

ランガサイト基板を用いたSAWフィルタの開発

Development of SAW Filters on Langasite Substrate

谷津田 博美 後 藤 幹 博
 Hiromi Yatsuda Mikihiko Goto

Power flow angles (PFAs) on a langasite (LGS) substrate with Euler angles of $(0^\circ, 138.5^\circ, \psi)$, $\psi = 25.7$ to 27.7° are investigated for surface acoustic wave (SAW) filters using slanted finger interdigital transducer (SFIT) by an electrical and optical methods. In the electrical method, several tilted SFIT SAW filters with different tilt angles for $(0^\circ, 138.5^\circ, \psi)$ LGS substrates were designed, and the frequency responses of the filters were measured. In the optical method, the PFAs were directly measured by optical probing for a parallel interdigital transducer (IDT) with wide propagation area on the substrate. As a result, a good correlation between electrical and optical measurements of the PFAs is obtained, but the calculated PFAs are slightly different from the measured PFAs. A good frequency response of a tilted 380 MHz SFIT SAW filter with an appropriate tilt angle corresponding to the PFA on the substrate is obtained even though the aperture is small.

1. まえがき

SAWフィルタ用圧電基板として開発された48度回転Yカットのランガサイト (LGS) 基板は電気機械結合係数が水晶基板よりも大きく、温度特性が良好で回折劣化の少ない基板として注目されている⁽¹⁾。とりわけ回折劣化が少ないという特徴は斜め電極の欠点を補うことができる⁽²⁾ ことからLGS基板を用いた斜め電極指SAWフィルタとして開発が進められてきた。しかしながら、試作結果は予想通りの結果が得られず、大きな特性劣化が生じていた。今回、LGS基板上を伝搬する表面波伝搬の様子を光で可視化することでその特性劣化原因の1つがパワーフロー角 (PFA) のずれであることを解明した。そこで実験と解析を行い、最適PFAの検討を行なった。今回得られた最適PFAにてSAWフィルタを試作したところ性能が向上し、チップサイズも従来よりも小さくすることができた。本稿ではLGS基板におけるPFAの検討について報告し、最適PFAにて設計したW-CDMA用IF-SAWフィルタを紹介する。

2. 動作原理

2.1 斜め電極指SAWフィルタ

図1に斜め電極指SAWフィルタの概略図を示す。通常使用される電極指は平行だが、斜め電極指は表面波の伝搬方向と直交する方向で電極指のピッチが異なる構造をしている。SAWフィルタの電極指のピッチは波長であり、フィルタの中心周波数を決定する。斜め電極指ではピッチの広い部分では周波数の低い表面波が効率よく伝搬し、ピッチの狭い部分では周波数の高い表面波が効率よく伝搬するという特徴がある。

斜め電極指SAWフィルタは図1で示すような表面波の伝搬方向に平行な複数のチャンネルに分割して考えることがで

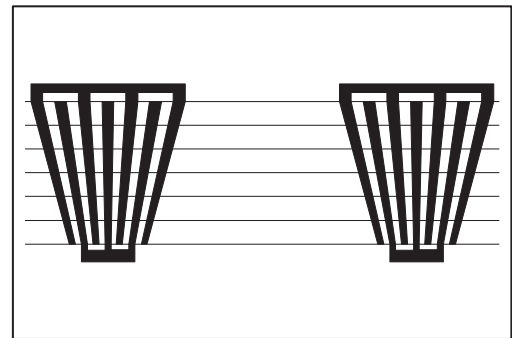


図1 斜め電極指SAWフィルタ概略図
 Fig1. SFIT SAW filter configuration.

きる。複数のチャンネルに分割することにより、各チャンネルは平行電極指として近似することができ、中心周波数の異なるフィルタの電氣的な並列接続として取り扱うことができる。よってシミュレーションも各チャンネル内では通常の平行電極指の等価回路をあてはめ、それを電氣的に並列接続することで、斜め電極指SAWフィルタの周波数特性を計算することができる⁽³⁾。

一方斜め電極指は、チャンネル分割を行なっていることから、励振に寄与する開口長は入力信号の周波数に対応した全開口長の一部のみになる⁽⁴⁾。よって通常の平行電極指の場合の開口長に比べて狭くなり、表面波の回折の影響を大きく受け、特性劣化が生じる問題がある。その為回折劣化に強いLGS基板が有効になる。

2.2 パワーフロー角について

電気信号を機械振動に変換する圧電体基板は伝搬する方向によって波の音速が異なる異方性媒体である。その為、図2に示すように波の位相速度の伝搬方向に対してエネルギーの伝搬方向が異なる性質を持つ。その異なる角度をパ

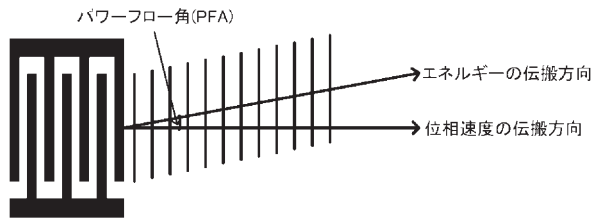


図2 PFA概念図
Fig.2 Power flow angle (PFA).

