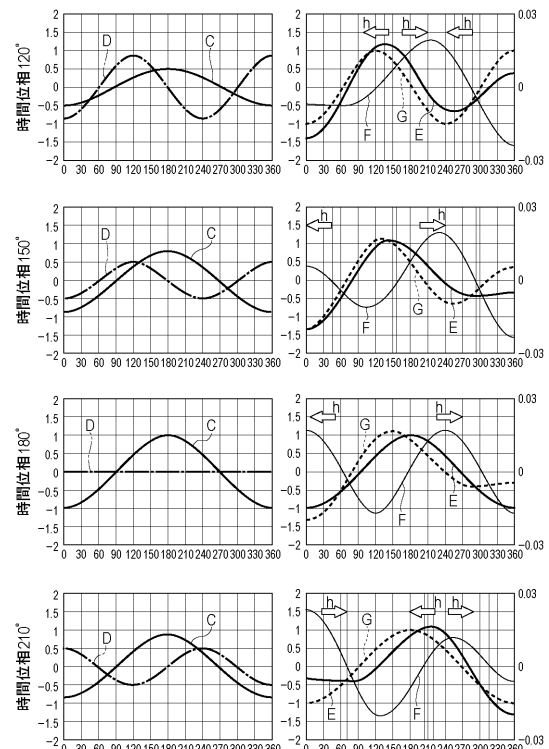
【図 13】



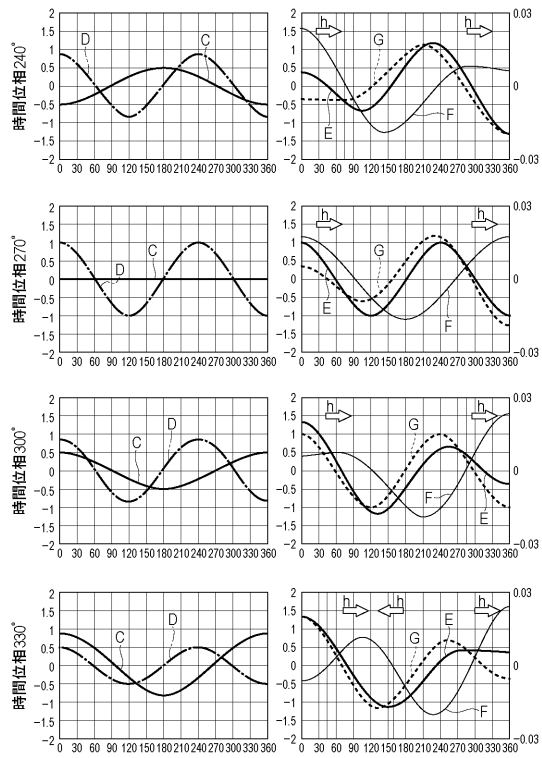
【図 14】



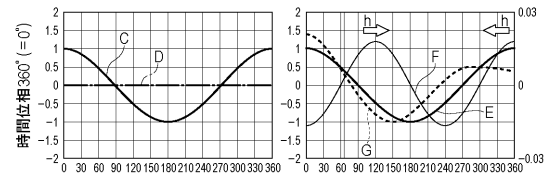
【図 15】



