

一般セッション(口頭講演) | 1 応用物理学一般: 1.6 超音波

2024年9月17日(火) 13:00 ~ 17:30 血 C43 (ホテル日航新潟 4F)

[17p-C43-1~17] 1.6 超音波

近藤 淳(静大)、鈴木 雅視(山梨大)

◆ 奨励賞エントリー

13:00 ~ 13:15

[17p-C43-1]

頸動脈波計測による動脈硬化スクリーニング手法の検討

○(M1C)池田 智哉¹、秋吉 恒輝¹、松川 真美¹ (1.同志社大理工)

◆ 奨励賞エントリー

13:15 ~ 13:30

[17p-C43-2]

人工血管中の動脈瘤モデル近傍での血流速度評価

○(M1C)秋吉 恒輝¹、池田 智哉¹、松川 真美¹ (1.同志社大理工)

◆ 奨励賞エントリー

13:30 ~ 13:45

[17p-C43-3]

100MHz帯の高強度超音波によって誘起される不均一屈折率場中の光伝搬解析

○(DC)原田 裕生¹、石河 睦生²、松川 真美¹、小山 大介¹ (1.同志社大理工、2.桐蔭横浜大医用工)

13:45 ~ 14:00

[17p-C43-4]

弾性波による液滴搬送の制御に関する検討

○(M2)長尾 匠真¹、近藤 淳¹ (1.静岡大)

◆ 奨励賞エントリー

14:00 ~ 14:15

[17p-C43-5]

小型ベクトルネットワークアナライザを用いた横波型弾性表面波センサの信号処理手法の検討

○柴田 慶一郎¹、近藤 淳¹ (1.静岡大)

14:15 ~ 14:30

[17p-C43-6]

レーザ超音波法とレーザ誘起ブレイクダウン分光法による物質推定技術の検討 (2)

○李 英根¹、北澤 聡¹ (1.日立研開)

◆ 奨励賞エントリー

14:30 ~ 14:45

[17p-C43-7]

高繰返しエキシマレーザ用吸音材の吸音率シミュレーションの開発

○小川 拓也¹、佐々木 陽一¹、田中 誠¹、堀 司¹、柿崎 弘司¹、山本 崇史² (1.ギガフォトン (株)、2.工学院大学)

14:45 ~ 15:00

[17p-C43-8]

圧電振動子のインピーダンス変化を利用した流速測定法

○呉 沢農¹、原田 裕生¹、小山 大介¹ (1.同志社大理工)

◆ 奨励賞エントリー

15:00 ~ 15:15

[17p-C43-9]

超音波パルスエコー法を用いたScAlN、AlN、ZnO膜の機械的 Q_m 値評価手法

○(M2)島野 耀康^{1,2}、柳谷 隆彦^{1,2} (1.早大先進理工、2.材料技術研究所)

15:30 ~ 15:45

[17p-C43-10]

直線集束ビーム超音波材料解析システムによるScAlN薄膜の評価

○大橋 雄二¹、櫛引 淳一¹、戸津 健太郎¹、花井 彩香²、勝又 彩馨²、柳谷 隆彦²、竹野 広晃³、伊東 孝洋³ (1.東北大、2.早稲田大、3.GEOMATEC)

◆ 奨励賞エントリー

15:45 ~ 16:00

[17p-C43-11]

ScAlNとSiAlNの積層による2層分極反転薄膜の形成とBAW特性評価

○(M2)福永 慶¹、鈴木 雅視¹、垣尾 省司¹ (1.山梨大学)

◆ 奨励賞エントリー

16:00 ~ 16:15

[17p-C43-12]

ScAlN薄膜を用いた分極反転多層構造SMRによる二重モード型BAWフィルタ(DMB)

○(M1)松村 桃佳^{1,2}、柴田 真之^{1,2}、柳谷 隆彦^{1,2} (1.早大先進理工、2.材料技術研究所)

◆ 奨励賞エントリー

16:15 ~ 16:30

[17p-C43-13]

RFスパッタリングにより成膜された一軸配向(K,Na)NbO₃膜の不活性層に関する検討

○(M2)中山 雄太¹、鈴木 雅視¹、垣尾 省司¹ (1.山梨大)

16:30 ~ 16:45

[17p-C43-14]

LiTaO₃薄板/低抵抗SiC構造におけるSH₁モード板波共振特性の解析

○渡邊 紀之¹、垣尾 省司¹ (1.山梨大)

◆ 奨励賞エントリー

16:45 ~ 17:00

[17p-C43-15]

LiNbO₃/SiO₂/SiC構造上の縦型漏洩弾性表面波特性の解析

○武居 諒¹、鈴木 雅視¹、垣尾 省司¹、山本 泰司² (1.山梨大、2.山本エイデック)

