

(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 8 月 9 日(09.08.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/105455 A1

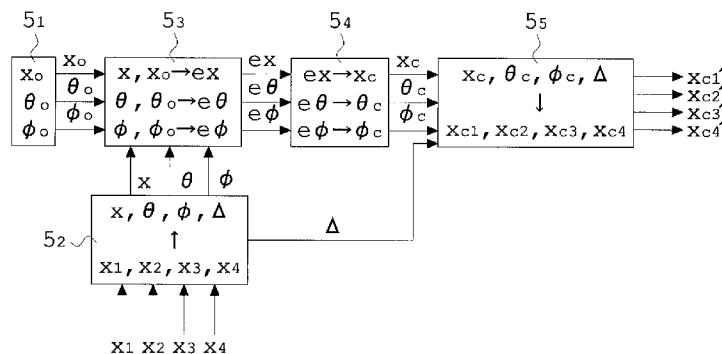
- (51) 国際特許分類:
G02B 26/00 (2006.01) *G01J 3/26* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/051858
- (22) 国際出願日: 2012 年 1 月 27 日(27.01.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-019706 2011 年 2 月 1 日(01.02.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): オリンパス株式会社 (OLYMPUS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷二丁目 4 3 番 2 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 若井 浩志 (WAKAI Hiroshi) [JP/JP]; 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 篠原 泰司 (SHINOHARA, Taiji); 〒1020074 東京都千代田区九段南三丁目 7 番 1 4 号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: VARIABLE SPECTROSCOPIC ELEMENT

(54) 発明の名称: 可変分光素子

[図5]



(57) Abstract: In this variable spectroscopic element, a first sensor (3₁) and a third sensor (3₃), and a second sensor (3₂) and a fourth sensor (3₄) are disposed at symmetrical positions by having, as an axis, a line that connects the gravity centers of the facing surfaces of a pair of optical substrates (2). First to fourth actuators (4₁-4₄) are disposed on respective lines extending to the centers of the first to the fourth sensors from the gravity centers of the facing surfaces of the pair of optical substrates, a distance (x) between the gravity centers of the facing surfaces of the pair of optical substrates is calculated on the basis of signals obtained from the first to the fourth sensors, and on the basis of signals obtained from the first and the third sensors, and signals obtained from the second and the fourth sensors, a first angle (θ) and a second angle (φ) are calculated, respectively, said first angle and second angle being formed by the facing surface of an optical substrate to be moved and a plane perpendicular to the line formed by connecting the gravity centers. On the basis of signals obtained from the first and the second sensors, a difference (Δ) between the distances between the facing surfaces of the pair of optical substrates at respective disposed positions is calculated. On the basis of the distance (x), the angle (θ), and the difference (Δ), the first and the third actuators are driven, and on the basis of the distance (x), the angle (φ), and the difference (Δ), the second and the fourth actuators are driven.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/105455 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

第 1 センサ 3₁と第 3 センサ 3₃、第 2 センサ 3₂と第 4 センサ 3₄が、一対の光学基板 2 の対向面の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置された可変分光素子であって、第 1 ～第 4 アクチュエータ 4₁～4₄の各々が、一対の光学基板の対向面の重心から第 1 ～第 4 センサの各々の中心方向へ伸びる線の線上に配置され、第 1 ～第 4 センサの信号から、一対の光学基板の対向面の重心同士の間隔 x を算出し、第 1 ・第 3 センサの信号、第 2 ・第 4 センサの信号から、夫々、移動させる光学基板の対向面と重心を結んだ線に垂直な面がなす第 1 の角度 θ 、第 2 の角度 φ を算出し、第 1 ・第 2 センサの信号から夫々の配置位置で一対の光学基板の対向面同士の間隔 Δ を算出し、間隔 x 、角度 θ 、差分 Δ に基づいて第 1 ・第 3 アクチュエータを駆動し、間隔 x 、角度 φ 、差分 Δ に基づいて第 2 ・第 4 アクチュエータを駆動する。

明 細 書

発明の名称：可変分光素子

技術分野

[0001] 本発明は、可変分光素子に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、空間を隔てて対向するように配置された一对の光学基板のいずれか一方又は両方を、ピエゾ素子のようなアクチュエータを用いて移動させることにより、それらの光学基板の対向する面同士又はその面上に形成された反射膜同士の面間隔（以下、総称して「光学基板の面間隔」という。）を変化させ、光学特性を変化させることのできる可変分光素子として、エタロン装置と制御部とを備えたものが知られている（例えば、特開2008-129149号公報参照。）

[0003] また、このような可変分光素子においては、光学基板の面間隔を所望の間隔とするために、対向する面上にその面間隔を測定するための静電容量センサを配置し、その静電容量センサにより所定のサンプリング周期で現在の面間隔を測定し、測定した面間隔と所望の面間隔との比較を行い、その比較の結果に基づいてアクチュエータを駆動させて面間隔の調整を行うものが知られている（例えば、特開平6-241899号公報参照。）。

[0004] ところで、特開2008-129149号公報、特開平6-241899号公報に記載されているような可変分光素子は、例えば、分光特性を連続的に変化させた画像の取得を行う分光内視鏡装置等において用いるときのように、連続的且つ高速に光学特性を変化させなければならない場合、画像取得のサンプリング周期の1フレームという極めて短い時間内に、アクチュエータを制御して光学基板の面間隔を変化させなければならない。

[0005] また、特開2008-129149号公報、特開平6-241899号公報に記載されているような可変分光素子の光学特性は、一对の光学基板の対向する面同士又はその面上に形成された反射膜同士の平行度に大きく影響を

受けるため、アクチュエータの制御は正確なものでなければならない。

[0006] しかし、特開2008-129149号公報、特開平6-241899号公報に記載されているような可変分光素子のように、光学基板の面間隔と対向する面の平行度を4つの静電容量センサからの出力量に基づいて制御しようとする場合、アクチュエータ同士の相互の干渉を考慮して4つのアクチュエータを制御する必要がある。そして、そのような演算処理は複雑であるため、制御に時間がかかり、光学特性の変化を高速にすることができないという問題があった。

[0007] この問題に対し、本件出願人は、高速且つ正確に光学特性を変化させることのできる可変分光素子として、特願2011-209574号公報に記載の可変分光素子を着想した。

特願2011-209574号公報に記載の可変分光素子は、4つのアクチュエータの配置位置における一对の光学基板の面間隔から求まる光学基板の重心位置の制御と、一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対向する2組のアクチュエータの配置位置における該一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の差分から求まる光学基板の2方向の回転角度の制御とを切り分けることで、アクチュエータ同士の相互を非干渉化させ、光学特性を高速に変化させることができるようになっている。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] ところで、特願2011-209574号公報に記載の可変分光素子は、光学基板の重心制御において、4つのアクチュエータに同一信号を入力するようになっている。このため、特願2011-209574号公報に記載の可変分光素子においては、4つのアクチュエータの特性が略同一であることが必要とされる。

また、特願2011-209574号公報に記載の可変分光素子は、光学基板の回転角度の制御において、回転角度が0度となるように、一对の光学

基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対向するアクチュエータに極性の異なる信号を入力する。このため、特願2011-209574号公報に記載の可変分光素子によれば、上記対向するアクチュエータの特性に差があったとしてもその差を吸収して角度が0度となるように調整することが可能である。

しかし、特願2011-209574号公報に記載の可変分光素子において、このアクチュエータの特性の差を吸収できるのが光学基板の回転角度の制御のみであって、光学基板の回転角度の制御は光学基板の面間隔の制御には関与していない。

このため、特願2011-209574号公報に記載の可変分光素子では、アクチュエータの特性にバラツキがあると、光学基板の重心位置、回転角度を所望の値に制御しても、一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対向する2組のアクチュエータの配置位置での光学基板の面間隔が異なり、光学基板の面に撓みが発生するおそれがある。光学基板の面に撓みが生ずると、透過する波長の帯域が広がる強度が低下する等、波長の分解度が悪くなる。

[0009] 図1は特願2011-209574号公報に記載の可変分光素子において、光学基板の重心位置と回転角度を所望の値に調整したときのアクチュエータの配置位置での光学基板の状態を模式的に示す説明図である。

図1(a)は光学基板に備わる4つのアクチュエータ $x_1 \sim x_4$ の特性が等しい場合の一例である。

図1(a)の例では、可変分光素子を制御した結果、光学基板の重心位置は $(500 + 500 + 500 + 500) / 4 = 500 \text{ nm}$ となり、光学基板の2方向(直線L13に沿う方向と直線L24に沿う方向)での回転角度は、角度 $\theta_1 = k_1 (x_1 - x_3) = 0$ 度、角度 $\theta_2 = k_2 (x_2 - x_4) = 0$ 度となっている。

このとき、光学基板は、 500 nm の位置で面全体が平坦な状態で水平に配置される。

[0010] これに対し、図1（b）の例は、光学基板に備わる4つのアクチュエータ $x_1' \sim x_4'$ の特性が異なる場合の一例である。

図1（b）の例では、可変分光素子を制御した結果、光学基板の重心位置は $(520 + 480 + 520 + 480) / 4 = 500 \text{ nm}$ となり、光学基板における2方向（直線 $L_{1'3'}$ に沿う方向と直線 $L_{2'4'}$ に沿う方向）の回転角度は、角度 $\theta_{1'} = k_1 (x_1' - x_3') = 0$ 度、角度 $\theta_{2'} = k_2 (x_2' - x_4') = 0$ 度となっている。

しかし、図1（b）の例では、アクチュエータ x_1' 、 x_3' の配置位置における光学基板の面間隔が 520 nm 、アクチュエータ x_2' 、 x_4' の配置位置における光学基板の面間隔が 480 nm となっており、光学基板はアクチュエータ x_2' 、 x_4' の配置位置を結ぶ直線 $L_{2'4'}$ に沿う方向の面を谷として撓んでいる。

[0011] このように、特願2011-209574号公報に記載の可変分光素子においては、図1（b）に示すような、アクチュエータの特性にバラツキがある場合には、重心位置や回転角度を所望の値に制御しても、上述したように、アクチュエータの特性の差を吸収できるのが光学基板の回転角度の制御のみであって、光学基板の回転角度の制御が光学基板の面間隔の制御には関与しないため、アクチュエータの配置位置における光学基板の面間隔が異なることによって、光学基板に撓みを生じさせてしまい、高精度な制御を行うことができないという問題がある。

[0012] 本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、光学基板に備わるアクチュエータの特性のバラツキ如何にかかわることなく、高速且つ正確に光学特性を変化させることのできる可変分光素子を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0013] 上記目的を達成するため、本発明による可変分光素子は、間隔を隔てて対向するように配置された一対の光学基板と、各々が前記一対の光学基板の対向する面の夫々に配置された一対の電極部を有していて各々の配置位置にお

ける前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を検出する第1乃至第4静電容量センサと、前記一对の光学基板の一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第1乃至第4アクチュエータを備えた可変分光素子において、前記第1静電容量センサと前記第3静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置され、前記第2静電容量センサと前記第4静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されるとともに、前記第1乃至第4アクチュエータの各々が、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心から前記第1乃至第4静電容量センサの各々の中心方向へ伸びる線の線上に配置されており、前記第1乃至第4静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、前記第1静電容量センサによる信号と前記第3静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第1の角度を算出し、前記第2静電容量センサによる信号と前記第4静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第2の角度を算出し、前記第1静電容量センサによる信号と前記第2静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板における前記第1アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記一对の光学基板における前記第2アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔との差分を算出し、前記重心同士の間隔及び前記第1の角度及び前記第1アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第2アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔との差分に基づいて前記第1及び第3アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔及び前記第2の角度及び前記第1アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第2アク

チュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔との差分に基づいて前記第2及び第4アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔の算出から前記第2及び第4アクチュエータの駆動に至るまでの処理を、前記第1アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔と前記第2アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔との差分が略ゼロとなるまで繰り返す制御部を備えていることを特徴としている。

[0014] また、本発明の可変分光素子においては、前記第1乃至第4静電容量センサの各々と前記第1乃至第4アクチュエータの各々とが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて重なる位置に配置されており、以下の条件式を満足するのが好ましい。

$$x_1 = x - r \sin \theta$$

$$x_2 = x - r \sin \phi$$

$$x_3 = x + r \sin \theta$$

$$x_4 = x + r \sin \phi$$

但し、 x は前記重心同士の間隔、 $x_1 \sim x_4$ はそれぞれ前記第1乃至第4静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔、 θ は前記第1の角度、 ϕ は前記第2の角度、 r は前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面上における重心から前記第1乃至第4静電容量センサの配置位置までの距離である。

[0015] また、本発明の可変分光素子においては、前記制御部が、前記第1乃至第4静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の平均から前記重心同士の間隔を算出し、前記第1及び第3静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の差分から前記第1の角度を算出し、前記第2及び第4静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の差分から前記第2の角度を算出するとともに、前記第1静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔と前記第2静電容

量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔との差分から前記第1アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第2のアクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔との差分を算出するのが好ましい。

[0016] また、本発明の可変分光素子においては、前記第1乃至第4静電容量センサの各々と前記第1乃至第4アクチュエータの各々とが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて重なる位置に配置されており、以下の条件式を満足するのが好ましい。

$$x = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4$$

$$\theta = R_1 (x_3 - x_1)$$

$$\phi = R_2 (x_4 - x_2)$$

但し、 x は前記重心同士の間隔、 $x_1 \sim x_4$ はそれぞれ前記第1乃至第4静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔、 θ は前記第1の角度、 ϕ は前記第2の角度、 R_1 及び R_2 は所定の係数である。

[0017] また、本発明による可変分光素子は、間隔を隔てて対向するように配置された一对の光学基板と、各々が前記一对の光学基板の対向する面の夫々に配置された一对の電極部を有して各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を検出する第1乃至第4静電容量センサと、前記一对の光学基板の一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第1乃至第4アクチュエータを備えた可変分光素子において、前記第1静電容量センサと前記第3静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置され、前記第2静電容量センサと前記第4静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されるとともに、前記第1乃至第4静電容量センサと前記第1乃至第4アクチュエータとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて等間

隔となる位置に交互に環状に配置されており、前記第 1 乃至第 4 静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、前記第 1 乃至第 4 の静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板における前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔を算出し、前記第 1 及び第 3 アクチュエータの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第 1 の角度を算出し、前記第 2 及び第 4 アクチュエータの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第 2 の角度を算出し、前記重心同士の間隔及び前記第 1 の角度及び前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔と前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の差分に基づいて前記第 1 及び第 3 アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔及び前記第 2 の角度及び前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔と前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の差分に基づいて前記第 2 及び第 4 アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔の算出から前記第 2 及び第 4 アクチュエータの駆動に至るまでの処理を、前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔と前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の差分が略ゼロとなるまで繰り返す制御部を備えていることを特徴としている。