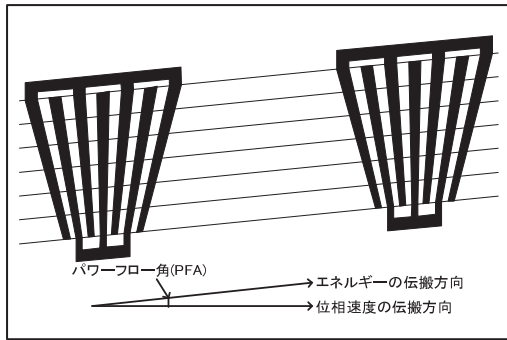


図3 PFAに対応した設計
Fig.3 Tilted SFIT SAW filter design.

ワーフロー角 (PFA) と呼ぶ。基板の伝搬方向 ψ における音速を $v(\psi)$ とすると PFA は式 (2.1) で示される。

$$PFA(\psi) = \tan^{-1} \left(\frac{1}{v(\psi)} \cdot \frac{\partial v(\psi)}{\partial \psi} \right) \quad (2.1)$$

SAWフィルタに用いられる圧電体基板の場合 PFA が 0° であることが望ましく、一般的には PFA $\neq 0$ で使用される。しかし、PFA は必ずしも 0° である必要はなく、図 3 のように SAWフィルタの電極を PFA に合わせてチルトさせて設計すれば特性上問題は無い。

3. 原因調査

48度回転 Y カット LGS (48Y-LGS) 基板にて斜め電極指 SAWフィルタを従来の PFA^{(5), (6)} を用いて設計試作を行った。LGS基板は開口長を狭くすることによる特性劣化が少ないことから、開口長を狭くしたところ予想よりも大きな特性劣化が生じた。この特性劣化の原因を調べるため、弾性波伝搬の様子を光で可視化して解析した⁽⁷⁾。図 4 に可視化した結果を示す。波の励振が図の白色部分で表示されている。ある一つの周波数のみを入力しているため一部のチャンネルのみが励振している。ここで、斜め電極の電極パターンの配置を図の白点線で示すと、PFAがずれていて波が同じチャンネルで送受できていないことが明らかになった。

4. 最適PFAの検討

特性劣化の原因はPFAのずれであることが予想されたので、最適値を求めることで特性改善が期待できる。式 (2.1) で示したとおり、PFAは伝搬方向により異なるため、幾つか

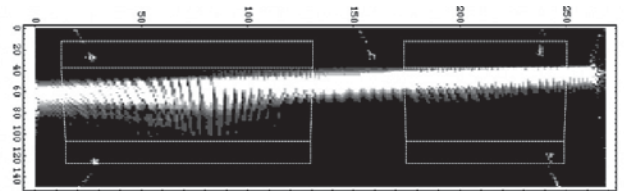
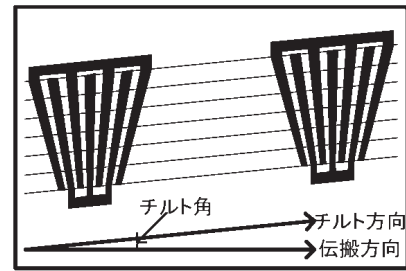
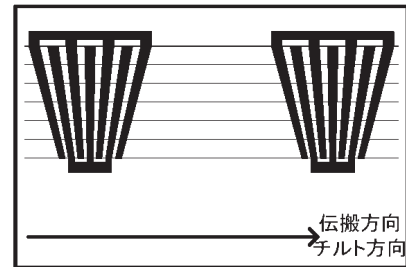


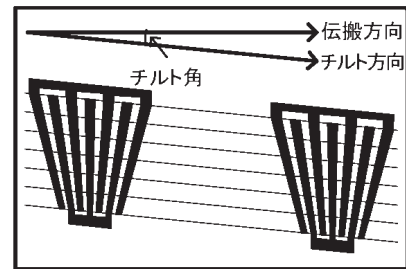
図4 光学的手法による測定結果
Fig.4 Measurement results of optical method.



(a) 正にチルトした場合



(b) チルト角が0の場合



(c) 負にチルトした場合

図5 電極をチルトさせた場合の概略図
Fig.5 Tilted SFIT SAW filter.