◆ 奨励賞エントリー

17:00 ~ 17:15

[17p-C43-16]

LiNbO₃/Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄接合構造上の縦型漏洩弾性表面波共振特性の解析

○(M1)小林 祐哉¹、鈴木 雅視¹、垣尾 省司¹、木村 悟利² (1.山梨大、2.Piezo Studio)

◆ 奨励賞エントリー

17:15 ~ 17:30

[17p-C43-17]

周期的空隙を有する圧電基板上の A_1 モードラム波共振特性の解析

○(M1)小林 駿平¹、鈴木 雅視¹、垣尾 省司¹ (1.山梨大)

頸動脈波計測による動脈硬化スクリーニング手法の検討

Screening techniques for arteriosclerosis by pulse waves at the carotid artery



同志社大理工, ^{○(MIC)}池田 智哉, 秋吉 恒輝, 松川 真美

Doshisha Univ., ^{○(MIC)} Tomoya Ikeda, Kouki Akiyoshi, Mami Matsukawa

E-mail: ctwk0308@mail4.doshisha.ac.jp

1. はじめに

脳動脈硬化症の早期発見のため、頸動脈波（血管内の圧力による皮膚表面の変位^[1]）に着目した。脈波計測のため安価かつ小型で、簡易なシステムを超音波センサを用いて開発した。脈波に含まれる脳からの反射波は年齢と相関があり、血管の硬さに応じて変化することが報告されている^[2]。つまり、年齢により脈波波形が変化する傾向を分析し、その特徴を把握できれば、異常な動脈硬化のスクリーニングができる可能性がある。ただし、脈波は動脈だけでなく、心臓から拍出される血流によっても変化する。そこで、本研究では年代ごとに頸動脈の脈波と血流波形の変化を検討し、加齢や動脈硬化に伴う脈波波形の特徴量抽出を目指す。

2. 測定方法

被験者は循環器疾患の既往歴がなく、高血圧剤を服用していない20代から60代の健常者46名である。仰臥位で安静にした後、左の総頸動脈波を圧電センサ(MA40E7R, Murata Corp.)を接触させて測定した。また超音波診断装置(LOGIQ-e, GE Healthcare Corp.)のドプラ機能を用いて血流速度波形も測定した。これらは同志社大学の倫理審査委員会の承認を得て行った。

3. 結果及び考察

図に20代と60代の波形を示す。両波形は若者と高齢者で大きく異なった。各波形は収縮期に第1、第2ピークが、拡張期に第3ピークが観測される。各ピークをガウスフィッティングしたところ、血流速度、脈波ともに第3ピークの変化は小さかったが、第2ピークは年齢と共に大きくなった。また、図のように高齢者の脈波では第2ピークのばらつきが大きい。各年代の平均波形との分散 σ^2 を求めたところ、血流速度波形の σ は20代、60代ともに小さく、これは心臓のポンプ機能に個人差が小さいことを示した。しかし、脈波の第2ピークは、脳動脈の末端からの反射波で血管硬さを反映し、特に60代で個人差が大きかった。このように脈波波形の特徴量を調べるこ

とにより、血管の硬化をスクリーニングできる可能性がある。今後は被験者数を増やし、新たな脈波、血流波形の特徴量を見出して、老化による動脈硬化の指標の確立を目指す。

Fig. 1 Waveforms (20s)

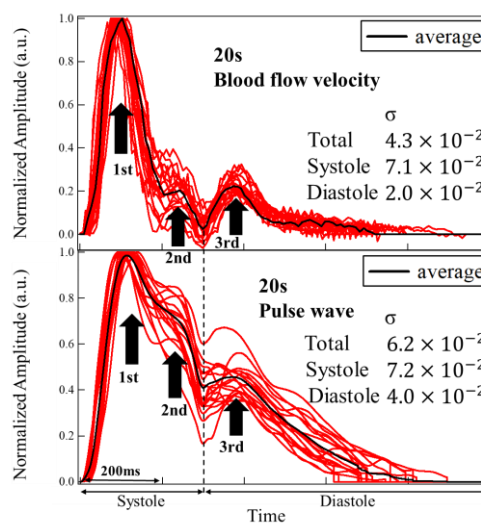
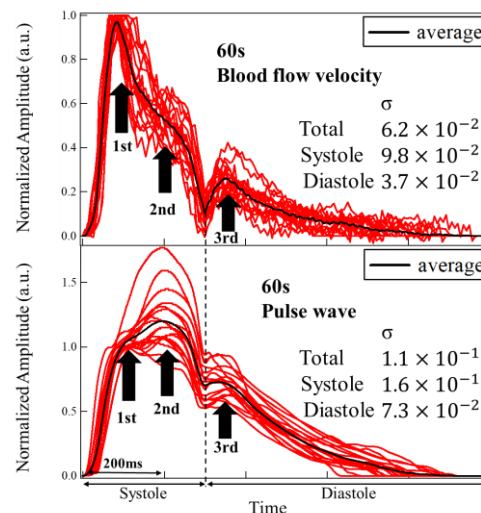