[0018] また、本発明による可変分光素子は、間隔を隔てて対向するように配置された一对の光学基板と、各々が前記一对の光学基板の対向する面の夫々に配置された一对の電極部を有して各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔を検出する第 1 乃至第 4 静電容量センサと、

前記一对の光学基板の一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第1乃至第4アクチュエータを備えた可変分光素子において、前記第1静電容量センサと前記第3静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置され、前記第2静電容量センサと前記第4静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されるとともに、前記第1乃至第4アクチュエータの各々が、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心から前記第1乃至第4静電容量センサの各々の中心方向へ伸びる線の線上に配置されており、前記第1乃至第4静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、前記第1静電容量センサによる信号と前記第3静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第1の角度を算出し、前記第2静電容量センサによる信号と前記第4静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第2の角度を算出し、前記第1静電容量センサによる信号と前記第3静電容量センサによる信号とから前記一对の光学基板における前記第1アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記一对の光学基板における前記第3アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔とを平均した第1の方向での面間隔の平均を算出し、前記第2静電容量センサによる信号と前記第4静電容量センサによる信号とから前記一对の光学基板における前記第2アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記一对の光学基板における前記第4アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔とを平均した第2の方向での面間隔の平均を算出するとともに、前記第1の方向での面間隔の平均と前記第2の方向での面間隔の平均との差分を算出し、前記重心同士の間隔及び

前記第 1 の角度及び前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分に基づいて前記第 1 及び第 3 アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔及び前記第 2 の角度及び前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分に基づいて前記第 2 及び第 4 アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔の算出から前記第 2 及び第 4 アクチュエータの駆動に至るまでの処理を、前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分が略ゼロとなるまで繰り返す制御部を備えていることを特徴としている。

[0019] また、本発明の可変分光素子においては、前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々と前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの各々とが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて重なる位置に配置されており、以下の条件式を満足するのが好ましい。

$$x_1 = x - r \sin \theta$$

$$x_2 = x - r \sin \phi$$

$$x_3 = x + r \sin \theta$$

$$x_4 = x + r \sin \phi$$

但し、 x は前記重心同士の間隔、 $x_1 \sim x_4$ はそれぞれ前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔、 θ は前記第 1 の角度、 ϕ は前記第 2 の角度、 r は前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面上における重心から前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの配置位置までの距離である。

[0020] また、本発明の可変分光素子においては、前記制御部が、前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の平均から前記重心同士の間隔を算出し、前記第 1 及び第 3 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の差分から前記第 1 の角度を算出し、前記第 2 及び第 4 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の面間隔の差分から前記第 2 の角度を算出するとともに、前記第 1 静電容量センサの配置位

置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第3静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の平均と前記第2静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第4静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の平均との差分から前記第1の方向での面間隔の平均と前記第2の方向での面間隔の平均との差分を算出するのが好ましい。

[0021] また、本発明の可変分光素子においては、前記第1乃至第4静電容量センサの各々と前記第1乃至第4アクチュエータの各々とが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて重なる位置に配置されており、以下の条件式を満足するのが好ましい。

$$x = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4$$

$$\theta = R_1 (x_3 - x_1)$$

$$\phi = R_2 (x_4 - x_2)$$

但し、 x は前記重心同士の間隔、 $x_1 \sim x_4$ はそれぞれ前記第1乃至第4静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔、 θ は前記第1の角度、 ϕ は前記第2の角度、 R_1 及び R_2 は所定の係数である。

[0022] また、本発明による可変分光素子は、間隔を隔てて対向するように配置された一对の光学基板と、各々が前記一对の光学基板の対向する面の夫々に配置された一对の電極部を有して各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を検出する第1乃至第4静電容量センサと、前記一对の光学基板の一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第1乃至第4アクチュエータを備えた可変分光素子において、前記第1静電容量センサと前記第3静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置され、前記第2静電容量センサと前記第4静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ

線を軸として対称となる位置に配置されるとともに、前記第 1 乃至第 4 静電容量センサと前記第 1 乃至第 4 アクチュエータとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて等間隔となる位置に交互に環状に配置されており、前記第 1 乃至第 4 静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、前記第 1 乃至第 4 の静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板における前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を算出するとともに、前記一对の光学基板における前記第 1 及び第 3 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を平均した第 1 の方向の間隔の平均と前記一对の光学基板における前記第 2 及び第 4 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を平均した第 2 の方向の間隔の平均を算出し、前記第 1 及び第 3 アクチュエータの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第 1 の角度を算出し、前記第 2 及び第 4 アクチュエータの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第 2 の角度を算出し、前記重心同士の間隔及び前記第 1 の角度及び前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分に基づいて前記第 1 及び第 3 アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔及び前記第 2 の角度及び前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分に基づいて前記第 2 及び第 4 アクチュエータを駆動し、前記重心同士の間隔の算出から前記第 2 及び第 4 アクチュエータの駆動に至るまでの処理を、前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分が略ゼロとなるまで繰り返す制御部を備えていることを特徴としている。

[0023] また、上記いずれかの本発明の可変光学素子においては、前記制御部の作動に際し、前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの各々に対し、該各々のアクチュエータの特性差をキャンセルするためのオフセット電圧を印加する特性差補正電圧印加部を有するのが好ましい。

発明の効果

[0024] 本発明によれば、光学基板に備わるアクチュエータの特性のバラツキ如何にかかわることなく、高速且つ正確に光学特性を変化させることのできる可変分光素子が得られる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]特願 2 0 1 1 - 2 0 9 5 7 4 号公報に記載の可変分光素子において、光学基板の重心位置と回転角度を所望の値に調整したときのアクチュエータの配置位置での光学基板の状態を模式的に示す説明図で、（a）は光学基板に備わる各アクチュエータの光学特性が等しい場合における光学基板の状態を示す図、（b）は光学基板に備わる各アクチュエータの光学特性にバラツキがある場合における光学基板の状態を示す図である。

[図2]実施例 1 に係る可変分光素子におけるエタロン装置を示す断面図である。

[図3]図 2 のエタロン装置の平面図である。

[図4]図 2 のエタロン装置に備わる一对の光学基板及び 4 つのピエゾ素子の作動を示す模式図である。

[図5]実施例 1 に係る可変分光素子における制御部の行う演算を示すブロック図である。

[図6]実施例 1 に係る可変分光素子における全体の制御構成を模式的に示すブロック図である。

[図7]図 2 のエタロン装置の応答特性を示すグラフであり、（a）は従来の可変分光素子により面間隔が制御された場合のグラフ、（b）は本実施例の可変分光素子により面間隔が制御された場合のグラフである。

[図8]光学基板にたわみのある可変光学素子の分光感度と光学基板にたわみの

ない可変光学素子の分光感度を示すグラフである。

[図9]実施例2に係る可変分光素子における制御部の行う演算を示すブロック図である。

[図10]実施例2に係る可変分光素子における全体の制御構成を模式的に示すブロック図である。

[図11]実施例3に係る可変分光素子における全体の制御構成を模式的に示すブロック図である。

[図12]実施例4に係る可変分光素子における全体の制御構成を模式的に示すブロック図である。

[図13]図2のエタロン装置の第1の変形例を示す平面図である。

[図14]図2のエタロン装置の第2の変形例を示す平面図である。

[図15]図2のエタロン装置の第3の変形例を示す平面図である。

[図16]図2のエタロン装置の第4の変形例を示す平面図である。

[図17]実施例5に係る可変分光素子におけるエタロン装置を示す断面図である。

[図18]図17のエタロン装置の平面図である。

発明を実施するための形態

[0026] 以下、本発明の実施例について、図面を用いて詳細に説明する。

実施例 1

[0027] 図2は本実施例に係る可変分光素子におけるエタロン装置を示す断面図である。図3は図2のエタロン装置の平面図である。図4は図2のエタロン装置の一对の光学基板及び4つのピエゾ素子の作動を示す模式図である。図5は実施例1に可変分光素子における制御部の行う演算を示すブロック図である。図6は実施例1に係る可変分光素子における全体の制御構成を模式的に示すブロック図である。図7は図2のエタロン装置の応答特性を示すグラフであり、(a)は従来の可変分光素子により面間隔が制御された場合のグラフ、(b)は本実施例の可変分光素子により面間隔が制御された場合のグラフである。

[0028] 本実施例に係る可変分光素子は、図2及び図3に示すエタロン装置と、不図示の制御部とによって構成されている。

[0029] まず、図2及び図3を用いて、この可変分光素子におけるエタロン装置の構成について説明する。

[0030] このエタロン装置は、図2及び図3に示すように、外枠1の内部に、一对の光学基板2と、一对の光学基板2の対向する面同士の間隔の測定手段である静電容量センサと、一对の光学基板2の一方の基板を移動させるためのアクチュエータであり、不図示の制御部により駆動を制御されるピエゾ素子を備えている。

[0031] 外枠1は、筒状部材1₁の端面の一方に環状部材1₂を、他方に環状部材1₃を取り付けて構成されている。

[0032] また、環状部材1₂、1₃には、その略中央部に、円形の開口部1_{2a}、1_{3a}が形成されているが、このエタロン装置では、その開口部1_{2a}、1_{3a}を光が通過する。

[0033] 一对の光学基板2は、対向する面が空間を隔てて互いに平行になるように配置されている固定基板2₁と可動基板2₂とからなっている。それらのうち、固定基板2₁は、外枠1の内部において開口部1_{2a}、1_{3a}を通過する光の軸を横切るようにして外枠1の環状部材1₂に固定された円板状の光学部材である。一方、可動基板2₂は、開口部1_{2a}、1_{3a}を通過する光を横切るようにしてピエゾ素子に保持された円板状の光学部材である。

[0034] このような一对の光学基板2は、可動基板2₂が、開口部1_{2a}、1_{3a}を通過する光の軸に沿う方向、すなわち、一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向に、ピエゾ素子によって移動させられることにより、対向する面の間隔が変化し得るようになっている。

[0035] 第1静電容量センサ3₁、第2静電容量センサ3₂、第3静電容量センサ3₃、第4静電容量センサ3₄は、それぞれ、一对の電極3₁₁と3₁₂、3₂₁と3₂₂、3₃₁と3₃₂、3₄₁と3₄₂からなっている。そして、それら的一对の電極は、一对の光学基板2の対向する面上であって外枠1の開口部1_{2a}、1_{3a}を通過する光を

遮らない位置に、互いに対向するようにして配置されている。

[0036] なお、これらの静電容量センサは、電極間の静電容量が面間隔に反比例して変化する特性を有している。そして、このエタロン装置では、これらの静電容量センサにより取得した値を光学基板 2 の面間隔値に変換し不図示の制御部へ出力している。

[0037] 第 1 ピエゾ素子 4_1 、第 2 ピエゾ素子 4_2 、第 3 ピエゾ素子 4_3 、第 4 ピエゾ素子 4_4 は、それぞれ、外枠 1 の内部において開口 $1_2 a$ 、 $1_3 a$ を通過する光を遮らないようにして外枠 1 の環状部材 1_3 に固定されている。

[0038] そして、第 1 ピエゾ素子 4_1 は第 1 静電容量センサ 3_1 と、第 2 ピエゾ素子 4_2 は第 2 静電容量センサ 3_2 と、第 3 ピエゾ素子 4_3 は第 3 静電容量センサ 3_3 と、第 4 ピエゾ素子 4_4 は第 4 静電容量センサ 3_4 と、一对の光学基板 2 の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、重なる位置に配置されている。

[0039] また、第 1 静電容量センサ 3_1 及び第 1 ピエゾ素子 4_1 と、第 3 静電容量センサ 3_3 及び第 3 ピエゾ素子 4_3 とは、一对の光学基板 2 の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、その重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されている。

[0040] 一方、第 2 静電容量センサ 3_2 及び第 2 ピエゾ素子 4_2 と、第 4 静電容量センサ 3_4 及び第 4 ピエゾ素子 4_4 とは、一对の光学基板 2 の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、その重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されている。

[0041] つまり、第 1 静電容量センサ 3_1 及び第 1 ピエゾ素子 4_1 と、第 2 静電容量センサ 3_2 及び第 2 ピエゾ素子 4_2 と、第 3 静電容量センサ 3_3 及び第 3 ピエゾ素子 4_3 と、第 4 静電容量センサ 3_4 及び第 4 ピエゾ素子 4_4 とは、一对の光学基板 2 の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、等間隔に配置されている。

[0042] 次に、図 4 を用いて、本実施例に係る可変分光素子のエタロン装置における可動基板 2_2 の動作及びその制御について説明する。

[0043] 図4に示すように、固定基板 2_1 に対して可動基板 2_2 を移動させて一对の光学基板2の面間隔を x_0 にしようとする場合、従来のエタロン装置においては、一对の光学基板2の面間隔が目標値 x_0 となるように、第1静電容量センサ 3_1 の出力値に基づいて第1静電容量センサ 3_1 の配置位置における面間隔が目標値 x_0 となるように第1ピエゾ素子 4_1 を駆動させ、同様に、第2静電容量センサ 3_2 の出力値に基づいて第2ピエゾ素子 4_2 を、第3静電容量センサ 3_3 の出力値に基づいて第3ピエゾ素子 4_3 を、第4静電容量センサ 3_4 の出力値に基づいて第4ピエゾ素子 4_4 を駆動させていた。

[0044] しかし、そのような制御では、例えば、第1ピエゾ素子 4_1 を正確に駆動させて第1静電容量センサ 3_1 の配置位置における一对の光学基板2の面間隔を目標値 x_0 にしたとしても、その後、第1ピエゾ素子 4_1 に隣接するように配置されている第2ピエゾ素子 4_2 や第4ピエゾ素子 4_4 が駆動する際に生ずる干渉によって、目標値 x_0 に対して面間隔が変化してしまうことがあった。

[0045] そこで、その解消方法としては、PID制御 (Proportional Integral Derivative Control) などのフィードバック制御を採用する方法があるが、その場合、光学基板の面間隔が目標値 x_0 になるまでには長い時間が必要である。

[0046] また、他の解消方法としては、各ピエゾ素子に対し、他のピエゾ素子等による干渉を事前に計算した値を指令値として与える方法があるが、その指令値の算出は非常に複雑になるため、同様に、一对の光学基板2の面間隔が目標値 x_0 になるまでには長い時間が必要である。

[0047] そこで、本実施例に係る可変分光素子では、第1～第4静電容量センサ 3_1 , 3_2 , 3_3 , 3_4 による4つの出力値を、3つのパラメータに変換して演算を行い、第1～第4ピエゾ素子 4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4 の駆動を制御している。

[0048] ここで、図4～図7を用いて、本実施例の可変分光素子の制御部の行う演算について詳細に説明する。

[0049] 本実施例の可変分光素子において、図4に示すように、固定基板 2_1 に対して可動基板 2_2 を移動させて一对の光学基板2の面間隔を x_0 にしようとする場

合、まず、図5及び図5に示すように、制御部に目標入力部5₁を介して、固定基板2₁の対向する面の重心G₁と可動基板2₂の対向する面の重心G₂との間隔の目標値x₀、それらの重心同士を結んだ線に垂直な面と可動基板2₂の対向する面とがなす第1の角度の目標値θ₀及び第2の角度の目標値φ₀を入力する。

