

光フィルタ型変位計測による MEMS 加速度センサ

MEMS accelerometer using multi-layer optical filter with air gap resonator

○ 溝延大和*、豊田宏*、小野俊郎*

○ Hirokazu Mizonobe*, Hiroshi Toyota*, and Toshiro Ono*

*弘大院理工

*Hirosaki Univ.

キーワード: ECR(Electron Cyclotron Resonance), 加速度センサ(Accelerometer), 微小電気機械システム(Micro Electro Mechanical Systems), Fabry-Perot 狭帯域光フィルタ(Fabry-Perot type narrow band pass filter)

連絡先: 〒036-8561 青森県弘前市文京町 3 番地 弘前大学大学院理工学研究科
小野俊郎, Tel:(0172)39-3948, Fax: (0172)39-3948, E-Mail: tono@cc.hirosaki-u.ac.jp

1. 序論

MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)加速度センサは自動車産業からゲームマシン、医療分野に至る様々な場でその応用が期待されており、高感度、広範囲な計測領域を確保した高性能デバイスの要求が高まっている。そこで、光学多層膜狭帯域バンドフィルタの原理を用いて、光のスペクトル波長の変化から加速度を検出する光共振器型 MEMS 加速度センサを検討した⁽¹⁾。透過型狭帯域バンドフィルタのキャビティ層を空洞とし、加速度によるキャビティ層厚みの変化を透過光波長で計測し、加速度を求める。本報では、透過分光型 MEMS 加速度センサの光学設計と、機械特性による構造評価、多層膜作製時の誤差が透過スペクトルに与える影響の考察を行った。

2. 狭帯域バンドフィルタ型 MEMS 加速度センサの構造

図 1 に透過型 MEMS 加速度センサの構造例を示す。本構造は、狭帯域フィルタとして利用されているファブリペロー共振器⁽²⁾を応用している。ファブリペロー共振器は、膜厚が $\lambda_0/4$ 光路長で積層したミラー層と、 $\lambda_0/2$ 光路長のキャビティ層によって構成される。設計波長 λ_0 において急峻で狭帯域の透過ピークを得ることができる。キャビティ層を空気とし、多層膜を自立メンブレン構造とすることで加速度によってメンブレンが変位し、キャビティ層厚みの変化を透過光波長の変化として検出できる。出力光は PLC(Planar Lightwave Circuit)⁽³⁾などの分光

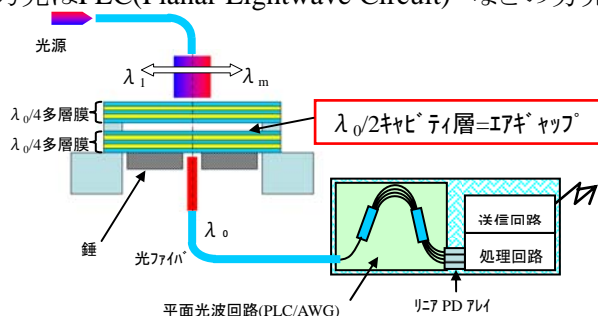


図 1. 透過型 MEMS 加速度センサの構造

回路によって個々の波長に対応した PD セル、CCD セルに導かれる。フィルタ光が十分狭帯域で、その波長変化が加速度に対して線型であれば、受光セルを認識することで演算なしに加速度を計測することができる。