の伝搬方向で実験を行い、48Y-LGS基板の伝搬方向に対する PFA を調査した。実験は図 5 のように電極をチルトさせた斜め電極指 SAWフィルタを試作し、周波数特性結果の差から求める電気的手法と、伝搬の様子を光学的手法で可視化し、伝搬の様子から求める光学的手法の 2 つの方法で検討した。

4.1 電気特性からの検討

48Y-LGS基板において伝搬方向と電極のチルト角を変化させた斜め電極指 SAWフィルタを作製した。ここで、伝搬方向とは $(0^\circ, 138.5^\circ, \psi)$ で ψ は 3 番目のオイラー角のことを示し、電極のチルト角とは図 5 のように電極をチルトさせた時の角度を示す。

今回の実験では電極をチルトさせたことによる特性変化が顕著な結果になるように、開口長は通常の斜め電極 SAW

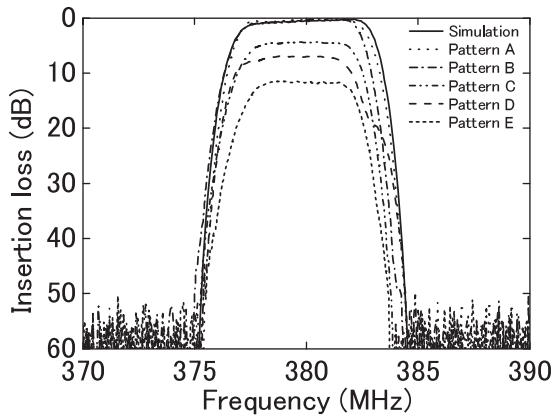


図6 周波数特性図

Fig.6 Frequency responses.

フィルタ⁽⁸⁾に比べ狭く設計している。

電極の周波数特性結果の一部を図6に示す。図6のパターンAからEは電極のチルト角を変更しており、損失はシミュレーション結果(設計値)との相対比較である。結果においてシミュレーション結果と比較すると、ある一定のチルト角において最もシミュレーションと近くなりその値から離れるに従って特性劣化が生じている傾向がわかった。これよりそれぞれの伝搬方向において最適なチルト角を検討することができる。また、このときの実験において従来のカタログ値からのPFAがずれていることを確認できた。

図6の実験結果について定量評価をすることで最適なチルト角を検討した。評価方法は各伝搬方向においてフィルタの時間応答の計算値と実験値の絶対誤差を積分し、その結果を誤差 Er としてプロットした。なお、 Er は式(4.1)で定義する。

$$Er = \int_{\tau-T/2}^{\tau+T/2} |h_m(t) - h_s(t)| dt \quad (4.1)$$

ここで、 $h_m(t)$ は実験値の時間応答、 $h_s(t)$ はシミュレーション値の時間応答、 τ は群遅延時間、 $T=(N+M)/f_0$ 、 N と M は入出力電極対数、 f_0 は中心周波数である。この Er をプロットした結果の例を図7に示す。図7のそれぞれの伝搬方向において2次の近似曲線を引き、その極小値を最適な電極の傾きであると評価した。また、この電気特性結果から求めた最適なチルト角は最適PFAであると考えている。

4.2 光学的手法からの検討

48Y-LGS基板の波の伝搬の様子を可視化し、その波の進行方向から最適PFAの検討を行なった。調査した伝搬方向は電気特性からの検討と同様であり、測定はレーザヘテロダイナミクス計⁽⁷⁾にて明星大学にて行なった。このときの電極は開口長の狭い平行電極指を用いている。可視化された波の伝搬方向はエネルギーの伝搬方向であるためそれと電極指に垂直な位相方向との差を求め最適PFAとした。

4.3 実験結果

電気特性から求めたPFA、光学的手法から求めたPFA、そ

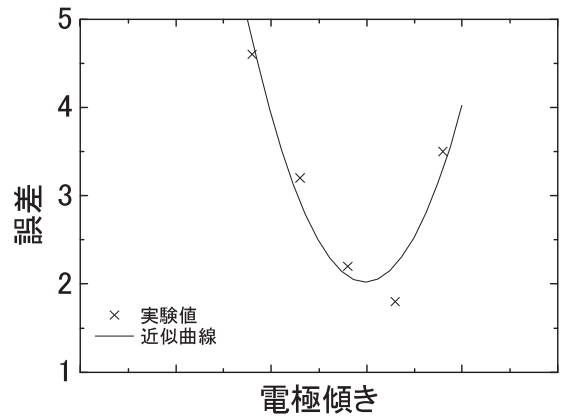


図7 チルト角における設計値との誤差

Fig.7 Error between simulation and measurement of impulse response.