[0050] 次に、センサ出力変換部5₂が、第1～第4静電容量センサ3₁、3₂、3₃、3₄により測定された各静電容量センサの配置位置における一对の光学基板2の面間隔x₁、x₂、x₃、x₄を取得し、光学基板の面間隔x₁と面間隔x₂との差分値Δ(=|x₂−x₁|)を算出するとともに、それらの面間隔x₁、x₂、x₃、x₄を、重心G₁と重心G₂との間隔の現在値x、第1の角度の現在値θ及び第2の角度の現在値φに変換する。

なお、本実施例では、第1～第4ピエゾ素子4₁～4₄のそれぞれが、第1～第4静電容量センサ3₁～3₄のそれぞれと、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、重なる位置に配置されている。このため、第1～第4ピエゾ素子4₁～4₄の配置位置における一对の光学基板2の対向する面同士の面間隔x₄₁、x₄₂、x₄₃、x₄₄は、第1～第4静電容量センサ3₁～3₄の配置位置における一对の光学基板2の対向する面同士の面間隔x₁、x₂、x₃、x₄に一致する。

[0051] 具体的には、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心同士の間隔xは、以下の式により求められる。

$$x = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4$$

[0052] また、一对の光学基板2の対向する面の重心を結んだ線に垂直な面と可動基板2₂の固定基板2₁と対向する面とがなす第1の角度θ及び第2の角度φについては、既知の値である可動基板2₂の対向する面の重心G₂から第1～第4静電容量センサ3₁、3₂、3₃、3₄の電極3₁₂、3₂₂、3₃₂、3₄₂の中心までの固定基板2₂の対向する面上における距離r₃₁、r₃₂、r₃₃、r₃₄を用いて、以下の式が成り立つ。

$$\sin \theta = (x_3 - x_1) / (r_{31} + r_{33})$$

$$\sin \phi = (x_4 - x_2) / (r_{32} + r_{34})$$

[0053] なお、本実施例においては、

$$r_{31} = r_{32} = r_{33} = r_{34} = r$$

であり、第1の角度 θ 及び第2の角度 ϕ はいずれも十分に小さいため、第1の角度 θ 及び第2の角度 ϕ は以下の式により求められる。

$$\theta = (x_3 - x_1) / 2r$$

$$\phi = (x_4 - x_2) / 2r$$

[0054] 次に、差分値算出部5₃において、目標値入力部5₁を介して入力された目標値 x_0 、 θ_0 、 ϕ_0 と、センサ出力変換部5₂で変換された x 、 θ 、 ϕ との、それぞれの差分値 e_x 、 e_θ 、 e_ϕ を算出する。

[0055] 次に、指令値算出部5₄において、差分値算出部5₃で算出された差分値 e_x 、 e_θ 、 e_ϕ に基づいてPID制御を行い、指令値 x_c 、 θ_c 、 ϕ_c を求める。

[0056] 次に、指令値変換部5₅において、指令値算出部5₄で求めた指令値 x_c 、 θ_c 、 ϕ_c を第1～第4ピエゾ素子4₁、4₂、4₃、4₄のそれぞれに対する指令値 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} に変換する。指令値変換部5₅は、次いで、センサ出力変換部5₂で算出した第1静電容量センサ3₁の配置位置における光学基板の面間隔 x_1 と第2静電容量センサ3₂の配置位置における光学基板の面間隔 x_2 との差分値 $\Delta (= |x_2 - x_1|)$ を用いて、指令値 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} を指令値 x_{c1}' 、 x_{c2}' 、 x_{c3}' 、 x_{c4}' へと補正する。補正した指令値 x_{c1}' 、 x_{c2}' 、 x_{c3}' 、 x_{c4}' はそれぞれ対応する第1～第4ピエゾ素子4₁、4₂、4₃、4₄を駆動する図示しないピエゾ素子ドライバに入力され、このピエゾ素子入力ドライバにより第1～第4ピエゾ素子4₁、4₂、4₃、4₄のそれぞれに駆動電圧が印加される。

[0057] なお、第1～第4ピエゾ素子4₁、4₂、4₃、4₄のそれぞれに対する指令値 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} については、既知の値である第1～第4ピエゾ素子4₁、4₂、4₃、4₄の中心までの固定基板2₂の対向する面上における距離 r_{41} 、 r_{42} 、 r_{43} 、 r_{44} を用いて、以下の式が成り立つ。

$$x_{c1} = x_c - r_{41} \sin \theta_c$$

$$x_{c2} = x_c - r_{42} \sin \theta_c$$

$$x_{c3} = x_c + r_{43} \sin \theta_c$$

$$x_{c4} = x_c + r_{44} \sin \theta_c$$

[0058] また、本実施例においては、

$$r_{41} = r_{42} = r_{43} = r_{44} = r$$

であり、第1の角度についての指令値 θ_c 及び第2の角度についての指令値 ϕ_c はいずれも十分に小さいため、第1～第4ピエゾ素子 4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4 のそれぞれに対する指令値 x_{c1} , x_{c2} , x_{c3} , x_{c4} は、以下の式により求められる。

$$x_{c1} = x - r \theta_c$$

$$x_{c2} = x - r \phi_c$$

$$x_{c3} = x + r \theta_c$$

$$x_{c4} = x + r \phi_c$$

[0059] このとき、本実施例の可変光学素子では、指令値変換部5₅は、光学基板の撓みを補正する制御を行う。即ち、指令値変換部5₅において、センサ出力変換部5₂で算出した第1静電容量センサ3₁の配置位置における光学基板の面間隔 x_1 と第2静電容量センサ3₂の配置位置における光学基板の面間隔 x_2 との差分値 Δ ($= |x_2 - x_1|$)を用いて、第1～第4ピエゾ素子 4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4 のそれぞれに対する指令値 x_{c1} , x_{c2} , x_{c3} , x_{c4} は、次の式 x_{c1}' , x_{c2}' , x_{c3}' , x_{c4}' のように補正される。

$$x_{c1}' = x - r \theta_c - (\Delta / 2)$$

$$x_{c2}' = x - r \phi_c + (\Delta / 2)$$

$$x_{c3}' = x + r \theta_c - (\Delta / 2)$$

$$x_{c4}' = x + r \phi_c + (\Delta / 2)$$

[0060] その後、第1～第4ピエゾ素子 4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4 は、それぞれに対する上記式のように補正された指令値 x_{c1}' , x_{c2}' , x_{c3}' , x_{c4}' に基づいてピエゾ素子ドライバにより印加される電圧により駆動され、可動基板2₂を移動させて

、一对の光学基板 2 の面間隔 x を変化させる。

[0061] そして、本実施例の可変分光素子は、センサ出力変換部 5₂、差分値算出部 5₃、指令値算出部 5₄、指令値変換部 5₅におけるこれらの制御処理及びその制御処理に基づく第 1 ～第 4 ピエゾ素子 4₁, 4₂, 4₃, 4₄の駆動を、差分値 Δ ($= |x_2 - x_1|$) が略ゼロになるまで繰り返す。

[0062] 図 7 は可変分光素子においてフィードバック制御を行った際のエタロン装置の応答特性に関する実験結果を示すグラフである。なお、縦軸是一对の光学基板の面間隔 (nm)、横軸は時間 (sec) であり、(a) は従来の可変分光素子による実験結果、(b) は本実施例の可変分光素子による実験結果である。なお、この実験においては、破線で示すように、0.02 秒ごとに目標値を切り替えて信号を入力している。

使用したエタロン光学基板の直径は約 10 mm であり、面間隔を 0.02 秒ごとに 800 nm と 1000 nm を移動させるように指令を出して制御している。

[0063] この図 7 からわかるように、本実施例の可変分光素子は、従来の可変分光素子に比べ、一对の光学基板の面間隔が収束するまでの時間が非常に短い。そのため、本発明の可変分光素子は、連続的且つ高速に光学特性を変化させる場合であっても、正確に光学特性を変化させることができる。

[0064] 加えて、本実施例では、指令値変換部 5₅が、センサ出力変換部 5₂で算出した第 1 静電容量センサ 3₁の配置位置における光学基板の面間隔 x_1 と第 2 静電容量センサ 3₂の配置位置における光学基板の面間隔 x_2 との差分値 Δ を用いて、光学基板の撓みを補正する制御を行うようにしたので、各軸のピエゾ特性にバラツキがあってもそのバラツキを加味して光学基板の重心位置、回転角度を調整できる。

[0065] ここで、本実施例の撓み制御手段を備えた可変分光素子と、特願 2011 - 209574 号公報に記載のような撓み制御手段を備えていない可変分光素子とにおける光学基板の撓みの差異に基づく分光感度の違いについて、試験データを用いて説明する。

図8は光学基板にたわみのある可変光学素子の分光感度と光学基板にたわみのない可変光学素子の分光感度を示すグラフである。

図8のデータに用いた撓みのある可変光学素子は、光学基板の撓みが50nm程度生じるものを用いた。また、光学基板にたわみのある可変光学素子と光学基板にたわみのない可変光学素子は、600nmの波長で感度が最大となるように設定されている。

光学基板のたわみなし的时候は、約5nmのたわみ量、光学基板のたわみあり的时候は、50nmのたわみ量が生じており、光学基板間の面間隔を600nmに保つように制御している。この状態のときの分光感度特性を、光スペクトルアナライザを用いて測定した。

図8に示すように、光学基板に撓みのない可変光学素子はピーク波長がシャープになるが、光学基板に撓みのある可変光学素子は、分光感度が悪くなり、ピーク波長が横にひろがってしまい、分解能も悪化する。

しかるに、特願2011-209574号公報に記載のような撓み制御手段を備えていない可変分光素子は、光学基板に備わる夫々のアクチュエータ特性のバラツキ等がある場合に光学基板の撓みをなくすることができず、正確に光学特性を変化させることができない。

これに対し、本実施例の可変分光素子は撓み制御手段を備えているので、光学基板に備わる2方向のアクチュエータ特性のバラツキ等があっても光学基板に撓みが生じないようにすることができる。このため、本実施例の可変光学素子によれば、エタロンに備わる2方向のアクチュエータの特性にバラツキ如何にかかわらず、高速且つ正確に光学特性を変化させることができる。

[0066] 上述のように、実施例1では、第1ピエゾ素子4₁の配置位置での一对の光学基板2の対向する面同士の間隔と、第2ピエゾ素子4₂の配置位置での一对の光学基板2の対向する面同士の間隔との差分値 Δ ($= |x_2 - x_1|$)を用いて、光学基板の撓みを補正する制御を行っている。これは、対向するアクチュエータ同士の特性の差が小さく、光学基板の回転角度を高精度に制御

をすることができる、即ち、 $x_1 \div x_3$ 、 $x_2 \div x_4$ と看做せる場合に適用できる場合の構成を示したものである。対向するアクチュエータ同士の特性の差が大きく、光学基板の回転角度を高精度に制御をすることが難しい場合にも適用可能とするには、次に説明する実施例2の可変光学素子のように構成するのが望ましい。

実施例 2

[0067] 図9は実施例2に係る可変分光素子における制御部の行う演算を示すブロック図、図10は実施例2に係る可変分光素子における全体の制御構成を模式的に示すブロック図である。

実施例2は、対向するアクチュエータの配置位置における光学基板の面間隔の位置の差が大きく、光学基板の回転角度を高精度に制御をすることが難しい場合にも適用可能な例である。

対向するアクチュエータ同士の特性の差が大きい場合には、光学基板の回転角度を制御する精度が悪くなる。そこで、実施例2の可変光学素子は、第1の方向での対向するアクチュエータの配置位置における光学基板の面間隔の平均と第2の方向での対向するアクチュエータの配置位置における光学基板の面間隔の平均との差分を用いて撓み制御を行うように構成されている。なお、エタロン装置の構成は、図2～図4に示した実施例1の構成と同じである。

[0068] 詳しくは、実施例2の可変光学素子では、図9及び図10に示すように、制御部に目標入力部5₁を介して、第1の角度の目標値 θ_0 及び第2の角度の目標値 ϕ_0 を入力後に、センサ出力変換部5₂が、第1～第4静電容量センサ3₁、3₂、3₃、3₄により測定された各静電容量センサの配置位置における光学基板の面間隔 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 を取得し、光学基板の面間隔 x_1 と面間隔 x_3 の平均 $(x_1 + x_3) / 2$ と、面間隔 x_2 と面間隔 x_4 との平均 $(x_2 + x_4) / 2$ との差分値 Δ' ($= |(x_1 + x_3) / 2 - (x_2 + x_4) / 2|$) を算出するとともに、それらの面間隔 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 を、重心G₁と重心G₂との間隔の現在値 x 、第1の角度の現在値 θ 及び第2の角度の現在値 ϕ に変換する。

[0069] また、差分値算出部 5₃において差分値 e_x , e_θ , e_ϕ を算出し、指令値算出部 5₄において指令値 x_c , θ_c , ϕ_c を求めた後、指令値変換部 5₅において、指令値算出部 5₄で求めた指令値 x_c , θ_c , ϕ_c を第 1～第 4 ピエゾ素子 4₁, 4₂, 4₃, 4₄のそれぞれに対する指令値 x_{c1} , x_{c2} , x_{c3} , x_{c4} に変換する。指令値変換部 5₅は、次いで、センサ出力変換部 5₂で算出した第 1 静電容量センサ 3₁の配置位置における光学基板の面間隔 x_1 と第 3 静電容量センサ 3₃の配置位置における光学基板の面間隔 x_3 の平均と第 2 静電容量センサ 3₂の配置位置における光学基板の面間隔 x_2 と第 4 静電容量センサ 3₄の配置位置における光学基板の面間隔 x_4 の平均との差分値 Δ' ($= |(x_1 + x_3) / 2 - (x_2 + x_4) / 2|$) を用いて、指令値 x_{c1} , x_{c2} , x_{c3} , x_{c4} を指令値 x_{c1}'' , x_{c2}'' , x_{c3}'' , x_{c4}'' へと補正する。補正した指令値 x_{c1}'' , x_{c2}'' , x_{c3}'' , x_{c4}'' はそれぞれ対応する第 1～第 4 ピエゾ素子 4₁, 4₂, 4₃, 4₄を駆動する図示しない piezo 素子ドライバに入力され、この piezo 素子入力ドライバにより第 1～第 4 ピエゾ素子 4₁, 4₂, 4₃, 4₄のそれぞれに駆動電圧が印加される。