Fig. 2 Waveforms (60s)



参考文献

- [1] J.P. Murgu, et al.: JAHA 63, 105–116 (1980).
- [2] M. Saito et al.: IEEE TUFFC. 59 (2012) 2411.

人工血管中の動脈瘤モデル近傍での血流速度評価

Evaluation of flow near aneurysm at a cerebral artery model

同志社大理工, ^{○(M1C)}秋吉 恒輝, 池田 智哉, 松川 真美

Doshisha Univ., ^{○(M1C)} Koki Akiyoshi, Tomoya Ikeda, Mami Matsukawa

E-mail: ctwk0302@mail4.doshisha.ac.jp



1. はじめに

我々は安価な超音波センサを用いた頸動脈波計測装置を開発し、脳動脈閉塞のスクリーニング技術開発を進めてきた[1]。閉塞により、頸動脈波に脳内からの正の反射波が含まれることを示した。本報告では脳動脈瘤に着目する。動脈瘤をもつ模擬血管を作製し、血管内の圧力波に加え、動脈瘤付近の流速を超音波ドプラ (US) と粒子画像流速測定法 (PIV) で計測し、頸動脈波への影響を確認した。

2. 実験方法

シリコンゲル (Momentive Performance, TSE3062, TSE3450) を混合して作製した模擬血管 (全長 4650 mm, ヤング率 150kPa (高齢者の血管相当)) に心臓を模擬し、正弦波状の圧力波を吐出するポンプ (トミタエンジニアリング) を接続した。ポンプから 2350 mm の位置に同じシリコンゲルで作成した最大内径 30 mm, 瘤壁 1 mm, 頸部 6 mm の球形動脈瘤を挿入した。模擬血管内の流速を US (LOGIQ-e, GE Healthcare Corp) と PIV (k8-USB, Kato-Koken) で計測した。頸動脈位置 (ポンプから 310 mm) での血管内圧力波も計測した。

3. 結果および考察

PIV で測定した動脈瘤頸部付近での流れを Fig.2 に示す。頸部付近では不均一な流れが見られた。Fig.3 は、US は動脈瘤頸部での動脈瘤に入っていく方向 (Y 軸方向) の流速波形、PIV は動脈瘤頸部の中心付近 4 mm 以内の計 5 点の Y 軸負方向 (動脈瘤に流れ込む方向) の

流速の平均波形である。

これより臨床用 US と PIV の流速波形の概形は類似し、動脈瘤への流れが確認される。この脳動脈瘤への流れにより、頸動脈部の圧力波には負のピークが観測される。血管内圧力波による皮膚表面の変位が脈波である。圧力波の負のピークは心臓からの入射圧力波の 20%程度に達し、大きな動脈瘤は臨床で頸動脈波の変化として計測できる可能性があることを示している。

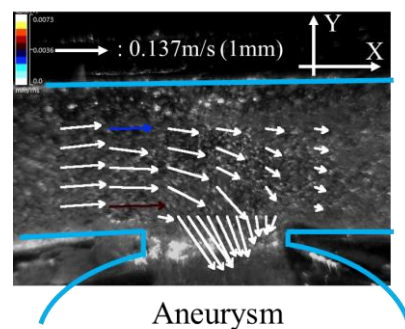


Fig.2 Flow at aneurysm neck.

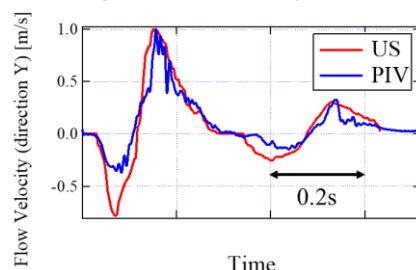


Fig.3 Flow velocity waveforms in US and PIV.