【図 16】



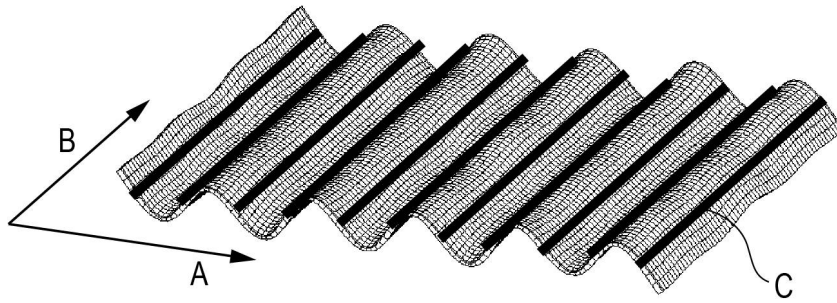
【図 17】



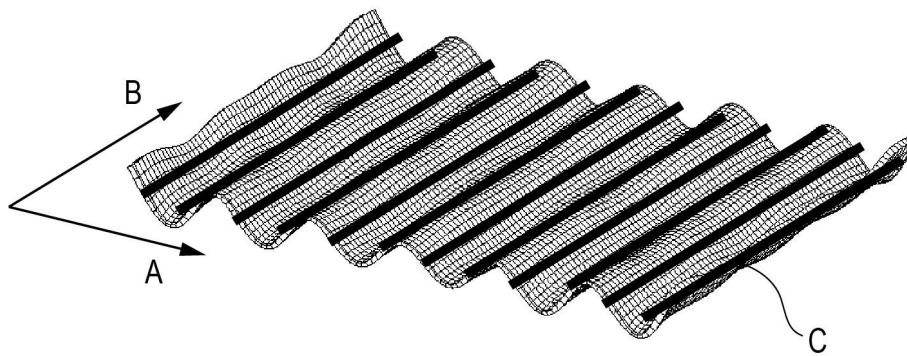


【図 3】

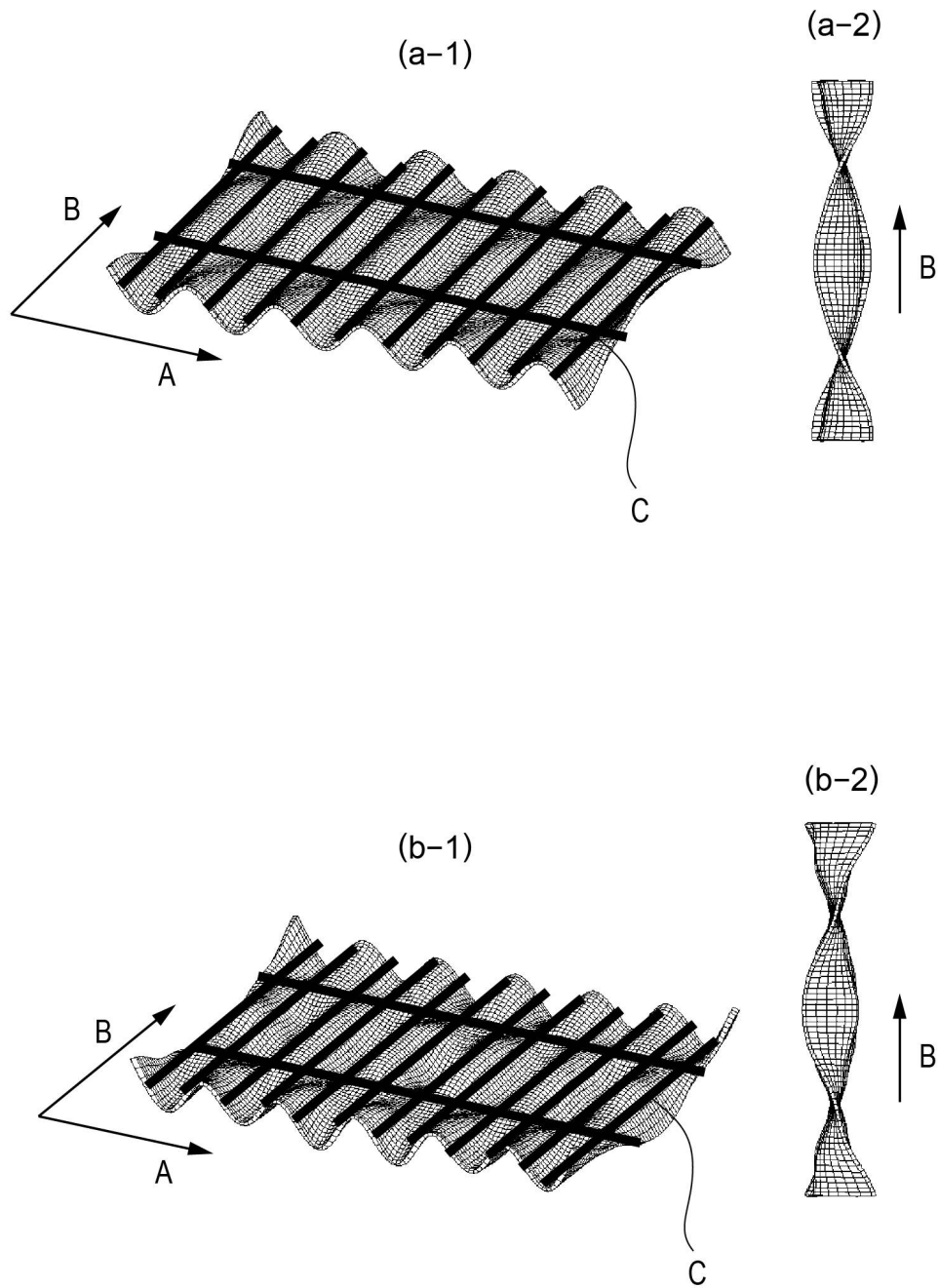
(a)



