

IDT の方位と膜厚最適化によるボール SAW 素子の高度化

Improvement of Ball Surface Acoustic Wave Device with Orientation and Thickness Optimization of Interdigital Electrode.

柳沢恭行^{1,2,3†}, 大木恒郎^{1,3}, 赤尾慎吾^{1,2,3}, 中曾教尊^{1,3}, 小原良和^{2,3},
山中一司^{2,3}(¹凸版印刷; ²東北大 工, ³JST,CREST)
Takayuki Yanagisawa^{1,2,3}, Tsuneo Ohgi^{1,3}, Shingo Akao^{1,2,3}, Noritaka Nakaso^{1,2,3}, Yoshikazu Ohara^{2,3},
Kazushi Yamanaka^{2,3} (¹TOPPAN PRINTING CO.,LTD., ²Facult. Eng., Tohoku Univ., ³JST.CREST)

We developed an orientation controlled ball surface acoustic wave (SAW) device with an interdigital transducer (IDT) fabricated at each orientation on the meander belt of the quartz ball and the similar orientation of the langasite ball which has the similar crystal structure to quartz ball. In langasite ball, it was suggested that the SAWs propagated on the meander pattern, too. Ball SAW device is susceptible to the mass loading effect, because multiple roundtrips of the SAW. There we fabricated ball SAW devices with an IDT at the similar orientation of the quartz ball by varying the thickness of Cr, and confirmed the attenuation characteristic affected by the mass loading of the IDT. In the quartz device of 100 nm IDT thickness, Q factor was 35655 at 148MHz.

1. 緒言

球上において弾性表面波(SAW)が無回折伝搬して多重周回する現象を発見し[1]、圧電単結晶の球上にIDTを形成することで、SAWを効率よく励振するball SAW素子が開発された[2]。水晶球とランガサイト球でSAWが周回する周回経路としてはZ軸シリンダー上の経路などが発見された[2]。Z軸シリンダー上では電気機械結合定数やSAW音速、power flow angle (PFA)が周期的に変動しており、IDT形成位置によってSAWの伝搬特性が異なるため、方位を同定して最適な位置にIDTを形成する必要がある。そこで、方位制御装置 (orientation control apparatus, OCA)が開発され、平面IDTを水晶球に接近制御してSAWを測定し、水晶球の異方性による理論的な特性と比較して、-Y軸等価方位が同定された[3]。Z軸シリンダー上の方位を同定する方法[4]に基づいて、凹面IDTを用いて、多重周回するSAWが指数関数的に減衰する方位が確認された[5]。さらに、多重周回するSAWが指数関数的に減衰する方位がZ軸シリンダーに沿って120度周期で蛇行帯状に分布していることが確認され[6]、蛇行帯とZ軸シリンダーが交差する位置にIDTを形成した素子では、SAWが蛇行帯上の経路を伝搬していることが確認された[7]。

今回は、水晶球において、蛇行帯が赤道と交差する方位と、蛇行帯が赤道から緯度方向に最も離れる方位にIDTを形成した素子を作製し、伝搬特性を求めた。

2. 方位制御素子作製

圧電体結晶である水晶球とランガサイト球の所定の方位にIDTを形成して、方位制御素子を作製した。水晶球とランガサイト球の直径は3.3mmであり、

IDTの対数は10対でZ軸シリンダーの平均音速位置において150MHzのSAWが励起されるピッチとした。Fig.1に水晶球及びランガサイト球において、IDTを形成した方位を示す。水晶球において蛇行帯はZ軸シリンダーにおいて-X軸方位で赤道と交差し、-Y軸方位で赤道から緯度方向に最も離れ、そのときの緯度 ψ は ± 2.2 度となる[6]。OCAを用いて水晶球Z軸シリンダー上の方位を同定し、今回、ランガサイト球においても、水晶球と同様に非接触電極を接近させ、-Y軸等価方位を同定した。ランガサイト球では蛇行帯をまだ確認していないが、水晶球と同様の結晶構造とZ軸シリンダーに沿ったSAWの経路を持つことから、水晶球と同様の方位、すなわちZ軸シリンダー上の-X軸方位と、Z軸シリンダー上で-Y軸方位から緯度方向に2.2度隔たった方位にIDTを形成し、方位制御素子を作製した。IDTの材質はクロムとして、水晶球ではIDT膜厚が100nmと150nm、ランガサイト球ではIDT膜厚が100nmの素子を作製した。

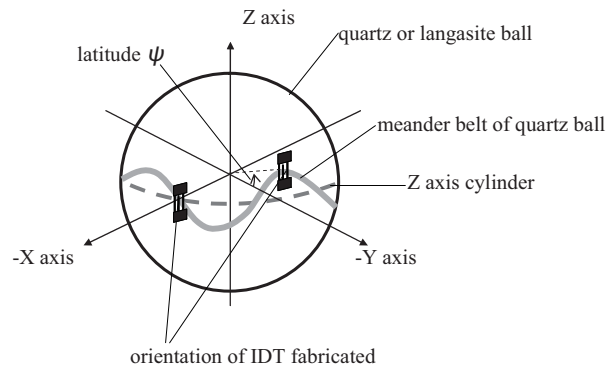


Fig. 1 orientation of IDT on quartz and langasite ball

3. 結果と考察

水晶球、ランガサイト球において、IDTの膜厚を

100nm として、水晶球での蛇行帯上で、経度が-X 軸方位と-Y 軸方位に相当する方位に、IDT を形成した方位制御素子での伝搬特性を求めた。インパルス応答波形を測定して直交検波し、波形の信号強度を求めた。各方位制御素子の出力波形を Fig.2 に示す。また、Fig.2(b-2)の素子における 100 周目の拡大波形の例とそのパワースペクトルを Fig.3 に示す。高い周回でも明瞭な波形が得られ、センサとして極めて有用であることが示唆される。