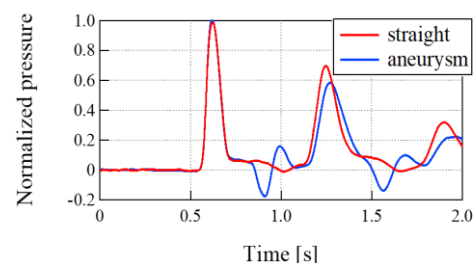


Fig.4 Pressure wave

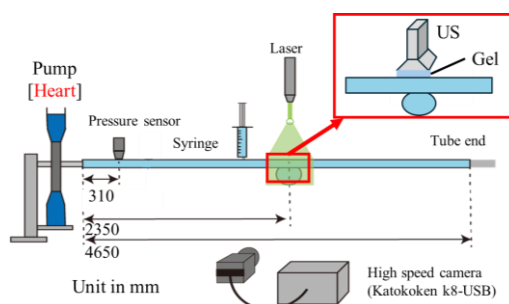


Fig.1 Experimental system used.

参考文献

[1] M.Saito, et al. IEEE TUFFC, 59, 2411, 2012.

100 MHz 帯の高強度超音波によって誘起される不均一屈折率場中の光伝搬解析

Analysis of light propagation in inhomogeneous refractive-index field induced by high-intensity ultrasonic irradiation in the 100-megahertz range

同志社大理工¹, 桐蔭横浜大医用工² (DC) 原田 裕生¹, 石河 睦生², 松川 真美¹, 小山 大介¹

Doshisha Univ.¹, Tooin Univ. of Yokohama², [○]Yuki HARADA¹, Mutsuo ISHIKAWA²,

Mami MATSUKAWA¹, Daisuke KOYAMA¹ E-mail: dkoyama@mail.doshisha.ac.jp

1. はじめに

先行研究にて, 100 MHz 帯の高強度超音波を水中に照射した際に, 巨大な静的屈折率勾配 (Δn : 10^{-2} オーダ) が誘起されることを発見した^[1]. そして光ファイバセンサを用いた定量的な屈折率変化の測定を試みたが, 音響流の影響により 3 次元的な測定が困難であった. そこで本報告では, 先行研究の実験結果に基づいて設計した屈折率勾配モデルを用いて, 屈折率勾配に対して入射したレーザ光の軌跡変化に関する光伝搬シミュレーションを実施した^[2].

2. 実験条件

光伝搬シミュレーションでは, 実験で用いたレーザ光のビーム径 (FWHM : 0.6 mm) を考慮し, 屈折率勾配を透過した後のスクリーン上 ($L = 730$ mm) におけるレーザ光の軌跡変化 (Δd) を求めた. シミュレーション条件として, 屈折率勾配への入射位置に対するレーザ光強度の最大位置を変化させた際のレーザ光強度分布を算出し, 実際の実験結果と比較した.

3. 実験結果および考察

Fig. 2 は, 光伝搬シミュレーションで得られたレーザ光強度の最大位置が $y = 1.1$ mm の条件で屈折率勾配に対して入射したレーザ光の軌跡変化を示している. 結果より, デフォルト位置 ($\Delta d = 0$) からの距離が長くなるに従って, レーザ光強度が指数関数的に減少する傾向が見られた. これは実験にて観測された傾向と一致していた. 以上より, シミュレーション結果

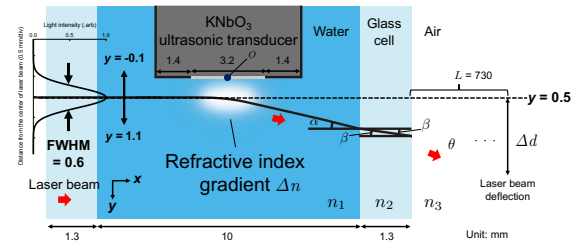


Fig. 1 Simulation model of laser beam propagation incident on a refractive-index gradient induced in water by ultrasonic irradiation.

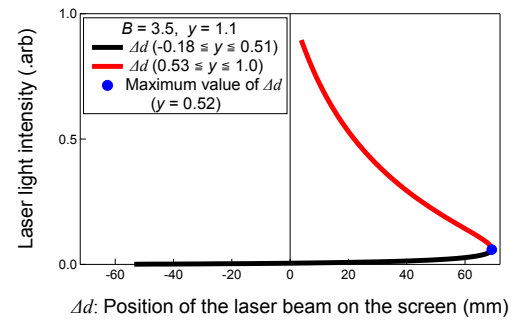


Fig. 2 Change in the light-intensity distribution of the incident laser beam projected on the screen.

と実験結果の傾向がよく一致したことから, 今回設計した屈折率勾配モデルが, 実際の屈折率勾配中を伝搬するレーザ光の軌跡を解析する際に有用であることが示された.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 (23KJ2074, 22H01391) および立石科学技術振興財団の助成を受けたものである. ここに感謝の意を表する.

参考文献

- [1] Y. Harada et al., Appl. Phys. Lett., Vol. 124, No. 1, p. 028002 (2024).
- [2] Y. Harada et al., J. Appl. Phys. Vol. 135, No. 19, p. 193104 (2024).