3. 透過型多層膜フィルタの分光特性

キャビティ層を持つバンドフィルタの特性をシミュレーションにより求めた。光源光は強度、帯域、受光素子感度を考慮して中心波長を 550nm とした。図 2 に透過型狭帯域バンドフィルタの特性を示す。この構造は(入射側)Air/H/ミラー層(L,H)ⁿ/Air (cavity)275nm/ ミラー層(H,L)ⁿ/H/Air(射出側)である(H: $\lambda_0/4$ 高屈折率膜, L: $\lambda_0/4$ 低屈折率膜)。本構造では、ミラー層数を多く、またミラー多層膜の屈折率比が大きいほど狭帯域化に有利である。シミュレーションでは高屈折率膜に Ta₂O₅(n=2.15)、低屈折率膜に SiO₂(n=1.48)を用い、ミラーペア数を 14 ペアとした。図に示すように、FWHM=0.4nm と SN 比の高い狭帯域スペクトルが容易に得られる。また、図 3 にキャビティ層変位と透過の狭帯域スペクトル波長の関係を示す。キャビティ層変位に対応して、急峻なスペクトルのピークが短波長側へと移動している様子が分かる。計算結果から、キャビティ層変位とスペクトル波長 λ が線型関係をもつ範囲は、設計波長 550nm を中心に $\delta = \pm 60\text{nm}$ 、 $\Delta\lambda = \pm 49.4\text{nm}$ となった。

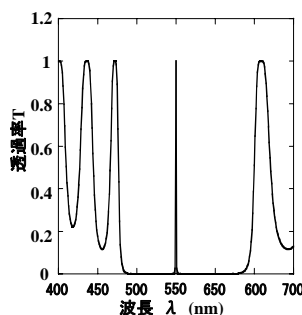


図 2. 透過型狭帯域バンドフィルタの特性

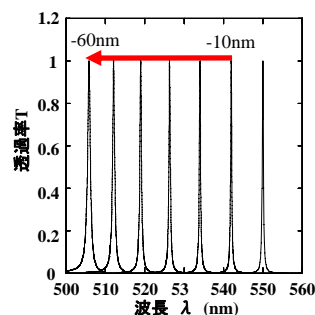


図 3. キャビティ層厚さとスペクトル光の関係

4. 機械特性の評価

加速度によるキャビティ層厚みの変化を検討した。人体行動センシングを目的に、最大加速度 50g に対するキャビティ層変位が線型スペクトル波長範囲と合致するように構造を決定する。2 対の自立ミラー層の一方にスペクトルを検出する微小孔を有する錘層を設けることで、変位を調整する。自立多層膜(H,L)層は計算上は同じ厚さのSi層として扱った。錘と自立膜に加速度が作用するとき、変位は等分布荷重の薄膜の撓み式で求めることができる⁽⁴⁾。

$$\omega = 0.014 \cdot \frac{\rho \cdot (\kappa \cdot g) \cdot a^4}{E \cdot h^2} \dots (1)$$

$$\omega = 1.01 \cdot a \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho \cdot (\kappa \cdot g) \cdot a}{E}} \dots (2)$$

ここで ω : 撓み量、 a : メンブレン寸法、 E : ヤング率 (Si:160Gpa)、 h : メンブレンの膜厚(1.16 μ m)、 ρ : メンブレンの密度(Si=2330kg/m³)、 g : 重力加速度、 κ : 定数である。(1)式は小撓みの式、(2)式は大撓みの式である。(1)式、(2)式を連立させて撓みを求めると撓みの交点はメンブレン寸法によらず等しい値となる。この交点の撓みを小撓みと大撓みの境界の撓み ω_0 とする。境界の撓みと膜厚 h の比 ω_0/h を求めると、 $\omega_0/h=1.48$ という定数が得られる。この定数と実際のメンブレンの ω/h の大小関係から、撓み式を選定する。メンブレン寸法 $a=2.0$ mm のとき、加速度 50g でメンブレンの撓み差 $\Delta\omega=60$ nm となる