[0070] なお、第 1～第 4 ピエゾ素子 4₁, 4₂, 4₃, 4₄のそれぞれに対する指令値 x_{c1} , x_{c2} , x_{c3} , x_{c4} については、既知の値である第 1～第 4 ピエゾ素子 4₁, 4₂, 4₃, 4₄の中心までの固定基板 2₂の対向する面上における距離 r_{41} , r_{42} , r_{43} , r_{44} を用いて、以下の式が成り立つ。

$$x_{c1} = x_c - r_{41} \sin \theta_c$$

$$x_{c2} = x_c - r_{42} \sin \theta_c$$

$$x_{c3} = x_c + r_{43} \sin \theta_c$$

$$x_{c4} = x_c + r_{44} \sin \theta_c$$

[0071] また、実施例 2 においても、

$$r_{41} = r_{42} = r_{43} = r_{44} = r$$

であり、第 1 の角度についての指令値 θ_c 及び第 2 の角度についての指令値 ϕ_c はいずれも十分に小さいため、第 1～第 4 ピエゾ素子 4₁, 4₂, 4₃, 4₄のそれぞれに対する指令値 x_{c1} , x_{c2} , x_{c3} , x_{c4} は、以下の式により求められる。

$$x_{c1} = x - r \theta c$$

$$x_{c2} = x - r \phi c$$

$$x_{c3} = x + r \theta c$$

$$x_{c4} = x + r \phi c$$

[0072] このとき、実施例2の可変光学素子では、指令値変換部5₅は、光学基板の撓みを補正する制御を行う。即ち、指令値変換部5₅において、センサ出力変換部5₂で算出した第1静電容量センサ3₁の配置位置における光学基板の面間隔 x_1 と第3静電容量センサ3₃の配置位置における光学基板の面間隔 x_3 の平均と第2静電容量センサ3₂の配置位置における光学基板の面間隔 x_2 と第4静電容量センサ3₄の配置位置における光学基板の面間隔 x_4 の平均との差分値 Δ' （ $= |(x_1 + x_3) / 2 - (x_2 + x_4) / 2|$ ）を用いて、第1～第4ピエゾ素子4₁、4₂、4₃、4₄のそれぞれに対する指令値 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} は、次の式 x_{c1}'' 、 x_{c2}'' 、 x_{c3}'' 、 x_{c4}'' のように補正される。

$$x_{c1}'' = x - r \theta c - (\Delta' / 2)$$

$$x_{c2}'' = x - r \phi c + (\Delta' / 2)$$

$$x_{c3}'' = x + r \theta c - (\Delta' / 2)$$

$$x_{c4}'' = x + r \phi c + (\Delta' / 2)$$

[0073] その後、第1～第4ピエゾ素子4₁、4₂、4₃、4₄は、それぞれに対する上記式のように補正された指令値 x_{c1}'' 、 x_{c2}'' 、 x_{c3}'' 、 x_{c4}'' に基づいてピエゾ素子ドライバにより印加される電圧により駆動され、可動基板2₂を移動させて、一对の光学基板2の面間隔 x を変化させる。

[0074] そして、実施例2の可変分光素子は、センサ出力変換部5₂、差分値算出部5₃、指令値算出部5₄、指令値変換部5₅におけるこれらの制御処理及びその制御処理に基づく第1～第4ピエゾ素子4₁、4₂、4₃、4₄の駆動を、差分値 Δ' （ $= |(x_1 + x_3) / 2 - (x_2 + x_4) / 2|$ ）が略ゼロになるまで繰り返す。

[0075] 実施例2の可変分光素子によれば、対向するアクチュエータ同士の特性の差が大きい場合であっても、光学基板の回転角度を高精度に制御をすること

ができるので、実施例 1 の可変分光素子の効果に加えてより正確に光学特性を変化させることができる。

実施例 3

[0076] 図 11 は実施例 3 に係る可変分光素子における全体の制御構成を模式的に示すブロック図である。

実施例 3 の可変分光素子は、実施例 1 の可変光学素子の構成に加えて、可変制御部 5 の作動に際し、第 1 乃至第 4 アクチュエータの各々に対し、該各々のアクチュエータの特性差をキャンセルするためのオフセット電圧を印加する特性差補正電圧印加部 6 を有している。

特性差補正電圧印加部 6 は、例えば、第 1 ～第 4 ピエゾ素子 $4_1 \sim 4_4$ の各々に対し、各々のピエゾ素子の特性差をキャンセルするために予め設定した固定のオフセット電圧値を格納した ROM（図示省略）で構成されており、制御部 5 の作動に際し、第 1 ～第 4 ピエゾ素子 $4_1 \sim 4_4$ の各々のチャンネルに、夫々所定のオフセット電圧を印加する。

あるいは、特性差補正電圧印加部 6 は、上記 ROM に加えて、温湿度センサ（図示省略）と、温湿度情報をキーとする第 1 ～第 4 ピエゾ素子 $4_1 \sim 4_4$ の駆動特性（入力電圧に対する伸縮量）に応じたオフセット電圧のデータを格納したいわゆるルックアップテーブル（図示省略）とで構成し、制御部 5 の作動に際し、温湿度センサがリアルタイムで検知した温湿度情報に応じて、第 1 ～第 4 ピエゾ素子 $4_1 \sim 4_4$ の各々のチャンネルに印加するオフセット電圧を切り替えるようにしてもよい。

[0077] 実施例 3 の可変光学素子によれば、実施例 1 の可変光学素子の効果に加えて、制御部 5 の作動に際し、特性差補正電圧印加部 6 が第 1 乃至第 4 アクチュエータである第 1 乃至第 4 ピエゾ素子 $4_1 \sim 4_4$ の特性差を極力減らすので、制御部 5 の演算負荷を減らすことができ、その分、高速且つ高精度に光学特性を変化させることができる。

そして、特性差補正電圧印加部 6 を固定のオフセット電圧値を格納した ROM（図示省略）で構成した場合には、構成を簡略化できる。また、特性差

補正電圧印加部 6 をオフセット電圧をリアルタイムで切り替えるように構成した場合には、環境変動や経時変化によるピエゾ素子の特性の変動にも対処でき、高精度に光学特性を変化させることができる。

その他の作用効果は、実施例 1 の可変光学素子と略同じである。

実施例 4

[0078] 図 1 2 は実施例 4 に係る可変分光素子における全体の制御構成を模式的に示すブロック図である。

実施例 4 の可変分光素子は、実施例 2 の可変光学素子の構成に加えて、可変制御部 5 の作動に際し、第 1 乃至第 4 アクチュエータの各々に対し、該各々のアクチュエータの特性差をキャンセルするためのオフセット電圧を印加する特性差補正電圧印加部 6 を有している。

特性差補正電圧印加部 6 の構成は、実施例 3 の可変光学素子における特性差補正電圧印加部と略同じである。

[0079] 実施例 4 の可変光学素子によれば、実施例 2 の可変光学素子の効果に加えて、制御部 5 の作動に際し、特性差補正電圧印加部 6 が第 1 乃至第 4 アクチュエータである第 1 乃至第 4 ピエゾ素子 $4_1 \sim 4_4$ の特性差を極力減らすので、制御部 5 の演算負荷を減らすことができ、その分、高速且つ高精度に光学特性を変化させることができる。特に、第 1 乃至第 4 ピエゾ素子 $4_1 \sim 4_4$ の特性差が大きく、光学基板の回転角度の制御が難しい場合に有効である。

そして、特性差補正電圧印加部 6 を固定のオフセット電圧値を格納した ROM（図示省略）で構成した場合には、構成を簡略化できる。また、特性差補正電圧印加部 6 をオフセット電圧をリアルタイムで切り替えるように構成した場合には、環境変動や経時変化によるピエゾ素子の特性の変動にも対処でき、高精度に光学特性を変化させることができる。

その他の作用効果は、実施例 2 の可変光学素子と略同じである。

[0080] 次に、図 1 3 ～図 1 6 を用いて上記各実施例の可変分光素子におけるエタロン装置の変形例を示す。

図 1 3 は図 2 のエタロン装置の第 1 の変形例を示す平面図である。図 1 4

は図2のエタロン装置の第2の変形例を示す平面図である。図15は図2のエタロン装置の第3の変形例を示す平面図である。図16は図2のエタロン装置の第4の変形例を示す断面図である。

[0081] 図13に示すエタロン装置は、上記各実施例の可変分光素子におけるエタロン装置と異なり、第1静電容量センサ 3_1 及び第1ピエゾ素子 4_1 と、第2静電容量センサ 3_2 及び第2ピエゾ素子 4_2 と、第3静電容量センサ 3_3 及び第3ピエゾ素子 4_3 と、第4静電容量センサ 3_4 及び第4ピエゾ素子 4_4 とは、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、等間隔に配置されていない。

[0082] しかし、このような配置であっても、第1静電容量センサ 3_1 及び第1ピエゾ素子 4_1 と第3静電容量センサ 3_3 及び第3ピエゾ素子 4_3 、第2静電容量センサ 3_2 及び第2ピエゾ素子 4_2 と第4静電容量センサ 3_4 及び第4ピエゾ素子 4_4 が、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、その重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されていれば、制御部において上記各実施例の可変分光素子のエタロン装置と同様の演算を行って制御を行うことができる。

[0083] 図14及び図15に示すエタロン装置は、上記各実施例の可変分光素子のエタロン装置と異なり、第1静電容量センサ 3_1 と第1ピエゾ素子 4_1 、第2静電容量センサ 3_2 及び第2ピエゾ素子 4_2 、第3静電容量センサ 3_3 及び第3ピエゾ素子 4_3 、第4静電容量センサ 3_4 及び第4ピエゾ素子 4_4 が、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、重ならない位置に配置されている。

[0084] しかし、このような配置であっても、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の各々が、第1～第4静電容量センサ 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 の各々の中心方向へ伸びる線の線上に配置されていれば、制御部において上記実施例の可変分光素子のエタロン装置と同様の演算を行って制御を行うことができる。

[0085] 図16に示すエタロン装置は、上記各実施例の可変分光素子におけるエタ

ロン装置と異なり、外枠 1 を備えておらず、第 1 ピエゾ素子 4_1 、第 2 ピエゾ素子 4_2 、第 3 ピエゾ素子 4_3 、第 4 ピエゾ素子 4_4 が、それぞれ、エタロン装置を通過する光を遮らないようにして、固定基板 2_1 の対向する面上に固定されている。

[0086] しかし、このような構成であっても、制御部において上記実施例の可変分光素子におけるエタロン装置と同様の演算を行って制御を行うことができる。

実施例 5

[0087] 図 1 7 ～図 1 8 を用いて、本発明に係る可変分光素子である、エタロン装置を備えた可変分光素子の第 5 の実施例について説明する。なお、実施例 5 の可変分光素子におけるエタロン装置を構成する部材は、実施例 1 のエタロン装置を構成する部材と同じであるため、同じ構成を有する部材には、同一の符号を付すとともに、それらについての詳細な説明は省略する。また、実施例 5 の可変分光素子における制御部の構成や内部で行われる演算は、実施例 1 の可変分光素子における制御部で行われる演算とほぼ同じであるため、それらについての詳細な説明は省略する。

[0088] なお、図 1 7 は本実施例に係る可変分光素子におけるエタロン装置を示す断面図である。図 1 8 は図 1 7 のエタロン装置の平面図である。

[0089] 図 1 7 及び図 1 8 を用いて、この可変分光素子におけるエタロン装置の構成について説明する。

[0090] 実施例 5 の可変分光素子におけるエタロン装置においては、実施例 1 の可変分光素子におけるエタロン装置と異なり、第 1 ～第 4 ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 と第 1 ～第 4 静電容量センサ 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 が、一对の光学基板 2 の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、交互に等間隔となるように環状に配置されている。

[0091] 次に、実施例 5 に係る可変分光素子におけるエタロン装置における可動基板 2_2 の動作及びその制御について説明する。

[0092] 実施例 1 の可変分光素子においては、第 1 ～第 4 静電容量センサ 3_1 、 3_2 、

3_3 , 3_4 の出力値から一对の光学基板2の対向する面の重心同士の間隔 x を算出し、第1, 第3静電容量センサ 3_1 , 3_3 の出力値から第1の角度 θ を算出し、第2, 第4静電容量センサ 3_2 , 3_4 の出力値から第2の角度 ϕ を算出する。そして、第1, 第3 piezo素子 4_1 , 4_3 の駆動を重心同士の間隔 x と第1の角度 θ に基づいて制御し、第2, 第4 piezo素子 4_2 , 4_4 の駆動を重心同士の間隔 x と第2の角度 ϕ 、第1静電容量センサ 3_1 の配置位置における光学基板の面間隔 x_1 と第2静電容量センサ 3_2 の配置位置における光学基板の面間隔 x_2 との差分値 Δ に基づいて制御している。

[0093] これに対し、実施例5の可変分光素子においては、第1～第4静電容量センサ 3_1 , 3_2 , 3_3 , 3_4 の全ての出力値を用いて重心同士の間隔 x 、一对の光学基板2における第1～第4 piezo素子 4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4 の配置位置での一对の光学基板2の対向する面同士の間隔 x_{41} , x_{42} , x_{43} , x_{44} を算出し、算出した面間隔 x_{41} , x_{42} , x_{43} , x_{44} を用いて第1の角度 θ 及び第2の角度 ϕ を算出する。そして、実施例1の可変分光素子と同様、第1～第4 piezo素子 4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4 それぞれの駆動を重心同士の間隔 x 、第1の角度 θ 及び第2の角度 ϕ 、第1 piezo素子 4_1 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{41} と第2 piezo素子 4_2 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{42} との差分値 Δ ($= |x_{42} - x_{41}|$) に基づいて制御する。あるいは、実施例2の可変分光素子と同様、第1～第4 piezo素子 4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4 それぞれの駆動を重心同士の間隔 x 、第1の角度 θ 及び第2の角度 ϕ 、第1 piezo素子 4_1 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{41} と第3 piezo素子 4_3 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{43} の平均と第2 piezo素子 4_2 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{42} と第4 piezo素子 4_4 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{44} の平均との差分値 Δ' ($= |(x_{41} + x_{43}) / 2 - (x_{42} + x_{44}) / 2|$) に基づいて制御する。

[0094] このように、実施例5の可変分光素子では、静電容量センサ3と対応する piezo素子4とが、一对の光学基板2の対向する面の各々の重心を結んだ線に沿う方向からみて、重なる位置に配置されていないが、静電容量センサ3が検出した一对の光学基板2の対向する面同士の間隔 x_1 , x_2 , x_3 , x_4 を

、第1～第4ピエゾ素子 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{41} 、 x_{42} 、 x_{43} 、 x_{44} に変換しているため、実施例1と同一の制御を行うことができる。

[0095] したがって、実施例5においても、実施例1の可変分光素子と同様に、従来の可変分光素子に比べて、一对の光学基板2の面間隔が収束するまでの時間が非常に短い。そのため、実施例5の可変分光素子は、連続的且つ高速に光学特性を変化させる場合であっても、正確に光学特性を変化させることができる。

