

多層薄膜／電極／圧電基板構造の弾性境界波の解析と実験

New Piezoelectric Acoustic Boundary Waves in the Structure of Multi-Layer Thin Films/Electrode/Piezoelectric Substrates

佐藤悠介[‡] 山之内和彦 (東北工業大学)Yusuke Satoh[‡] Kazuhiko Yamanouchi (Tohoku Institute of Technology)

Abstracts: The propagation characteristics and TCF (Temperature Coefficients of Frequency) Characteristics of Boundary Waves which concentrate the acoustic energy in the interface between the metal electrode and piezoelectric substrate using the structure of Multi-Thin Film Layers/Metal Electrode/Piezoelectric Substrates are described. The new boundary waves are obtained by using higher velocity materials than internal ones as the top surface thin film of multi-layer. We used the materials of structures of AlN, Al₂O₃/SiO₂/Al, Cu, Ag, Au/Rotated Y-X LiNbO₃ and LiTaO₃. The range of existence of boundary wave for thicknesses of thin films, electrodes on Y-X LiNbO₃ and TCF are shown. Experimental results show the good frequency response of admittance at 500MHz-range.

1. はじめに

圧電性基板上にすだれ状電極を設けた弾性表面波デバイスは、テレビの中間周波数帯のフィルタ、移動体通信用のフィルタ、信号源、信号処理デバイスなど広く実用化されている。

この弾性表面波を基板内部にエネルギーを閉じ込めた弾性境界波とすることにより、パッケージを必要としない機能素子[1]が可能となる。弾性境界波を解析した最初の研究論文として、R. Stoneleyの論文[2]がある。また、接着層を必要としない、実用化の可能な圧電基板上に薄膜を設けた弾性境界波の解析と実験が世界に魁て山之内ら[1]により発表されている。近年、Y-X LiNbO₃基板圧電基板[3]表面に金電極を用いた、誘電体薄膜として一層を用いた、SiO₂/金電極/Y-X LiNbO₃ 構造の境界波が門田ら[4]により報告されている。この場合、密度が大きくかつ伝搬速度の小さい、厚い膜厚の金電極を用いる必要があり、金電極による伝搬損失が大きいため、共振器フィルタとしては、肩特性の良好なフィルタ特性は得られず、また、挿入損失も全体で約 2.0dBとやや大きめの値となっている。また、金電極へのエネルギーの集中が大きいため周波数温度特性(TCF)もSiO₂膜による大きな改善は得られず、零TCFは得られない。

本論文は、多層誘電体薄膜/金属電極/圧電性基板構造とし、最上部の誘電体薄膜を伝搬速度の大きな薄膜とすることにより、基板上の金属電極として、伝搬速度が大きく、伝搬損失の小さい、薄い膜厚の Al, Cu などを用いた、最上部表面の変位が零で、かつ殆どのエネルギーが圧電基板表面に集中した境界波の伝搬特性・周波数温度特性を解析すると共に、実験結果について述べる。

1. 境界波の解析

Fig. 1 のような圧電基板上に金属電極・2 層以上の誘電体薄膜を設けた構造の基板について考える。弾性境界波の解析は、伝搬減衰を含む擬似弾性表面波の特徴を有しているので、山之内らの方法[3]を用い、伝搬特性、周波数温度特性(TCF)を解析した。電気機械結合係数 k^2 と TCF は、以下の式から得られる。

yamasaw@tohotech.ac.jp

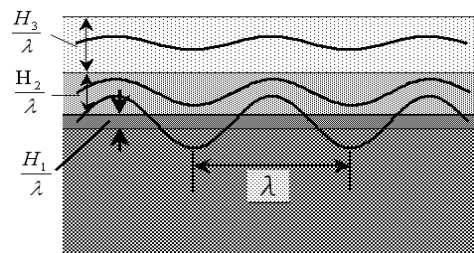


Fig. 1 Structure of Boundary Wave

$k^2 = 2(v_f - v_m)/v_f$, $TCF = (v_{25} - v_{20})/v_{25} - \alpha$,
ここで、 v_f , v_m : 表面自由及び短絡の速度、 v_{25} , v_{20} : 25 °C, 20 °C の速度、 α : 線膨張係数である。