弾性波による液滴搬送の制御に関する検討

Study on control of droplet manipulation by elastic waves

静岡大¹ ○(M2)長尾 匠真¹, 近藤 淳¹

Shizuoka Univ.¹, ○Shoma Nagao¹ and Jun Kondoh¹

E-mail: kondoh.jun@shizuoka.ac.jp

1. 序論

医療・バイオ分野において大量のサンプルを手作業で検査をしているため、検査の効率化や実験の省スペース化の観点から 1 つの基板上に搬送・混合・分析といった機能を集積させたマイクロ流体システムが求められている。弾性表面波(surface acoustic wave : SAW)デバイスを用いた方法では、搬送と同時に混合や加熱を行うことができるという利点がある。しかし、圧電基板は高価であるため、圧電結晶を用いた使い捨てのデバイスの実現は困難である。そこで、ガラス/水層/圧電結晶構造(三層構造)のデバイスを使用する⁽¹⁾。IDT から発生した SAW は水層中に縦波を放射する。放射された波はガラスに音響波を発生させる。したがって、ガラス上の液滴に縦波を励起する。そのため、本研究の目的は三層構造デバイスとセンサを組み合わせたシステムを実現することである。しかし、弾性波を利用した液滴搬送では液滴の形状が変化することで、液滴が曲がって進みセンサ上に搬送できないこと、高い精度で液滴の分析が行うことできない問題がある。そのため本研究では、ガラス上に SLIPS(Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces)加工を施し、液滴搬送の直進性について検討した。

2. 実験系

本研究で用いた実験系を図 1 に示す。本研究の三層構造では圧電結晶 $128^\circ\text{YX-LiNbO}_3$ と蒸留水 5 μL とガラス(Matsunami : 厚さ 0.4mm)を使用した。図 1 に示すように、印加電力 1.2W で 2 μL の液滴を搬送したときの様子をビデオカメラで撮影した。液滴の移動距離と IDT の法線方向と液滴の中心がなす角度を測定し、液滴搬送の直進性を評価した。

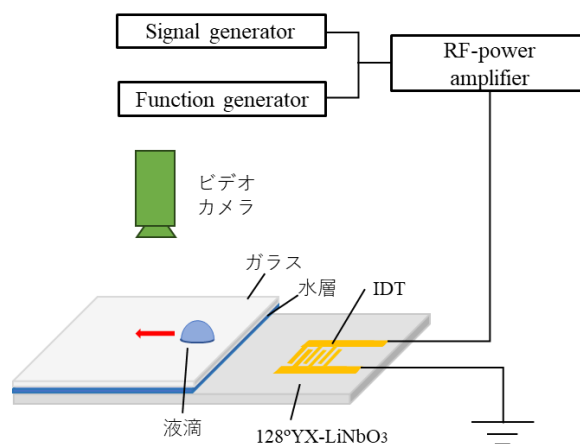


図 1 実験系

3. 結果と検討

図 2 に液滴搬送の直進性の結果を示す。実験結果より角度の変化は 1° 以下と小さく、直進することが分かった。この結果から SLIPS 加工を施すことで液滴をセンサ上への搬送が可能であるといえる。また、複数の液滴を制御するため 1 つの圧電結晶上に異なる伝搬方向の IDT を作製し液滴の制御について検討する。

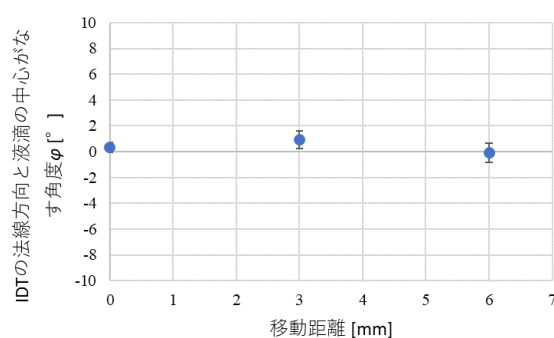


図 2 液滴搬送の直進性

参考文献

- (1) N. Yasuda, et al. Jpn. J. Appl. Phys. vol. 48, 07GG14 (2009).