加えて、実施例5においては、指令値変換部 5_5 が、センサ出力変換部 5_2 で算出した第1ピエゾ素子 4_1 の配置位置における光学基板2の面間隔 x_{41} と第2ピエゾ素子 4_2 の配置位置における光学基板2の面間隔 x_{42} との差分値 Δ ($= |x_{42} - x_{41}|$)、あるいは、第1ピエゾ素子 4_1 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{41} と第3ピエゾ素子 4_3 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{43} の平均と第2ピエゾ素子 4_2 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{42} と第4ピエゾ素子 4_4 の配置位置における光学基板の面間隔 x_{44} の平均との差分値 Δ' ($= |(x_{41} + x_{43}) / 2 - (x_{42} + x_{44}) / 2|$)を用いて、光学基板の撓み制御を行うようにしたので、各軸のピエゾ特性にバラツキがあってもそのバラツキを加味した値に重心位置、角度を調整できる。

このため、実施例5の可変光学素子によれば、エタロンに備わる2方向のアクチュエータの特性にバラツキがあっても、高速且つ正確に光学特性を変化させることができる。

符号の説明

[0096]	1	外枠
	1_1	筒状部材
	1_2 , 1_3	環状部材
	1_2a , 1_3a	開口部
	2	一对の光学基板
	2_1	固定基板

2_2	可動基板	
3_1	第1 静電容量センサ	
3_2	第2 静電容量センサ	
3_3	第3 静電容量センサ	
3_4	第4 静電容量センサ	
$3_{11}, 3_{12}, 3_{21}, 3_{22}, 3_{31}, 3_{32}, 3_{41}, 3_{42}$		電極
4_1	第1 ピエゾ素子	
4_2	第2 ピエゾ素子	
4_3	第3 ピエゾ素子	
4_4	第4 ピエゾ素子	
5_1	目標値入力部	
5_2	センサ出力変換部	
5_3	差分値演算部	
5_4	指令値算出部	
5_5	指令値変換部	
6	特性差補正電圧印加部	
G_1	固定基板の対向する面における重心	
G_2	可動基板の対向する面における重心	

請求の範囲

[請求項1]

間隔を隔てて対向するように配置された一对の光学基板と、

各々が前記一对の光学基板の対向する面の夫々に配置された一对の電極部を有して各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を検出する第1乃至第4静電容量センサと、

前記一对の光学基板の一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第1乃至第4アクチュエータを備えた可変分光素子において、

前記第1静電容量センサと前記第3静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置され、

前記第2静電容量センサと前記第4静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されるとともに、

前記第1乃至第4アクチュエータの各々が、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心から前記第1乃至第4静電容量センサの各々の中心方向へ伸びる線の線上に配置されており、

前記第1乃至第4静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、

前記第1静電容量センサによる信号と前記第3静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第1の角度を算出し、

前記第2静電容量センサによる信号と前記第4静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第2の角度を算出し、

前記第1静電容量センサによる信号と前記第2静電容量センサによ

る信号から前記一对の光学基板における前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記一对の光学基板における前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔との差分を算出し、

前記重心同士の間隔及び前記第 1 の角度及び前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔との差分に基づいて前記第 1 及び第 3 アクチュエータを駆動し、

前記重心同士の間隔及び前記第 2 の角度及び前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔との差分に基づいて前記第 2 及び第 4 アクチュエータを駆動し、

前記重心同士の間隔の算出から前記第 2 及び第 4 アクチュエータの駆動に至るまでの処理を、前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔との差分が略ゼロとなるまで繰り返す制御部を備えていることを特徴とする可変分光素子。

[請求項2]

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々と前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの各々とが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて重なる位置に配置されており、以下の条件式を満足することを特徴とする請求の範囲 1 に記載の可変分光素子。

$$x_1 = x - r \sin \theta$$

$$x_2 = x - r \sin \phi$$

$$x_3 = x + r \sin \theta$$

$$x_4 = x + r \sin \phi$$

但し、 x は前記重心同士の間隔、 $x_1 \sim x_4$ はそれぞれ前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔、 θ は前記第 1 の角度、 ϕ は前記第 2 の角度、 r は前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面上における重心から前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの配置位置までの距離である。

[請求項3]

前記制御部が、

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の平均から前記重心同士の間隔を算出し、

前記第 1 及び第 3 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の差分から前記第 1 の角度を算出し、

前記第 2 及び第 4 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の差分から前記第 2 の角度を算出するとともに、

前記第 1 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第 2 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔との差分から前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第 2 のアクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔との差分を算出することを特徴とする請求の範囲 1 に記載の可変分光素子。

[請求項4]

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々と前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの各々とが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて重なる位置に配置されており、以下の条件式を満足することを特徴とする請求の範囲 1 に記

載の可変分光素子。

$$x = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4$$

$$\theta = R_1 (x_3 - x_1)$$

$$\phi = R_2 (x_4 - x_2)$$

但し、 x は前記重心同士の間隔、 $x_1 \sim x_4$ はそれぞれ前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔、 θ は前記第 1 の角度、 ϕ は前記第 2 の角度、 R_1 及び R_2 は所定の係数である。

[請求項5]

間隔を隔てて対向するように配置された一对の光学基板と、

各々が前記一对の光学基板の対向する面の夫々に配置された一对の電極部を有して各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を検出する第 1 乃至第 4 静電容量センサと、

前記一对の光学基板の一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第 1 乃至第 4 アクチュエータを備えた可変分光素子において、

前記第 1 静電容量センサと前記第 3 静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置され、

前記第 2 静電容量センサと前記第 4 静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されるとともに、

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサと前記第 1 乃至第 4 アクチュエータとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて等間隔となる位置に交互に環状に配置されており、

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、

前記第 1 乃至第 4 の静電容量センサによる信号から前記一对の光学

基板における前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの配置位置での前記一対の光学基板の対向する面同士の間隔を算出し、

前記第 1 及び第 3 アクチュエータの各々の配置位置における前記一対の光学基板の対向する面同士の間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一対の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第 1 の角度を算出し、

前記第 2 及び第 4 アクチュエータの各々の配置位置における前記一対の光学基板の対向する面同士の間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一対の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第 2 の角度を算出し、

前記重心同士の間隔及び前記第 1 の角度及び前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一対の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一対の光学基板の対向する面同士の間隔の差分に基づいて前記第 1 及び第 3 アクチュエータを駆動し、

前記重心同士の間隔及び前記第 2 の角度及び前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一対の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一対の光学基板の対向する面同士の間隔の差分に基づいて前記第 2 及び第 4 アクチュエータを駆動し、

前記重心同士の間隔の算出から前記第 2 及び第 4 アクチュエータの駆動に至るまでの処理を、前記第 1 アクチュエータの配置位置での前記一対の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一対の光学基板の対向する面同士の間隔の差分が略ゼロとなるまで繰り返す制御部を備えていることを特徴とする可変分光素子。

[請求項6]

間隔を隔てて対向するように配置された一対の光学基板と、

各々が前記一対の光学基板の対向する面の夫々に配置された一対の

電極部を有していて各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を検出する第1乃至第4静電容量センサと、

前記一对の光学基板の一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第1乃至第4アクチュエータを備えた可変分光素子において、

前記第1静電容量センサと前記第3静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置され、

前記第2静電容量センサと前記第4静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されるとともに、

前記第1乃至第4アクチュエータの各々が、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心から前記第1乃至第4静電容量センサの各々の中心方向へ伸びる線の線上に配置されており、

前記第1乃至第4静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、

前記第1静電容量センサによる信号と前記第3静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第1の角度を算出し、

前記第2静電容量センサによる信号と前記第4静電容量センサによる信号とから前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第2の角度を算出し、

前記第1静電容量センサによる信号と前記第3静電容量センサによる信号とから前記一对の光学基板における前記第1アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記一对の光学基板における前記第3アクチュエータの配置位置での前記一

対の光学基板の対向する面同士の間隔とを平均した第 1 の方向での面間隔の平均を算出し、

前記第 2 静電容量センサによる信号と前記第 4 静電容量センサによる信号とから前記一对の光学基板における前記第 2 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記一对の光学基板における前記第 4 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔とを平均した第 2 の方向での面間隔の平均を算出するとともに、

前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分を算出し、

前記重心同士の間隔及び前記第 1 の角度及び前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分に基づいて前記第 1 及び第 3 アクチュエータを駆動し、

前記重心同士の間隔及び前記第 2 の角度及び前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分に基づいて前記第 2 及び第 4 アクチュエータを駆動し、

前記重心同士の間隔の算出から前記第 2 及び第 4 アクチュエータの駆動に至るまでの処理を、前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分が略ゼロとなるまで繰り返す制御部を備えていることを特徴とする可変分光素子。

[請求項 7]

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々と前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの各々とが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて重なる位置に配置されており、以下の条件式を満足することを特徴とする請求の範囲 6 に記載の可変分光素子。

$$x_1 = x - r \sin \theta$$

$$x_2 = x - r \sin \phi$$

$$x_3 = x + r \sin \theta$$

$$x_4 = x + r \sin \phi$$

但し、 x は前記重心同士の間隔、 $x_1 \sim x_4$ はそれぞれ前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔、 θ は前記第 1 の角度、 ϕ は前記第 2 の角度、 r は前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面上における重心から前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの配置位置までの距離である。

[請求項 8]

前記制御部が、

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の平均から前記重心同士の間隔を算出し、

前記第 1 及び第 3 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の差分から前記第 1 の角度を算出し、

前記第 2 及び第 4 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の差分から前記第 2 の角度を算出するとともに、

前記第 1 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第 3 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の平均と前記第 2 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔と前記第 4 静電容量センサの配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の平均との差分から前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分を算出することを特徴とする請求の範囲 6 に記載の可変分光素子。

[請求項 9]

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々と前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの各々とが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて重なる位置に配置され

ており、以下の条件式を満足することを特徴とする請求の範囲 6 に記載の可変分光素子。

$$x = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4$$

$$\theta = R_1 (x_3 - x_1)$$

$$\phi = R_2 (x_4 - x_2)$$

但し、 x は前記重心同士の間隔、 $x_1 \sim x_4$ はそれぞれ前記第 1 乃至第 4 静電容量センサの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔、 θ は前記第 1 の角度、 ϕ は前記第 2 の角度、 R_1 及び R_2 は所定の係数である。

[請求項 10]

間隔を隔てて対向するように配置された一对の光学基板と、

各々が前記一对の光学基板の対向する面の夫々に配置された一对の電極部を有して各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を検出する第 1 乃至第 4 静電容量センサと、

前記一对の光学基板の一方を他方に対して相対的に移動させて前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を変化させる第 1 乃至第 4 アクチュエータを備えた可変分光素子において、

前記第 1 静電容量センサと前記第 3 静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置され、

前記第 2 静電容量センサと前記第 4 静電容量センサとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として対称となる位置に配置されるとともに、

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサと前記第 1 乃至第 4 アクチュエータとが、前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心を結んだ線を軸として該軸に沿う方向からみて等間隔となる位置に交互に環状に配置されており、

前記第 1 乃至第 4 静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板の対向する面の各々の重心同士の間隔を算出し、

前記第 1 乃至第 4 の静電容量センサによる信号から前記一对の光学基板における前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を算出するとともに、前記一对の光学基板における前記第 1 及び第 3 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を平均した第 1 の方向の間隔の平均と前記一对の光学基板における前記第 2 及び第 4 アクチュエータの配置位置での前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔を平均した第 2 の方向の間隔の平均を算出し、

前記第 1 及び第 3 アクチュエータの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第 1 の角度を算出し、

前記第 2 及び第 4 アクチュエータの各々の配置位置における前記一对の光学基板の対向する面同士の間隔の値を用いて前記重心を結んだ線に垂直な面と前記一对の光学基板の対向する面のうち相対的に移動させる一方の光学基板の面とがなす第 2 の角度を算出し、

前記重心同士の間隔及び前記第 1 の角度及び前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分に基づいて前記第 1 及び第 3 アクチュエータを駆動し、

前記重心同士の間隔及び前記第 2 の角度及び前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分に基づいて前記第 2 及び第 4 アクチュエータを駆動し、

前記重心同士の間隔の算出から前記第 2 及び第 4 アクチュエータの駆動に至るまでの処理を、前記第 1 の方向での面間隔の平均と前記第 2 の方向での面間隔の平均との差分が略ゼロとなるまで繰り返す制御部を備えていることを特徴とする可変分光素子。

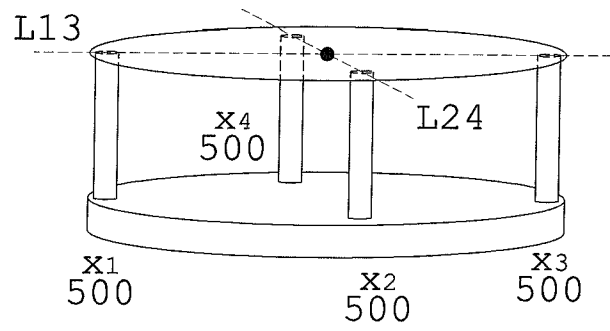
[請求項 11]

前記制御部の作動に際し、前記第 1 乃至第 4 アクチュエータの各々に対し、該各々のアクチュエータの特性差をキャンセルするためのオ

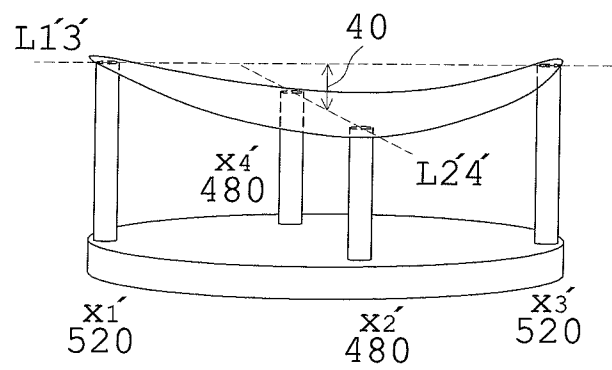
フセット電圧を印加する特性差補正電圧印加部を有することを特徴とする請求の範囲 1 ～ 10 のいずれかに記載の可変分光素子。

[図1]

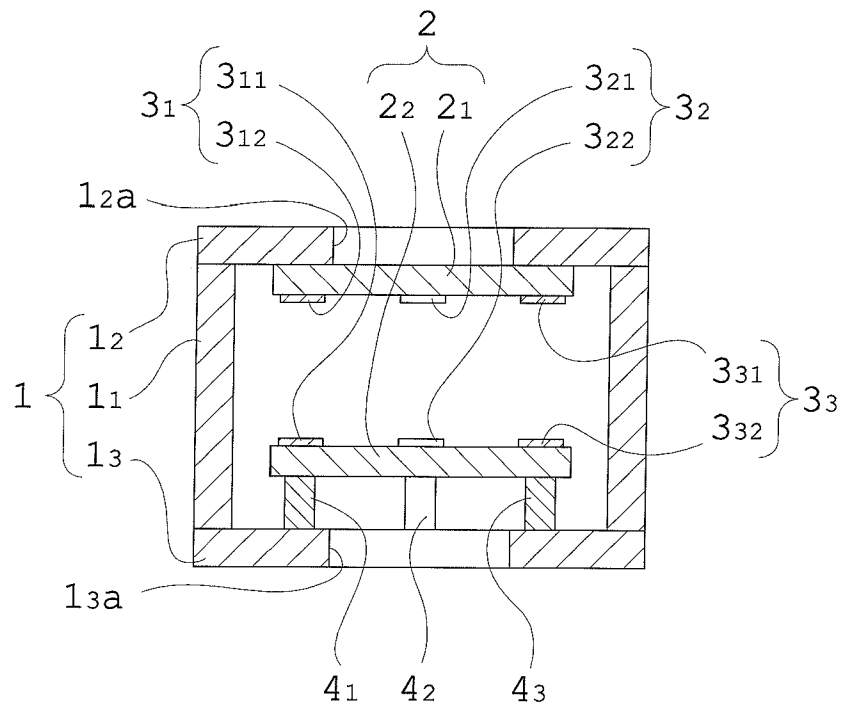
(a)