れと従来使用されている材料定数^{(5), (6)}から求めた計算結果によるPFAを比較したところ、今回実験で得られたPFAの値は電気特性から求めたものと光学的手法から求めたものはよく一致しており従来の材料定数から求めた計算値とはずれていることが確認できた。

5. SAWフィルタへの応用

本設計手法を用いて380MHz帯のW-CDMA用IFフィルタを設計した。従来品との比較結果を図8に示す。最適なPFAを使用することで開口長を狭くしても特性劣化を招かず、帯域内の平坦性と肩特性がより設計値に近い結果が得られた。また、開口長を小さくしたことにより入出力電極の寄生インピーダンスを減らすことができた。これにより寄生インピーダンスが原因となる帯域外減衰量の悪化を防ぐことができ結果的には帯域外減衰量の改善に繋がった。

6. あとがき

本稿では48度回転YカットのLGS基板においてPFAを実験にて求めた。得られた最適PFAを用いて設計を行なうことで従来よりも最適で、性能の良い斜め電極指SAWフィルタを試作することができた。このLGS基板は1000度以上でも圧電性を維持する特徴も持ち、このことから高温下におけるセンサ用途でも使用されている。本研究成果を水平展開することでこれらセンサにおける性能向上と小型化も期待できる。

謝辞

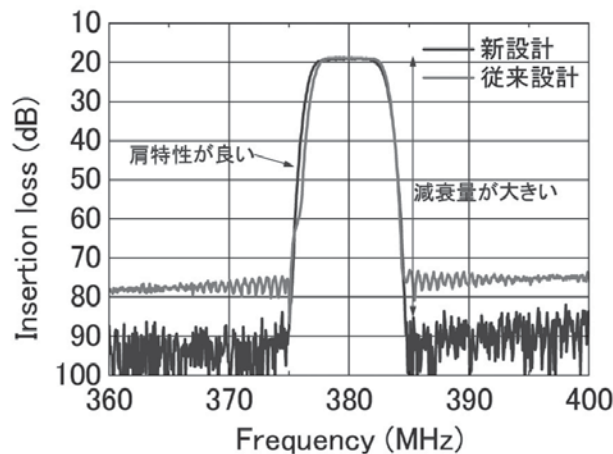
本件の光学的手法による測定は、明星大学工学部 千葉孝雄教授に多大なる協力を頂きました。深く感謝します。

参考文献

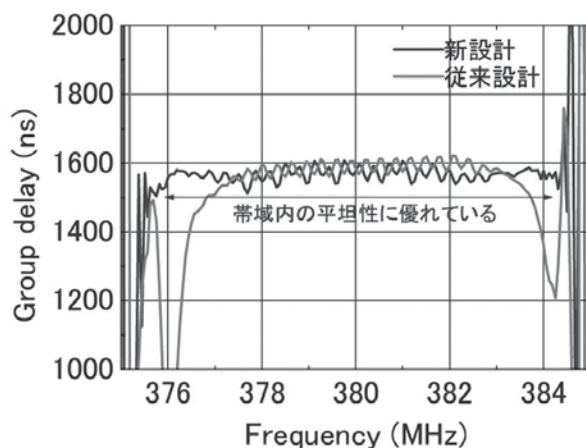
- (1) L. P. Solie and J. M. Bracewell: 2001 IEEE Ultrasonics Symp., p. 305.
- (2) B. P. Abbott and L. Solie: 2000 IEEE Ultrasonics Symp., p. 235.



(a) チップ形状



(b) 周波数特性



(c) 群遅延特性

図8 380MHz帯SAWフィルタの検討

Fig.8 380MHz SFIT SAW filter.

- (3) C. K. Campbell, Y. Ye, and J. J. Sferrazza Papa: IEEE Trans. Sonics & Ultrason. 29 (1982) 224.
- (4) H. Yatsuda, K. Noguchi, and K. Yamanouchi: Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) 3041.
- (5) A. Bungo, C. Jian, K. Yamaguchi, Y. Sagawa, S. Uda, and Y. P. Pisarevsky: Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) 3239.
- (6) S. Uda, A. Bungo, and C. Jian: Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) 5516.
- (7) T. Chiba: 2005 IEEE Ultrasonics Symp., p. 1584.
- (8) H. Yatsuda: 2000 IEEE Ultrasonics Symp., p. 173.

用語一覧

- PFA: Power Flow Angle (パワーフロー角)
- LGS: Langasite (ランガサイト $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$)
- SAW: Surface Acoustic Wave (弾性表面波)
- SFIT: Slanted Finger Interdigital transducer (斜め電極指電極)
- IDT: Interdigital Transducer (くし形電極)
- W-CDMA: Wideband Code Division Multiple Access (広帯域符号分割多元接続)
- IF: Intermediate Frequency (中間周波数)