小型ベクトルネットワークアナライザを用いた 横波型弾性表面波センサの信号処理手法の検討

Study on signal processing methods of shear horizontal surface acoustic wave sensor measurement system using compact vector network analyzer

静岡大¹ ○(M2) 柴田 慶一郎¹, 近藤 淳¹

Shizuoka Univ.¹, ○Keiichiro Shibata¹ and Jun Kondoh¹

E-mail: kondoh.jun@shizuoka.ac.jp

1. 序論

SH-SAW センサの測定系には測定系の小型化や測定の簡易化が求められる。先行研究では、発振回路を利用した小型測定系開発や、オンライン信号処理を含む検討が実施されてきた[1, 2]。しかし、測定にはセンサの周波数に応じた発振回路を用意しなければならないという課題があった。近年、小型かつ安価なネットワークアナライザが容易に入手できるようになった。こちらは小型であり周波数を変えても測定できるといった利点を有する。本研究では Nano vector network analyzer (Nano VNA, HCXQS) を用いて測定を行った。また、用いるセンサの周波数によってはノイズの影響により測定が困難な場合がある。そこで、信号処理の手法についても検討を行った。

2. 実験方法

本研究では圧電基板が 36° YX-LiTaO₃ の SH-SAW センサを使用した。中心周波数は 155 [MHz] である。測定の様子を図 1 に示す。Nano VNA に SH-SAW センサを接続した。Nano VNA は USB により PC で制御した。基準溶液として蒸留水を、試料溶液としてグリセリン水溶液 10 [wt%], 20 [wt%], 30 [wt%], 40 [wt%], 50 [wt%] を用いて、これらの液体を SH-SAW センサ上に滴下したときの周波数特性を Nano VNA で測定し、中心周波数における振幅比を求めた。



図.1 実験系

3. 信号処理

Nano VNA の測定によって得られた複素 S_{21} の実部と虚部に対して、逆高速フーリエ変換 (IFFT) を施

した。振幅の時間応答に対して、応答個所以外に窓関数を用いてカットした。そして、このデータに対してフーリエ変換 (FFT) を施した。得られた結果を数値解析[3]と比較を行った。測定結果を図 2 に示す。結果より、信号処理を行うことで振幅比の値が数値解析の値に近づいていることがわかる。

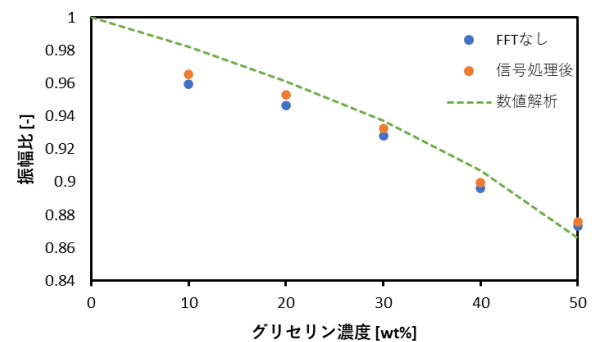


図. 2 振幅比

4. 結論

本研究で得られた結果から、SH-SAW センサの測定データに対して信号処理を行うことで、測定精度が向上することが明らかになった。本研究では通過特性について着目したが、今後は反射型 SH-SAW センサを用いて反射特性の測定に応用する。

参考文献

- [1] J. Kondoh, et al., Sen. & Act. B, 92, 191-198 (2003).
- [2] N. Maekawa, et al., Jpn. J. Appl. Phys., 60, SDDC02 (2021).
- [3] J. J. Campbell and W. R. Jones, IEEE Trans. Sonics and Ultrason., SU-15, pp. 209-217 (1968).

レーザ超音波法とレーザ誘起ブレイクダウン分光法による 物質推定技術の検討 (2)

Study of material identification with laser ultrasonic technology and laser-induced breakdown spectroscopy (2)

Hitachi, Ltd. R& D Group, °Yong Lee, So Kitazawa

E-mail: yong.lee.ak@hitachi.com

1. はじめに

我々は、遠隔で物質特性（元素成分とその成分比、密度、硬さなど）を直接計測できる技術として、光ファイバ伝送をベースにしたレーザ超音波法(LUT)とレーザ誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)を統合した計測システムの検討を行っている[1],[2]。これまで我々は、硬さを評価する新しい測定方法として、LUT による表面変位の回復時間を利用する方法が有効であることを単体の物質を用いて示した[1]。また、LUT と LIBS を組み合わせることで元素成分に加えて元素成分比の情報を得ることができることを示した[2]。そこで、今回は、上記硬さ測定法を混合物に適用した。また、LUT と LIBS の統合システムに必要な高出力レーザの光ファイバ伝送方式を検討した。

2. 実験方法

まず、硬さ測定では、サンプルとして、金属、セラミックスとコンクリートからなる 4 種類の混合物を用いた。レーザで誘起された表面変位の時間変化を観測し、その表面変位の回復時間を求めた。

高出力レーザの光ファイバ伝送に関しては、高出力レーザをマルチモードファイバで伝送し、結像光学系をベースにした縮小光学系により被測定物 (SUS) に集光し、レーザ誘起の超音波を発生させて、光ファイバベースの受信器でその超音波信号を測定した（即ち、全光ファイバ伝送 LUT）。