Fig.2 において、多重周回する SAW の強度は各素子でほぼ指数関数的に減衰している。指数関数との一致度を示す R^2 を、40 周までの周回信号のピーク強度から求めた。水晶球の素子である (a-1) で $R^2=0.984$ 、(a-2) で $R^2=0.988$ 、ランガサイト球の素子である (b-1) で $R^2=0.978$ 、(b-2) で $R^2=0.956$ となった。水晶球ではよく指数関数的に減衰しているものの、ランガサイト球では、経度が-Y 軸方位で緯度方向に 2.2 度回転した方位である (b-2) では、やや指数関数的な減衰から乱れが生じている。この原因として、IDT の方位誤差である可能性もあるが、ランガサイト球では、水晶球での蛇行帯と、指数関数的に減衰する方位の特性が異なる可能性も考えられる。

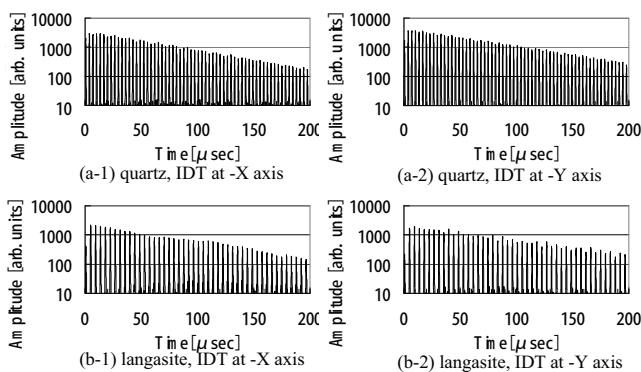


Fig. 2 Waveform in quartz and langasite device (IDT thickness 100nm)

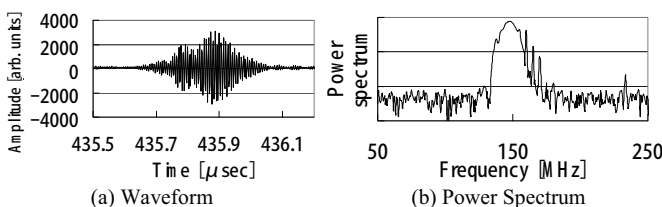


Fig. 3 Example of waveform and power spectrum at 100th turn

IDT の膜厚を 150nm として、水晶球の蛇行帯上で経度が-X 軸方位と-Y 軸方位に IDT を形成した方位制御素子の波形を Fig.4 に示す。同一の方位に IDT を形成した Fig.2(a-1)、(a-2)と比較して、Fig.4 では減衰が大きい傾向が認められる。強度が $1/e$ となる

減衰時間 τ と、各素子の中心周波数 f から、 Q 値 ($=\pi f \tau$) を求めると、Fig.2(a)で $Q=33599$ 、Fig.2(b)で $Q=35655$ 、Fig.4(a)で $Q=27803$ 、Fig.4(b)で $Q=31083$ となった。いずれの方位でも Q 値は膜厚が薄い Fig.2 の波形で大きかった。また、同一の IDT 膜厚の場合、今回は-Y 軸方位で Q 値が大きかった。

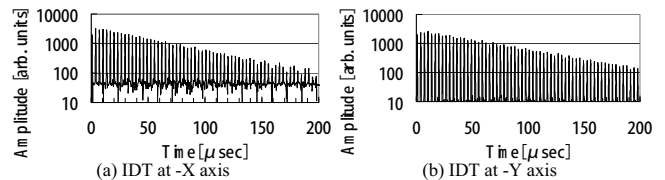


Fig. 4 Waveform in quartz device (IDT thickness 150nm)

4. まとめ

水晶球において各周回波形がほぼ指数関数的な減衰となることが確認され、非接触の凹面電極での結果と一致した。また、ランガサイト球においても、水晶球とほぼ同様に指数関数的な減衰が得られた。さらに、水晶球において同一の方位で、IDT の膜厚を変化させて素子を作製し、 Q 値を比較した。いずれの方位でも、膜厚を薄くした素子のほうが Q 値が高くなった。IDT の材質をクロムとして膜厚が 100nm の水晶球の素子において 148MHz で 35655、ランガサイト球の素子において 148MHz で 34115 の高い Q 値が得られた。今後、IDT の方位が Q 値に及ぼす影響を検討する予定である。

引用文献

1. K. Yamanaka, H. Cho, and Y. Tsukahara: Appl. Phys.Lett. 76, 2797 (2000)
2. N. Nakaso Y.Tshukahara, S. Ishikawa and K. Yamanaka: Proc. 2002 IEEE Ultrason. Symp. 47.
3. S. Kai, K. Ote, T. Mihara, T. Ohgi, N Nakaso, I. Satoh, T. Fukiura, H. Tanaka, K. Yamanaka: Jpn. J. Apply. Phys. Vol. 46, No. 7B, 2007, pp. 4723-4725
4. S. Kai, K. Ote, T. Mihara, T. Ohgi, N. Nakaso, I. Satoh, T. Fukiura, H. Tanaka, and K. Yamanaka: Jpn. J. Appl. Phys. 46, No. 7B, (2007), 4723
5. K. Ote, T. Yanagisawa, S. Akao, N. Nakaso, and K. Yamanaka: Technical Report of IEICE US2007-46, (2007), 19-46 [in Japanese]
6. T. Yanagisawa, K. Ote, T. Ohgi, N. Nakaso, and K. Yamanaka Jpn. J. Appl. Phys.47, No.7, (2008), 4081
7. T. Yanagisawa, T. Ohgi, N. Nakaso, and K. Yamanaka USE08 講演予稿集 (2008) 251