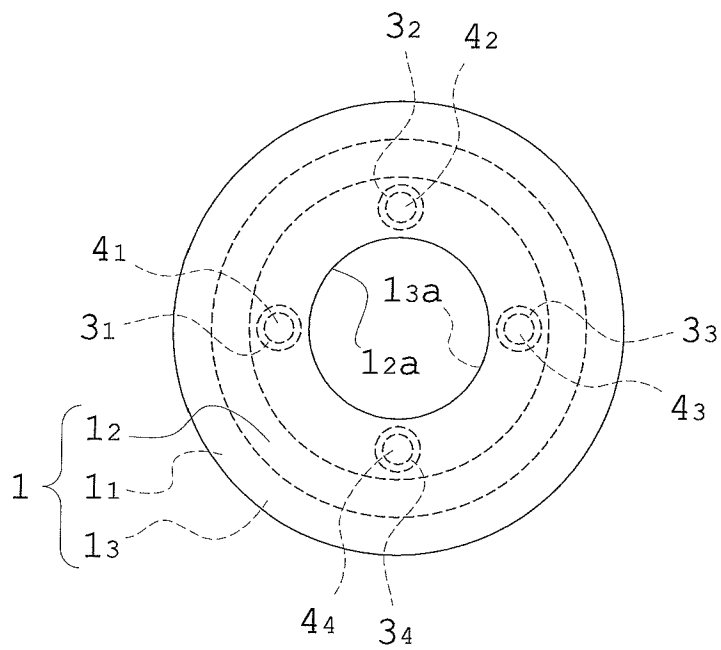
(b)



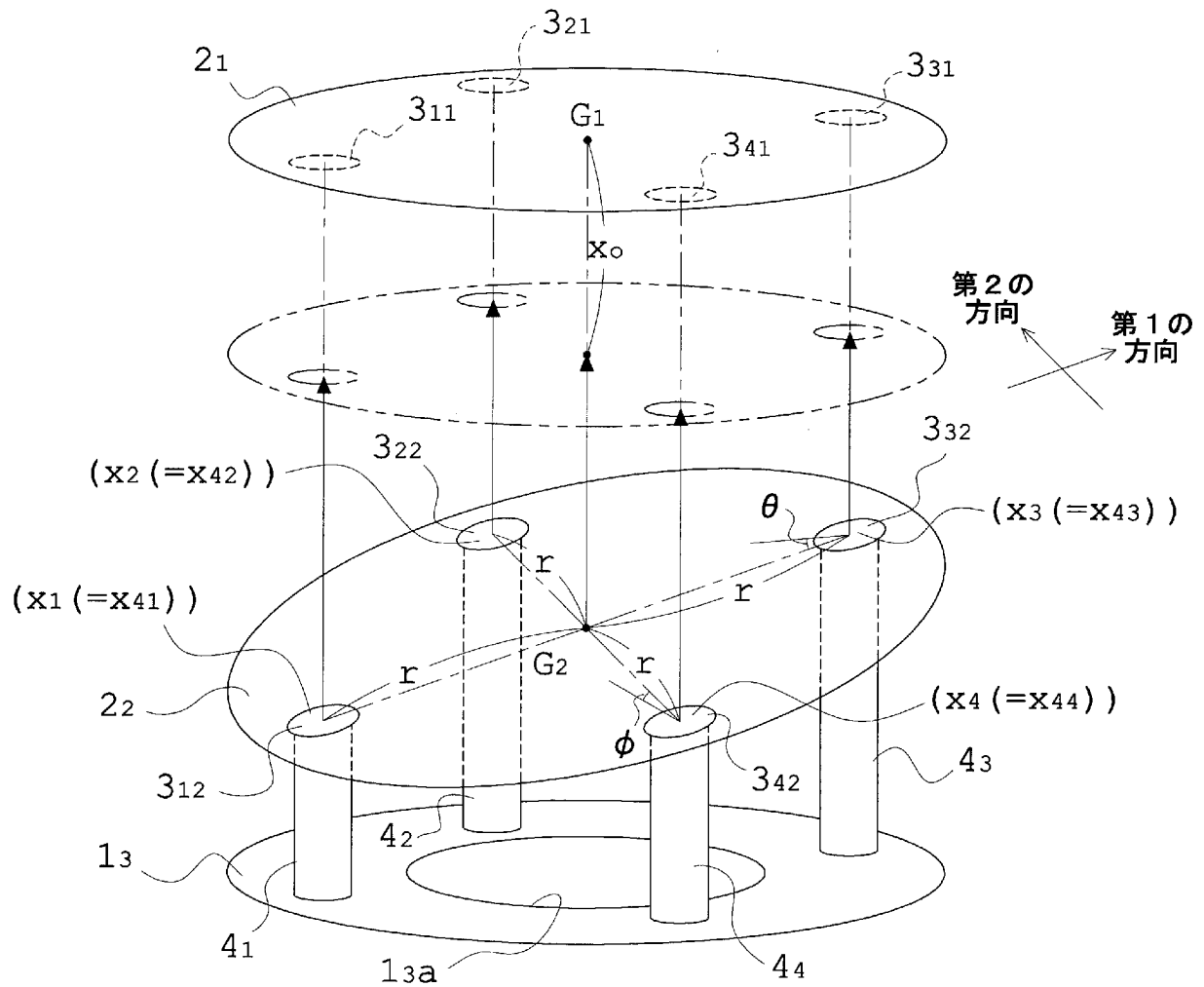
[図2]



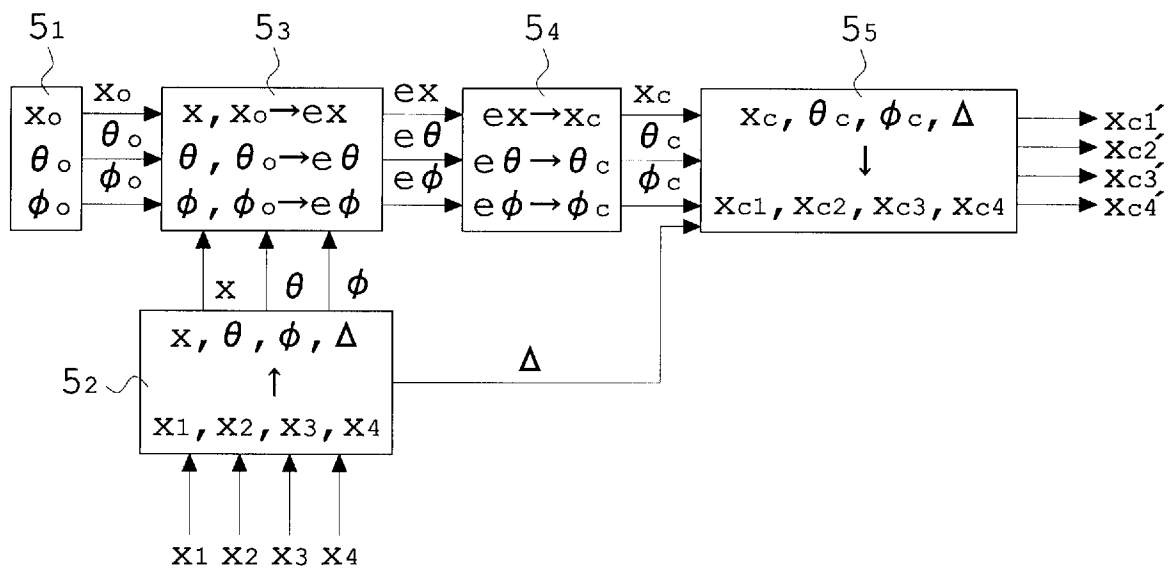
[図3]



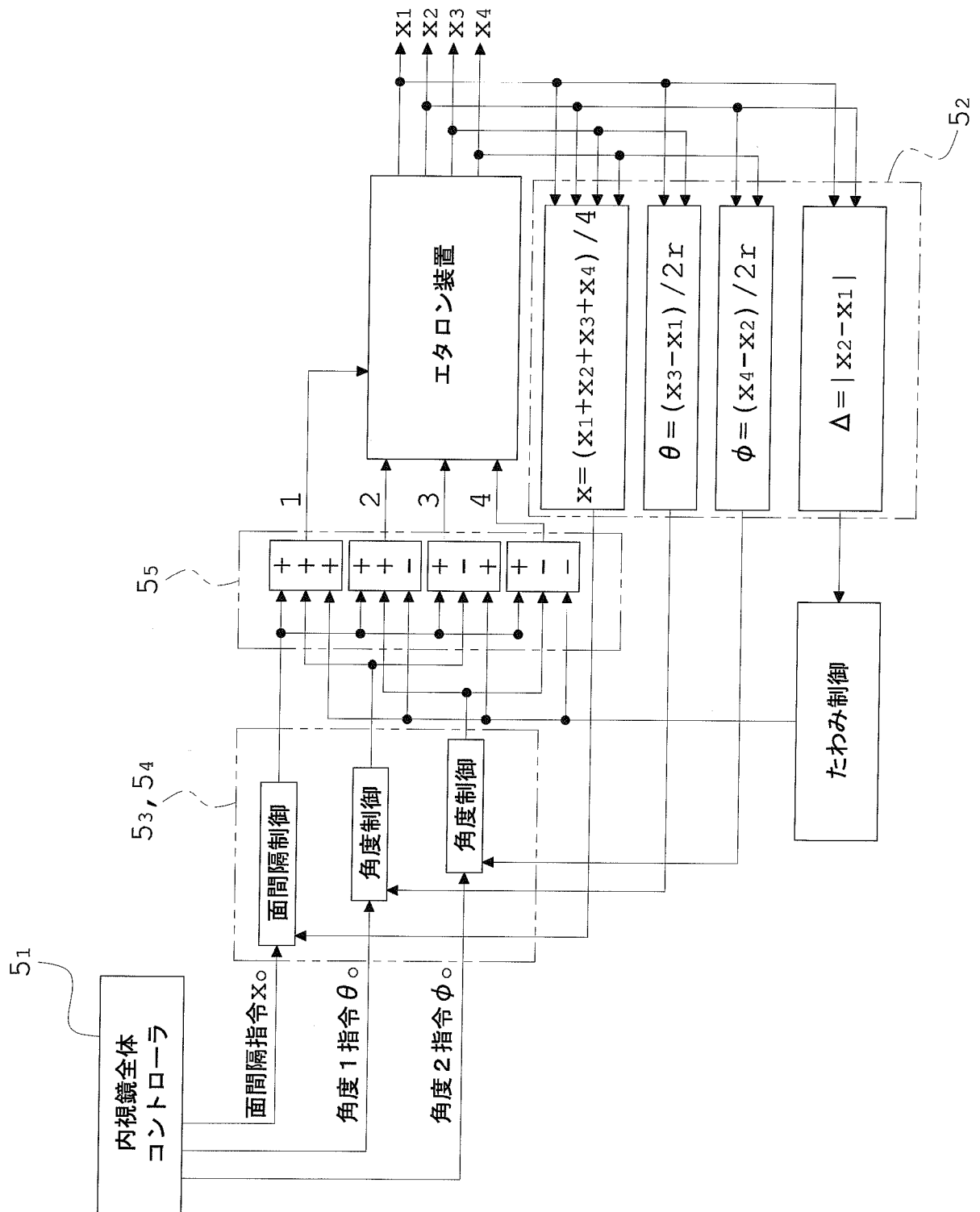
[図4]



[図5]

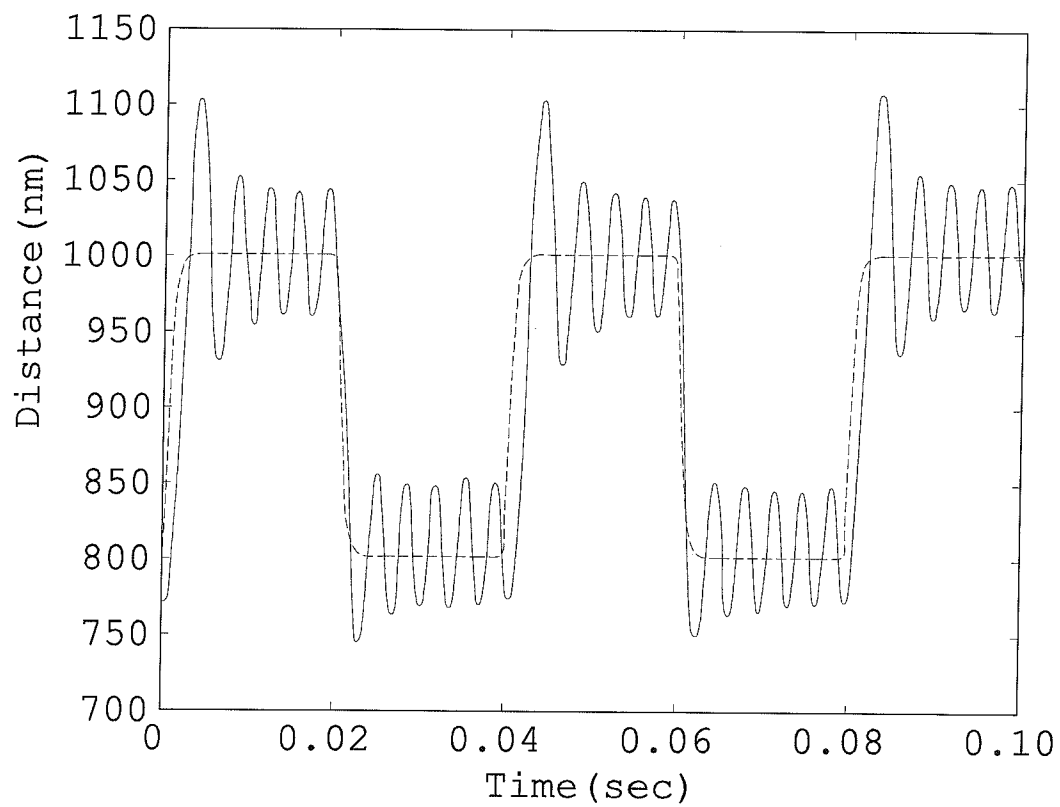


[図6]

