

## 高結合 ZnO/水晶構造デバイスにおける温度特性改良

The improvement of temperature characteristics for highly coupled ZnO/Quartz structure

村田崇基<sup>1,2\*</sup>, 門田道雄<sup>1</sup>, 松田賢二<sup>1</sup>, 木村哲也<sup>1</sup>, 橋本研也<sup>2</sup> (<sup>1</sup>村田製作所,  
<sup>2</sup>千葉大大学院 工)Takaki Murata<sup>1,2</sup>, Michio Kadota<sup>1</sup>, Kenji Matsuda<sup>1</sup>, Tetsuya Kimura<sup>1</sup>, and Ken-ya Hashimoto<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Murata  
Manufacturing Co., Ltd.; <sup>2</sup>Grad. School of Eng., Chiba Univ.)

Recent years, several applications require radio frequency filters which have narrow bandwidth with high attenuation. ZnO film/quartz structure has a good potential to satisfy those requirements. This paper shows the optimization of ZnO/quartz structure to obtain nearly zero temperature coefficient of frequency (TCF) with maximizing electro-mechanical coupling coefficient ( $k^2$ ). In the former papers which one of the authors reported about ZnO/quartz structure, nearly zero TCF with small electro-mechanical coupling coefficient, or maximized  $k^2$  with non-zero TCF was reported. However, both zero TCF and maximized  $k^2$  have not been simultaneously obtained. The authors estimate the optimized structure by calculation and confirm it by measurement also.

## 1. はじめに

近年、RF フィルタに求められる特性として高減衰で狭帯域な要求があるアプリケーションが出てきている。例えば、MediaFLO™ や Global Positioning System (GPS)などがそれに当たる。これらの要求を満たす電気機械結合係数 ( $k^2$ )が大きく温度特性がよい基板として負の周波数温度特性(TCF)を持つ ZnO 膜と正の TCF を持つ方位である、ST カット 35°X 伝搬や回転 27°Y 板 X 伝搬水晶を組み合わせた ZnO/AI 電極/水晶基板構造トランスバーサル SAW フィルタの報告が著者の 1 人等よりある<sup>(1)(2)(3)</sup>。その構造では TCF=0.4ppm/°C や 1.1ppm/°C が実現されているが、ZnO 膜厚が 0.15λ~0.3λ、 $k^2$ は 0.017 であり、Fig.1 で  $k^2$ が最大となる膜厚 0.45λ 近傍を使用していない。これは  $k^2$ より TCF を優先したためである。一方、ZnO 膜厚を厚くし  $k^2$ を優先したものとして、ZnO 膜/Au 電極/回転 32°YX 水晶構造を用いた共振子型フィルタで、ZnO 膜厚 0.38λ、TCF=4ppm/°C の報告があるが、TCF=0 を実現していない<sup>(4)</sup>。そこで今回は、共振子型フィルタあるいは共振子で、水晶の方位角を変更し、 $k^2$ を大きく取れる ZnO 膜厚で、さらに良好な TCF が得られるかどうか検討を行った。

## 2. 解析結果

TCF を改善するためには、前報より+TCF の大きいカット角の水晶を用いる必要があり、そのためには 32°より浅いカット角の水晶を必要とする<sup>(5)</sup>。入手可能な水晶で TCF を計算した。前報(4)では AI 電極の代わりに反射係数の大きくとれる Au 電極及びメタライゼーション比 0.3 を用いて共振子フィルタを構成している。FEM

を考慮し計算した。計算したメタライゼーション比は 0.3 である。この構造ではグレーティング開放時と短絡時のストップバンドの上端同士が一致する。そのためグレーティング開放時と短絡時の下端がそれぞれ IDT 共振子の反共振周波数  $f_a$  と共振周波数  $f_r$  に相当する。TCF は 25°C と 35°C の  $f_a$ 、 $f_r$  より計算した。Fig.2 と 3 に各種カット角の水晶を用いたときの  $f_a$  と  $f_r$  の TCF の ZnO 膜厚依存性を示す。

比較のために Campbell & Jones の手法<sup>(6)</sup>で計算した電極開放時の結果を Fig.4 に示す。FEM の  $f_a$  と比較し、大差はない。Fig.4 中に示された ZnO/Au 電極/32°YX 水晶共振子フィルタの中心周波数の 25~85°C における TCF の実測値と計算値に差があるが、計算に用いた ZnO 単結晶の定数の値と、実測の ZnO 薄膜の定数の違いであると考えられる。

Fig.2~4 より、どの ZnO 膜厚で水晶の方位角を浅くすることにより TCF が改善されるのかがわかる。Fig.4 に示すように実測とのずれを考慮すれば ZnO 膜厚が厚い場合でも TCF を零近傍にもっていくことが可能であると予測できる。

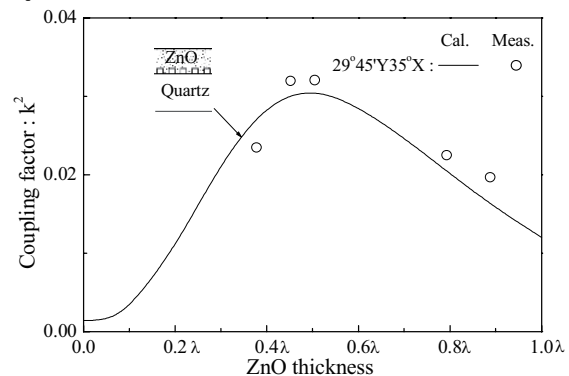


Fig.1 Electromechanical coupling factor of ZnO/quartz as function of ZnO thickness.