2. 弾性境界波の伝搬特性及び TCF のシミュレーション

Fig. 1 の構造の基板として、回転 Y-X LiNbO₃[3], 回転 Y-X LiTaO₃[5]、電極として Al, Cu, Au, Ag 金属薄膜、上部薄膜として SiO₂ 最上部の薄膜として、AlN, Al₂O₃ について解析を行った。Fig. 2 は、AlN/SiO₂/Cu/Y-X LiNbO₃ の

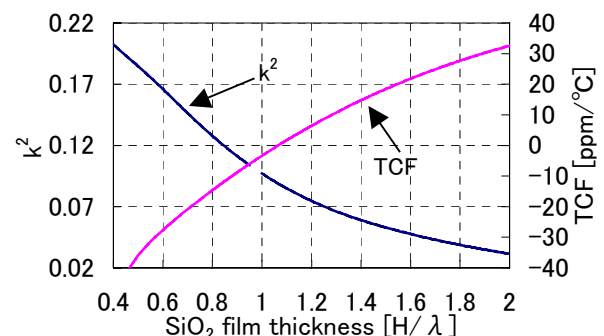
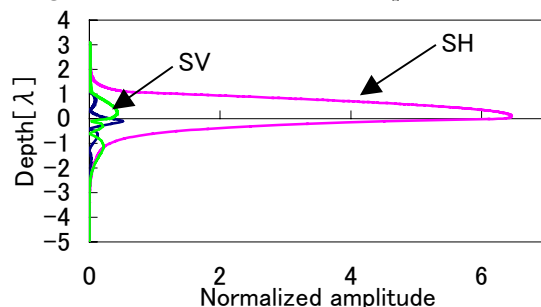
Fig. 2 k^2 and TCF of AlN/SiO₂/Cu/Y-X LiNbO₃

Fig. 3 Displacements of Boundary Wave

シミュレーション結果である。境界波の波長を λ 、電極の膜厚を H_1 、 SiO_2 の膜厚を H_2 、 AlN の膜厚を H_3 として、 Cu 膜厚を $H_1/\lambda=0.02$ 、 AlN 膜厚を $H_3/\lambda=2.0$ とした場合の SiO_2 膜厚に対する境界波になる SiO_2 膜厚、及び境界波の k^2 、TCFの値を示す。

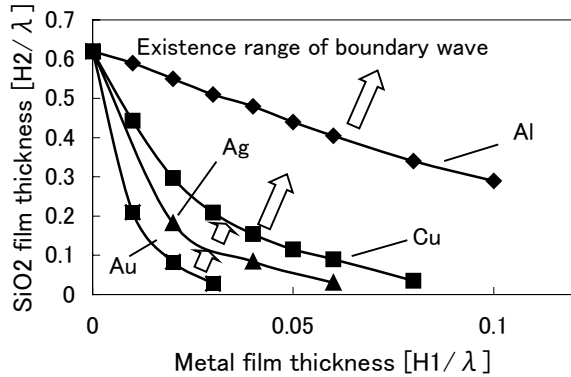


Fig. 4 Existence range of boundary wave for various electrodes

Fig. から SiO_2 膜厚 $H_2/\lambda=0.4$ 以上で境界波となること、また、零TCFでの SiO_2 膜厚は $H_2/\lambda=1.05$ 、またその時の k^2 は、約0.09となることが判る。この場合の変位分布をFig. 3に示す。Fig. から主な変位はSH成分であり、圧電基板表面の変位の大きな境界波であることが判る。

Fig. 4に種々の金属膜をパラメータとした、 AlN 膜厚 $H_3/\lambda=2.0$ の場合の金属膜厚 H_1/λ と SiO_2 膜厚 H_2/λ に対する境界波の存在範囲を示す。 Al の場合は、 Al 膜厚 $H_1/\lambda=0.05$ の場合は、 SiO_2 膜厚 $H_2/\lambda=0.6$ 以上が必要であることが判る。また、金属膜厚 $H_1/\lambda=0.03$ の種々の金属に対する、 $H_3/\lambda=2.0$ での SiO_2 膜厚 H_2/λ に対するTCFの値をFig. 5に示す。Fig. から、 Cu 電極では、 $H_2/\lambda=1.1$ で零TCFが得られること、また Au 電極では、零TCFは得られないことが判る。

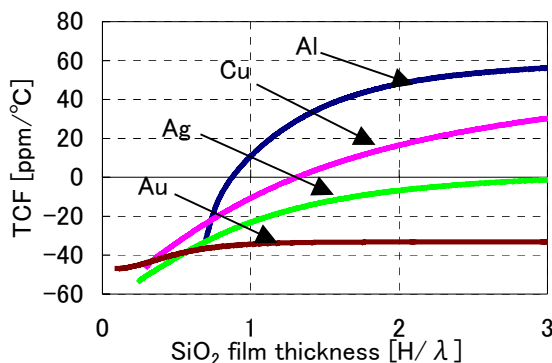


Fig. 5 TCF vs SiO_2 film thickness as a parameters with electrodes.