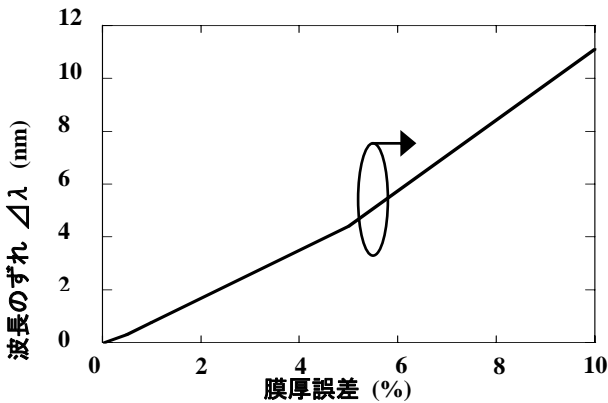


図 4.膜厚誤差と波長のずれの関係

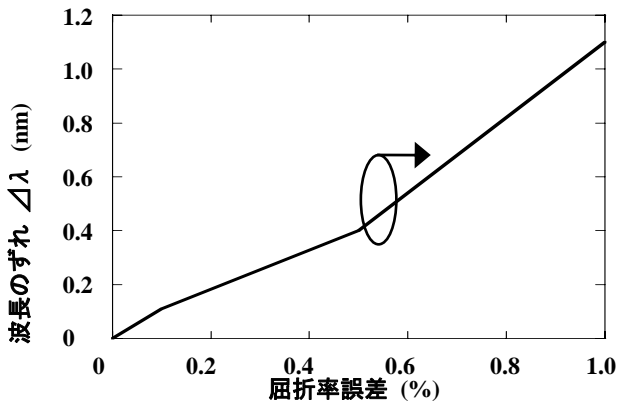


図 5.屈折率誤差と波長のずれの関係

錘の厚みは計算から 31nm となる。この条件での最大撓みとメンブレンの膜厚の比 $\omega_{MAX}/h=0.97$ は、境界の撓みの定数 $\omega_0/h=1.48$ より小さいため撓み ω と加速度の関係は小撓みの式に従う。ことからメンブレンの撓みと加速度の関係は線型性を持つことがわかる。

5. 膜厚誤差が透過スペクトルに与える影響

成膜プロセスでは、ECR(Electron Cyclotron Resonance:ECR)スパッタ法を用いる。 $\lambda/4$ 光路長が設計値に対し誤差がある場合の透過スペクトルに与える影響を検討した。図4に膜厚誤差と波長のずれの関係を示す。計算結果から膜厚誤差に比例して波長のずれは大きくなる。通常想定される膜厚誤差 5% 以上では波長のずれが大きいが、膜厚誤差 0.5% 程度とすれば $\Delta\lambda=0.3$ nm となり、許容範囲となることが推定される。図 5 に屈折率誤差と波長のずれの関係を示す。この場合も同様に屈折率誤差に比例して波長のずれが大きくなる。ECR スパッタにおける屈折率の再現性は、誤差範囲 0.1% 以下で可能である。計算結果では屈折率誤差 0.1% で $\Delta\lambda=0.11$ nm となっている。多層膜形成に ECR スパッタを用いる場合には、屈折率誤差が透過スペクトル波長に与える影響は非常に小さいことが分かった。

6. 結言

ファブリペロー型の共振器を応用した新規の構造のMEMS加速度センサを検討した。共振器を空洞(Air)とすることで、加速度に対し線型な関係で透過スペクトルを計測できる。機械的評価では、膜厚 h と最大変位 ω_{MAX} の関係から撓みの状態について検討し、加速度とメンブレンの撓みが線型な関係を持つための条件を明らかにした。これによりスペクトル波長、キャビティ層厚み、加速度が互いに線型性を持つことが分かった。また、誤差が透過スペクトルに与える影響を検討した結果、膜厚誤差に関しては 0.5% 以下、屈折率誤差に関しては 0.1% 以下の範囲で制御することにより、デバイスの較正が不要で、高度な演算回路を必要としないシンプルで高性能なMEMS加速度センサ構造化の可能性を見出した。

参考文献

- (1)溝延大和,分光型 MEMS 加速度センサの構造化, 第 68 回応用物理学学会学術講演会,北海道工業大学,平成 19 年 9 月 7 日
- (2)吉田貞史 矢嶋弘義,薄膜・光デバイス,東京大学出版会
- (3)作花済夫, ガラス科学の基礎と応用, 内田老鶴圃
- (4)S・P・チモシェンコ,板とシェル理論,ブレイン図書出版株式会社