3. 実験結果

Fig. 1 に、各混合物(Compound 1~4)に対して測定された表面変位の回復時間と各混合物のヤング率の関係を示す。前回測定した単体の結果も示す。混合物に対しても、回復時間と硬さの指標のヤング率との間に単体と同様、負の相関があることが分かる。

Fig. 2 には、光ファイバ伝送された高出力レ

ーザで誘起された超音波の波形を検出した結果を示す。空間伝送された高出力レーザと同レベルの強度の超音波信号が得られた。

4. 参考文献

- [1] 李 等, 2022 年秋季応用物理学会 22p-C105-3.
- [2] 李 等, 2023 年春季応用物理学会 17a-D505-3.

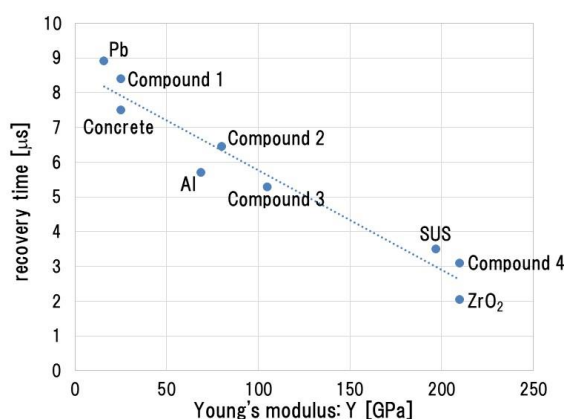


Fig. 1 Measured recovery times of surface displacements as a function of Young's modulus for various materials.

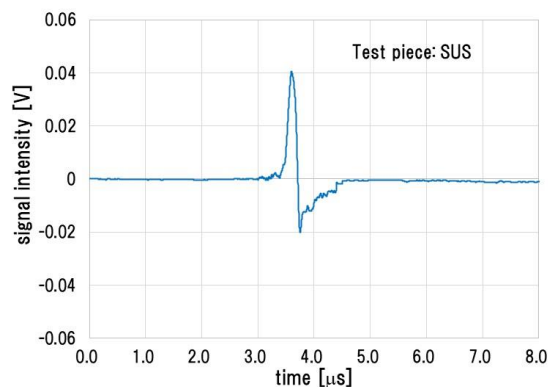


Fig. 2 Measured temporal laser-induced ultrasonic wave using all-fiber laser ultrasonic testing system.

高繰返しエキシマレーザ用吸音材の吸音率シミュレーションの開発

Development of Sound Absorption Coefficient Simulation of Sound Absorbing Materials for High Repetition Rate Excimer Lasers

ギガフoton株式会社¹, 工学院大学² ○小川拓也¹, 佐々木陽一¹, 田中誠¹, 堀司¹,
柿崎弘司¹, 山本崇史²

Gigaphoton Inc.¹, Kogakuin Uni.², ○Takuya Ogawa¹, Youichi Sasaki¹, Makoto Tanaka¹, Tsukasa Hori¹, Kouji Kakizaki¹, Takashi Yamamoto²

E-mail: takuya_to_ogawa@global.komatsu

放電励起エキシマレーザは、半導体露光装置の光源として使用されており、スループットの向上を目的とした繰返し数 6kHz を超える高繰返し化が要求されている。その際に放電により発生された放電音 (60kHz) は、チャンバ内の壁面で反射しレーザ発振領域に再到達することが問題となる。音波は音の粗密であるため、レーザ発振領域に粗密が発生してしまいレーザの光品質を劣化させる。【1】その対策としてチャンバ内に吸音材を設置しておりその最適化が必要となっている。60kHz の高周波数領域における吸音率のシミュレーションは一般的ではない。そこで本試験では、可聴領域で使用されている吸音率シミュレーションを 60kHz の超音波領域に拡張し、その妥当性を検証した。初めに吸音率計算を均質化法によるマルチスケールシミュレーションで実施した。吸音材として住友電工製の多孔質材セルメットの微細形状をモデリング化し 60kHz までのシミュレーションを行った。妥当性を判別するために、図 1 に示す試験系を構築し、エキシマレーザ放電を模擬した音源によるセルメットの吸音率の計測を行った。放電領域に対向してリオン製 1/4 inch マイクロフォンを設置し吸音材の有無での放電音を計測した。図 2 に吸音材の有無による放電波形の代表例を示す。この時の結果では、ファーストピークの吸音率は 54% であった。これに対し計算では、吸音率 60% であると計算され、良い一致を見せた。これにより可聴領域の吸音材シミュレーションは放電音 (60kHz) の高周波領域に対しても実施可能であることを明らかにした。当日は孔径の異なる多孔質吸音材について発表する予定である。