3. $\text{AlN}/\text{SiO}_2/\text{Cu}/\text{Y-X LiNbO}_3$ 基板を用いた境界波の実験結果

Fig. 1の構造の基板を用いた境界波の実験結果について述べる。基板は、 Y-X LiNbO_3 、電極は膜厚 $H_1/\lambda=0.04$ の Cu 、一層目の SiO_2 誘電体薄

膜の膜厚 $H_2/\lambda=0.225$ 、 $N=60$ の共振器の共振周波数で求めた、 AlN の膜厚 H_3/λ に対する共振周波数変化をFig. 6に示す。Fig. から、 $\text{AlN}=0.5$ 以上では、速度は殆ど変化せず、境界波になっていることが判る。この時の周波数に対するアドミタンス特性をFig. 7に示す。Fig. からスプリアス成分（カット角により除去可能）が見られるものの良好なアドミタンス特性が得られていることが判る。

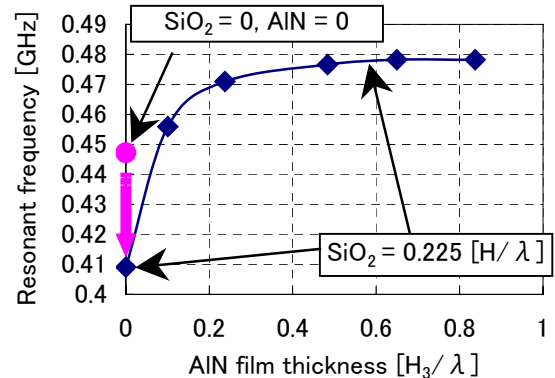


Fig. 6 Experimental resonant frequency change vs AlN thickness, Cu thickness: $H_1/\lambda=0.04$, SiO_2 thickness: $H_2/\lambda=0.225$

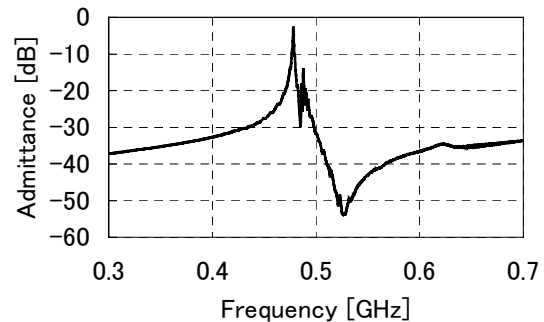


Fig. 7 Experimental admittance characteristics of boundary wave resonator, Cu thickness: $H_1/\lambda=0.04$, SiO_2 thickness: $H_2/\lambda=0.225$, AlN thickness: $H_3/\lambda=0.84$

結言: 以上、 SiO_2 薄膜表面に SiO_2 より大きな横波速度をもつ誘電体薄膜、ここでは AlN 薄膜を付着させることにより、電極として Al , Cu を用いた、圧電基板境界にエネルギーを閉じ込めた境界波が伝搬することを解析と実験で明らかにした。今後は種々の圧電基板と電極、薄膜を組み合わせた境界波の実験を進め、実用に耐える基板を研究開発する予定である。

文献

- [1] K. Yamanouchi, K. Iwahashi and K. Shibayama, IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-25, No. 6, 1978, pp. 384-389.
- [2] R. Stoneley: R. Soc. Proc. London Ser. A., 106 (1924) 416
- [3] K. Yamanouchi and K. Shibayama, J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 3, March 1972, pp. 856-862
- [4] H. Kando, et al., 2006 IEEE Ultrasonics Symposium Proc., pp. 188-191
- [5] 岩橋、山之内、柴山, 電通学会超音波研究会資料, US77-43, 1977年9月, pp. 37-42