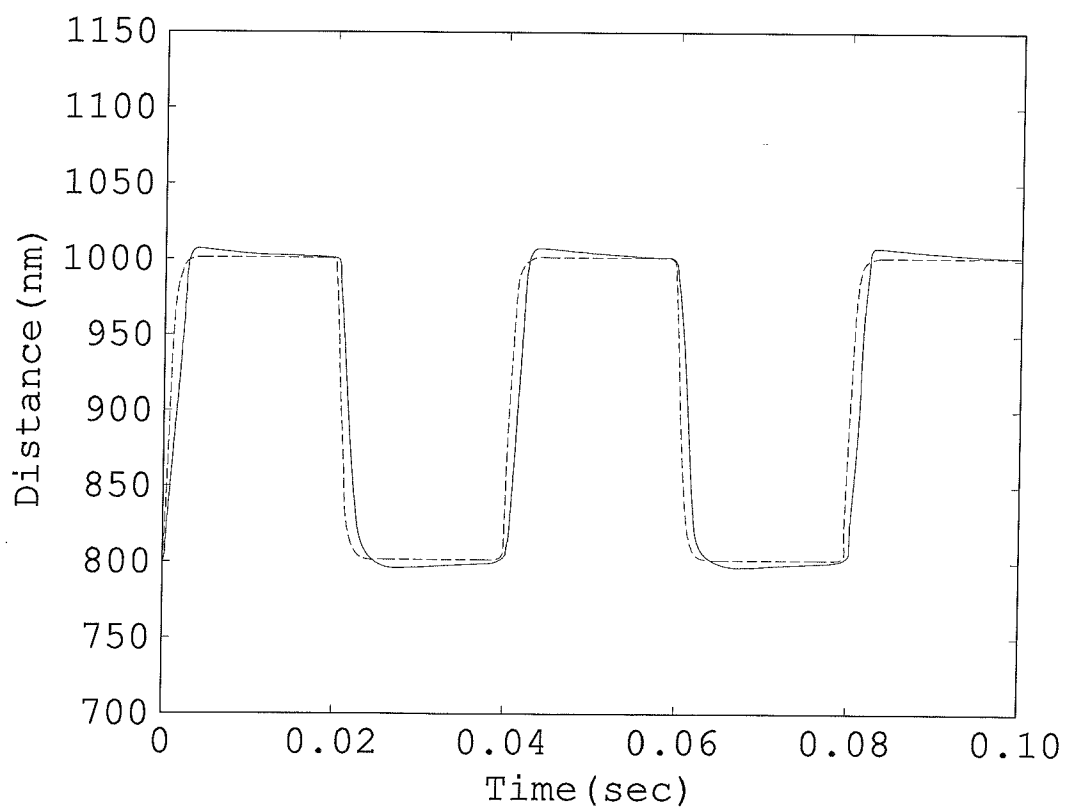


[図7]

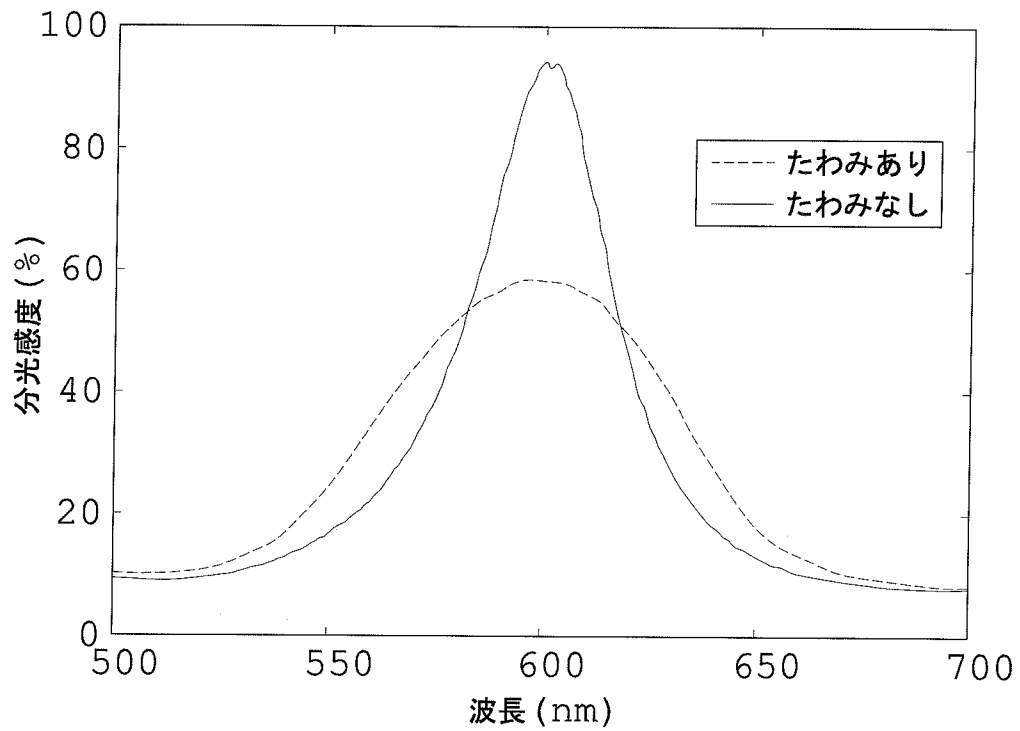
(a)



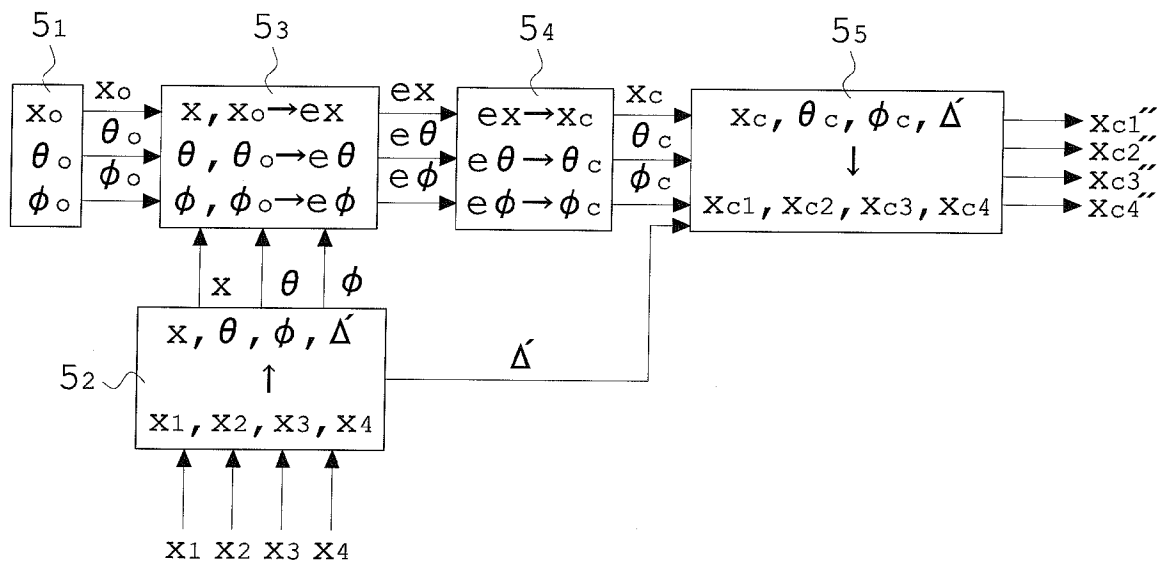
(b)



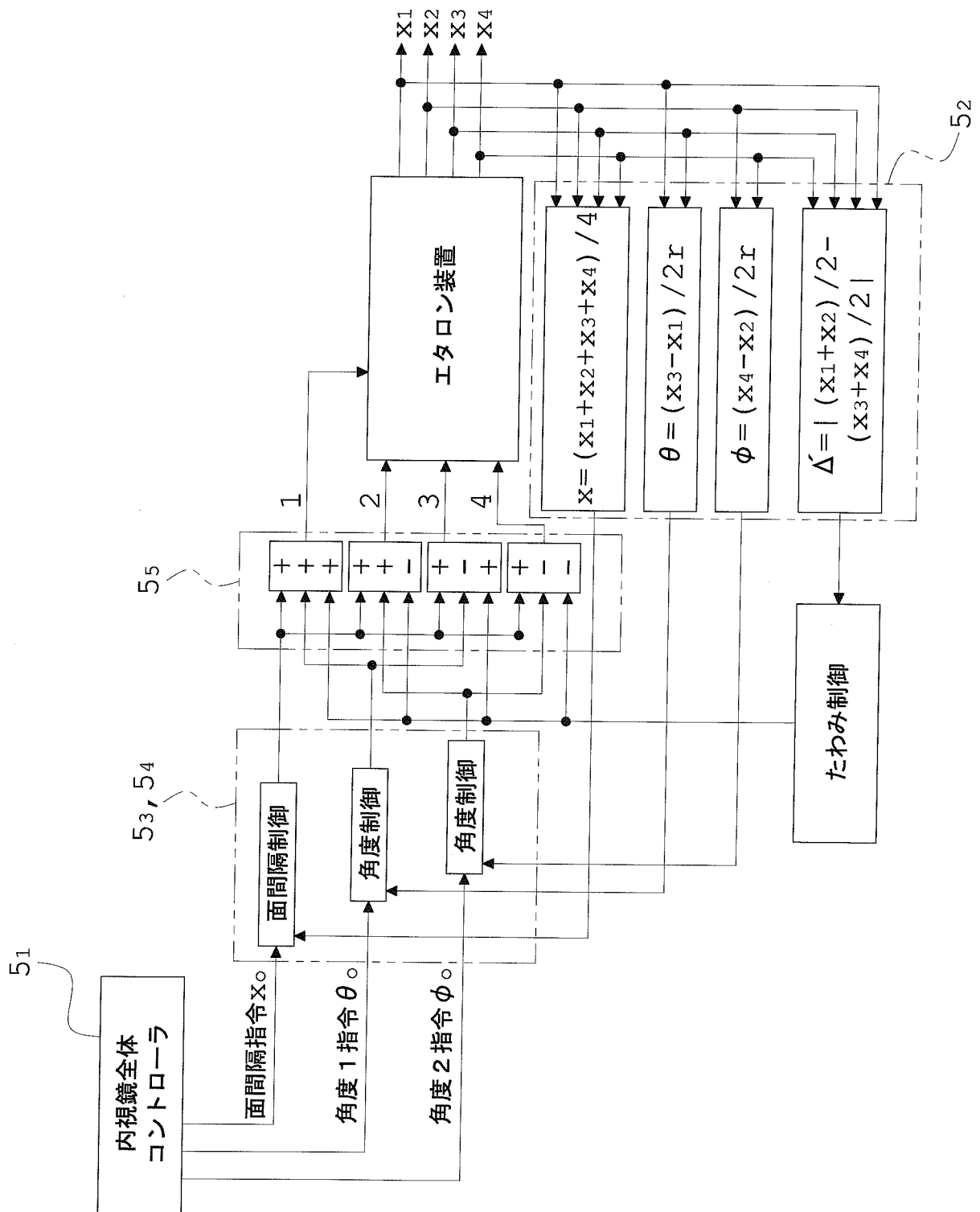
[図8]



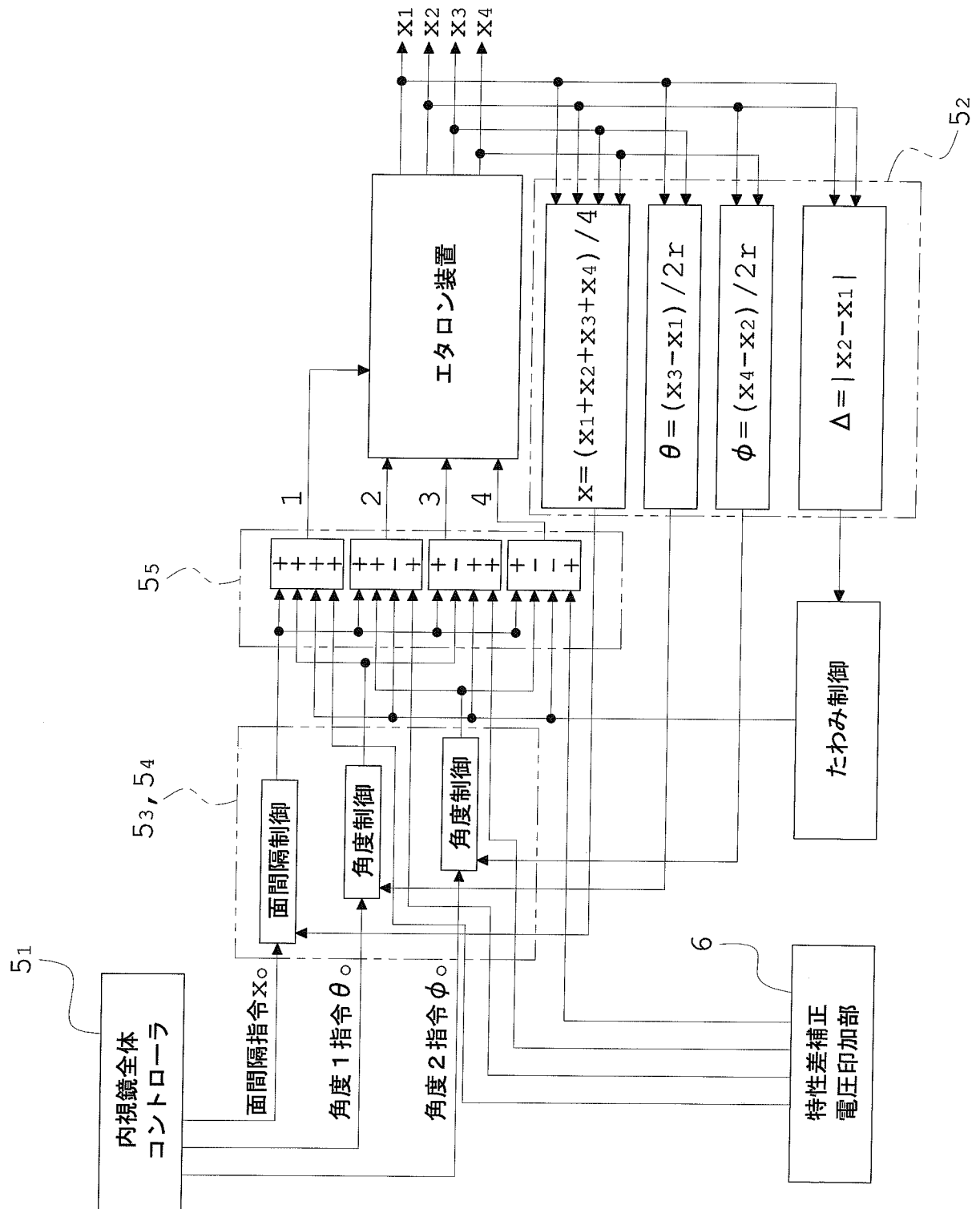
[図9]