(b)



【図 6】

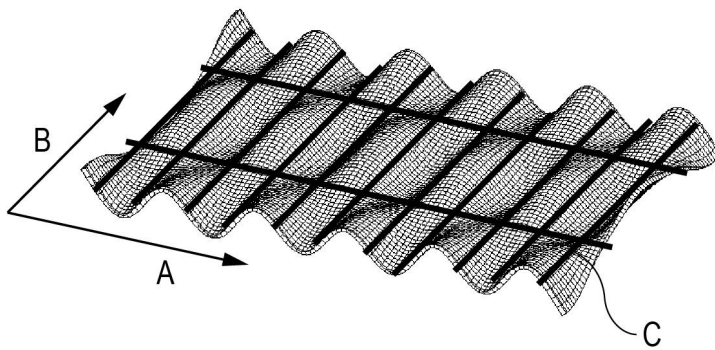


【図 7】

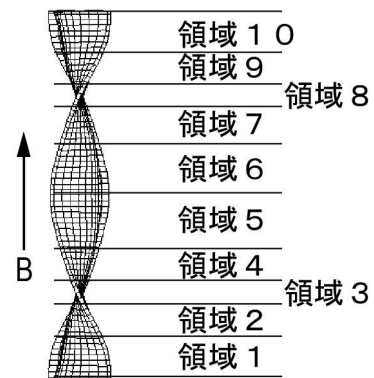
(A)

上下位置	$\alpha(3, b)$ の範囲	$\beta(3, b)$ の値	領域	交番電圧の設定
上端付近	0.3~0.5	23°	領域 1	第 5 の交番電圧 の設定
↑	0.1~0.3	23°	領域 2	第 4 の交番電圧 の設定
↑	0~0.1	23°または-157°	領域 3	第 3 の交番電圧 の設定
↑	0.1~0.3	-157°	領域 4	第 2 の交番電圧 の設定
中央付近	0.3~0.5	-157°	領域 5	第 1 の交番電圧 の設定
	0.3~0.5	-157°	領域 6	第 1 の交番電圧 の設定
↓	0.1~0.3	-157°	領域 7	第 2 の交番電圧 の設定
↓	0~0.1	23°または-157°	領域 8	第 3 の交番電圧 の設定
↓	0.1~0.3	23°	領域 9	第 3 の交番電圧 の設定
下端付近	0.3~0.5	23°	領域 10	第 5 の交番電圧 の設定

(B)



(C)



---

フロントページの続き

- (72)発明者 伊福 俊博  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 清水 康志  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 古田 達雄  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 松田 堅義  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 久保田 純  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 林 潤平  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

審査官 武井 健浩

- (56)参考文献 特開2011-114587(JP,A)  
特開2008-207170(JP,A)  
特開2008-005058(JP,A)  
特開2008-228366(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B08B 7/02  
G03B 17/02  
H04N 5/222 - 5/257