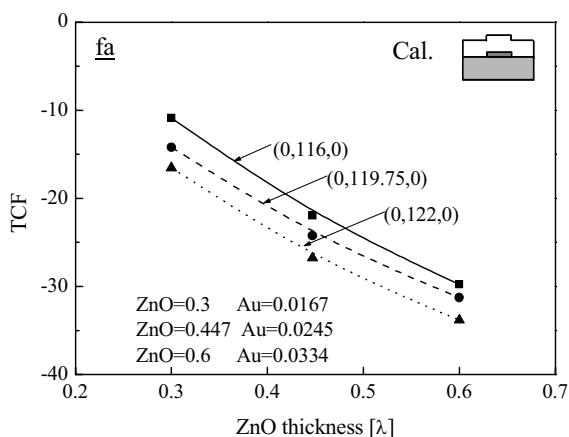


Fig.2 Calculation result for TCF of ZnO/Au/quartz with several ZnO thickness and various rotated quartz (open grating).

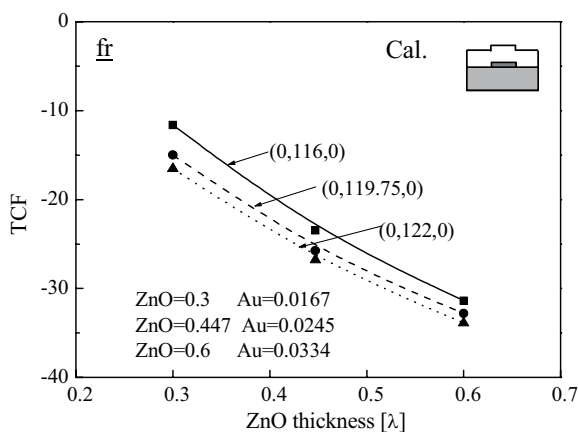


Fig.3 Calculation result for TCF of ZnO/Au/quartz with several ZnO thickness and various rotated quartz (short grating).

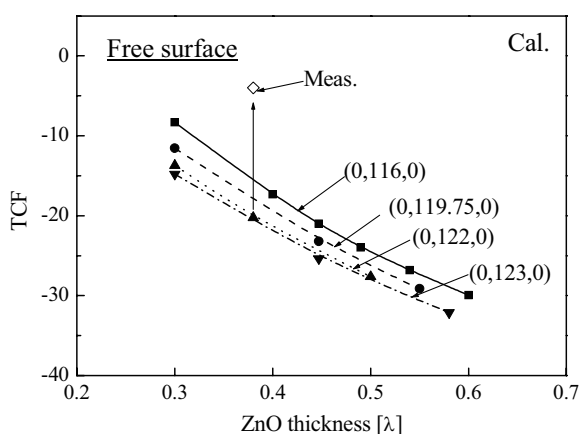


Fig.4 Comparison data of calculation and measurement results for TCF of ZnO/Au/quartz.

### 3. 試作結果

回転 29°45'Y 板と 32°Y 板 X 伝搬の 2 種の水晶基板を用い、ZnO/Au/水晶構造の 1port 共振子

を試作し、温度特性を測定した。その結果を Fig.5 に示す。このときの ZnO 膜厚は 0.48λ、Au 電極膜厚 0.027λ、メタライゼーション比 0.3、交叉幅 15λ、λ=3.69μm である。

前報に比べ、さらに厚い ZnO 膜厚の 0.48λ で fr の TCF=-1.00ppm/°C、fa の TCF=-1.25ppm/°C が得られた。一方、同じ ZnO 膜で 29°45'YX 水晶では、fr=+2.73ppm、fa=+1.98ppm/°C が得られた。実測値は Fig.2~4 の計算値とはずれがあるが、上述のように ZnO 膜の定数に原因があると思われる。32°YX 水晶で負の TCF が、29°45'YX 水晶で正の TCF が得られたことから、その中間の方位角の水晶を用いることにより、TCF=0 が実現できると考える。

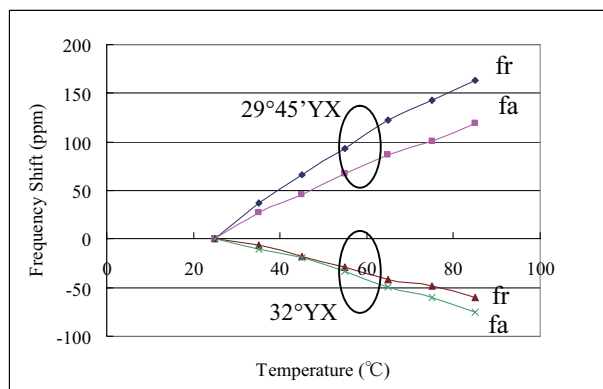


Fig.5 Measurement results for frequency shift of ZnO/Au/Quartz one port resonator

### 4. むすび

ZnO/Au/水晶構造において、より大きい  $k^2$  が得られる ZnO 膜厚でも水晶のカット角を最適化することにより、TCF をゼロに出来ることを計算および実測にて確認できた。今後は引き続き実使用を想定したフィルタ構造にて再現性を確認する実験を進めていく予定である。

### 引用文献

- (1) M. Kadota: Jpn. J. Appl. Phys. **36**, (1997) 3076.
- (2) M. Kadota, H. Kando: Jpn. J. Appl. Phys. **42** (2003) 3139.
- (3) M. Kadota, H. Kando: IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control **51** (2004) 464.
- (4) M. Kadota, T. Nakao, K. Matsuda, T. Murata: Jpn. J. Appl. Phys. **48** (2008) 07GG03.
- (5) 弾性波素子技術ハンドブック(1991)オーム社, 158.
- (6) J. J. Campbell and W. R. Jones: IEEE Trans., SU-15, 4 (1968) 208.