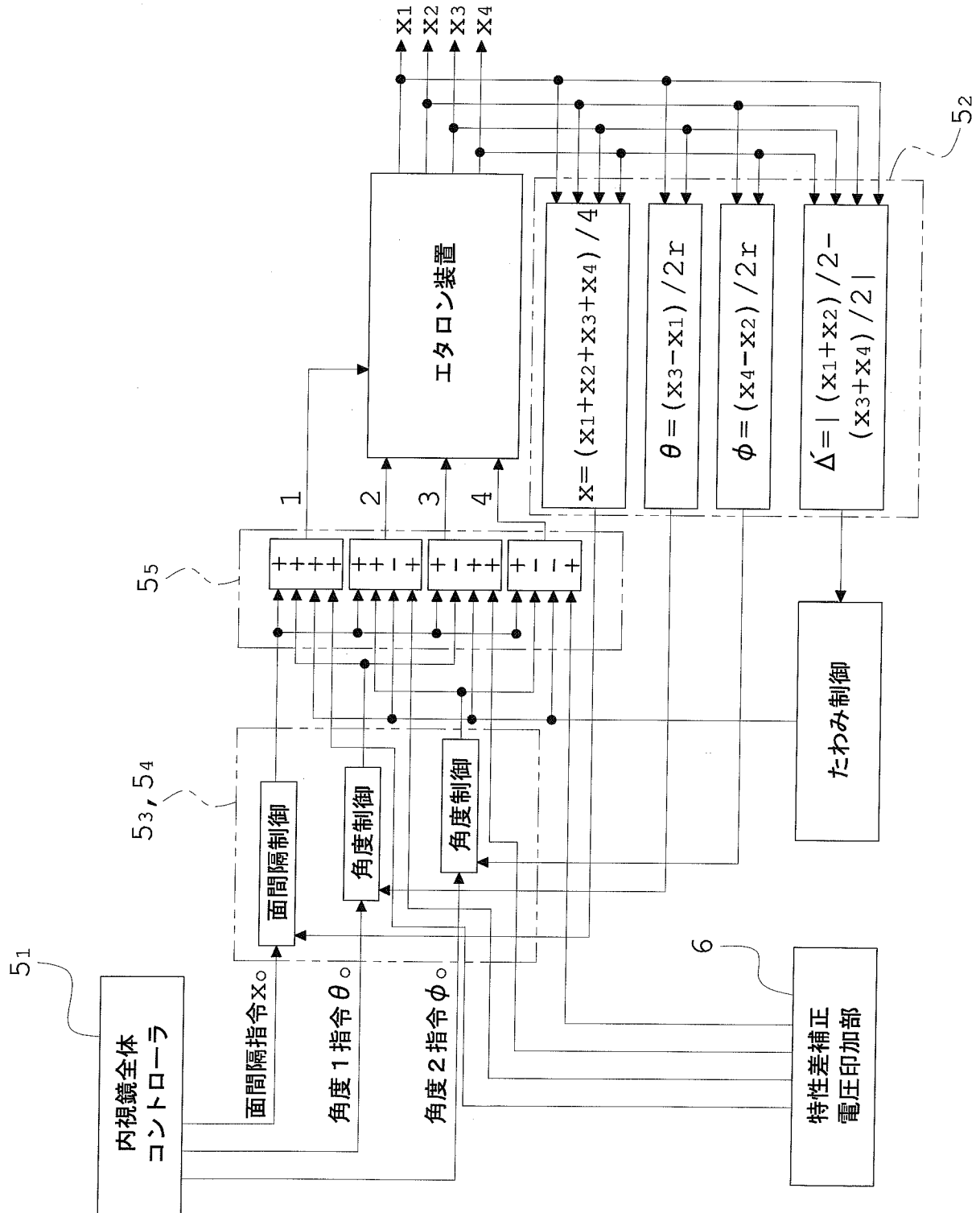
[図10]



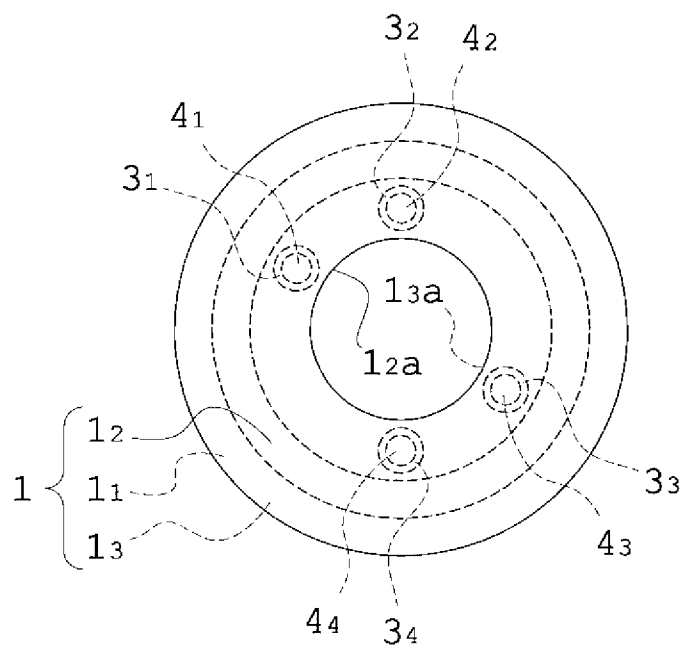
[図11]



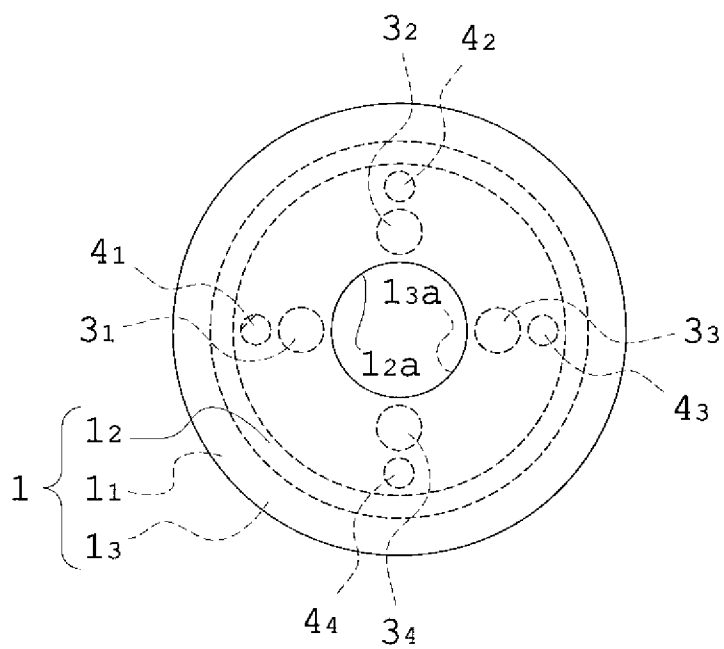
[図12]



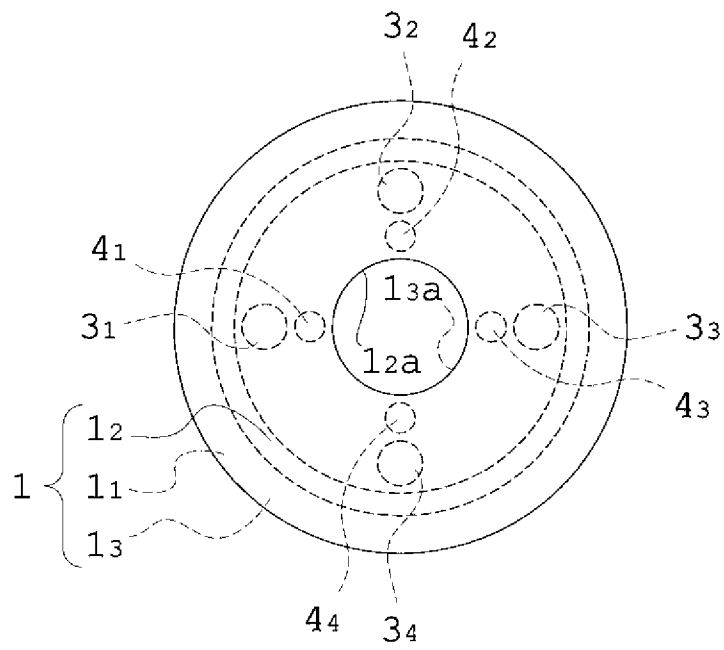
[図13]



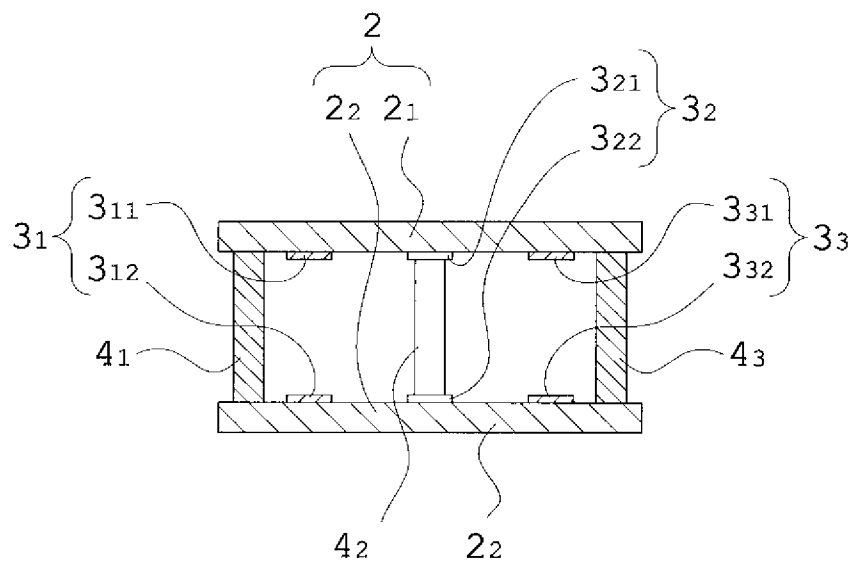
[図14]



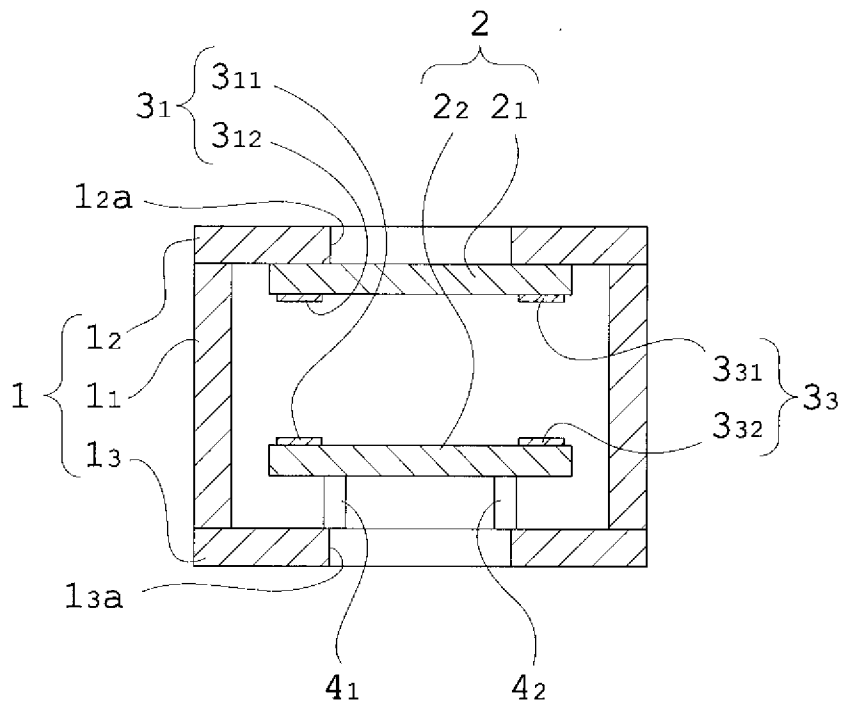
[図15]



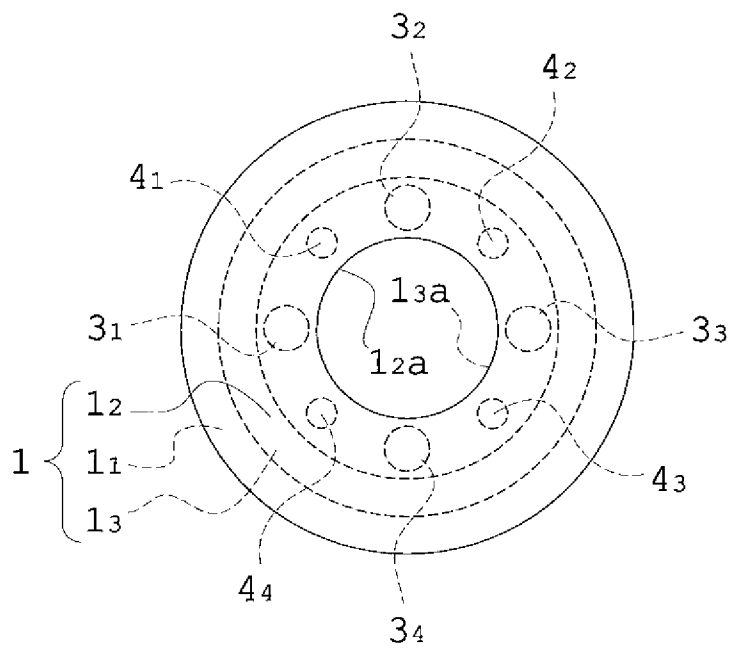
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/051858

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B26/00(2006.01) i, G01J3/26(2006.01) n

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)

G02B26/00, G01B7/30, G01J3/26, G02B5/28

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.
A	JP 2008-151544 A (Olympus Corp.), 03 July 2008 (03.07.2008), entire text; all drawings & US 2009/0306479 A1 & WO 2008/072727 A1	1-11
A	JP 2010-224011 A (Olympus Corp.), 07 October 2010 (07.10.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
P, A	JP 2011-209574 A (Olympus Corp.), 20 October 2011 (20.10.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

☐ 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
16 February, 2012 (16.02.12)

Date of mailing of the international search report
28 February, 2012 (28.02.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. G02B26/00(2006.01)i, G01J3/26(2006.01)n

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. G02B26/00, G01B7/30, G01J3/26, G02B5/28

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
A	JP 2008-151544 A（オリンパス株式会社） 2008.07.03, 全文, 全図 & US 2009/0306479 A1 & WO 2008/072727 A1	1-11
A	JP 2010-224011 A（オリンパス株式会社） 2010.10.07, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-11

☒ 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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

1 6 . 0 2 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 8 . 0 2 . 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

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

2 X

4 4 0 8

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
P, A	JP 2011-209574 A (オリンパス株式会社) 2011. 10. 20, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-11