参考文献：【1】 Feasibility study of 6 kHz ArF excimer laser for 193 nm immersion lithography, T. Hori et al, Proc. of SPIE, Optical Microlithography XVIII, 5754-140, 2005

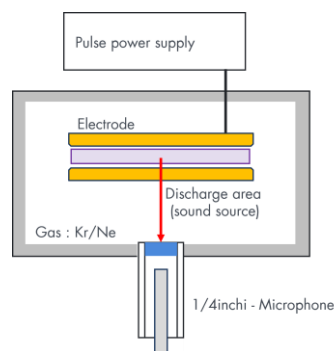


図 1. 試験系の概念図

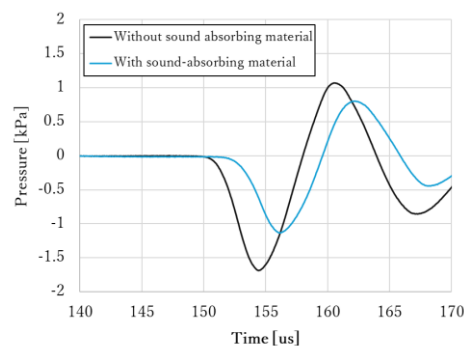


図 2. 吸音材の有無による放電音波形の変化

圧電振動子のインピーダンス変化を利用した流速測定法 A method for flow rate estimation using electrical impedance changes of piezoelectric material

同志社大理工, 呉沢農, 原田裕生, 小山大介

1. はじめに

超音波を用いた流速測定装置は、2つのセンサ間の超音波伝搬時間差を利用する単純かつ安価な構成で、流路に影響を与えることなく流速を測定できるため、様々な産業分野で用いられている。しかしながら、複数のセンサを必要とするため装置が大型化し、超音波伝搬経路の流速分布を考慮する必要がある。本報告では、流体の流速変化に伴う境界層の変化を圧電振動子の電気的特性の変化によって評価することにより、単一のセンサのみで流速を測定する方法を提案した。その原理検証のため、センサである圧電振動子の電気アドミタンスと水の流速の相関性を計測した。

2. 単一センサによる流速測定

提案手法では、単一の圧電振動子を流路外側に接触させ流路内の流速を測定する。流路内の流速変化に伴い、流路内壁近傍の境界層厚さが変化するため、圧電振動子に対する機械的負荷が変化する。これによって、圧電振動子の電気アドミタンスが変化することから流速の測定が可能となる。本手法では、従来手法における伝搬時間差推定のための相互相関関数の計算が不要であるため、高い時間応答性が期待できる。

3. 実験結果

図1は実験に用いた圧電振動子の構造と流路の形状を示している。矩形圧電振動子（PZT, $10 \times 10 \times 2$ mm, 厚み方向分極）を音響整合層の役割を果たすシリコンシート（厚さ 0.5 mm）を介して PFA 製流路（外径 3/8 inch, 内径 1/4 inch）に固定した。流路内を流れる水の温度が 8°C および 30°C 、水の流量が $0 \sim 4.5$ L/min の場合の振動子のアドミタンスの周波数特性を、インピーダンスアナライザを用いて測定した。図2は各温度における流量と振動子の圧電横効果による共振周波数およびアドミタンスの関係を表しており、流量が $0 \sim 4.5$ L/min の範囲において、 8°C および 30°C の場合にアドミタンスはそれぞれ 2.8%、1.0%減少した。

4. まとめ

単一の圧電振動子による流速測定法を提案し、流量と共振周波数におけるアドミタンスの逆相関性が実験結果によって確認された。今後、電氣的等価回路よりインピーダンスと流速の相関性を定量的に評価する予定である。

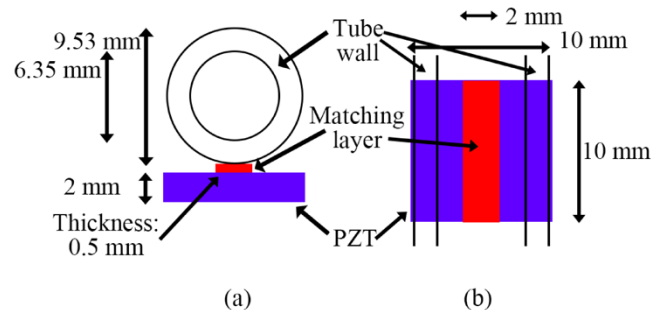


図1 圧電振動子とチューブの配置.
(a)断面図, (b)上面図.

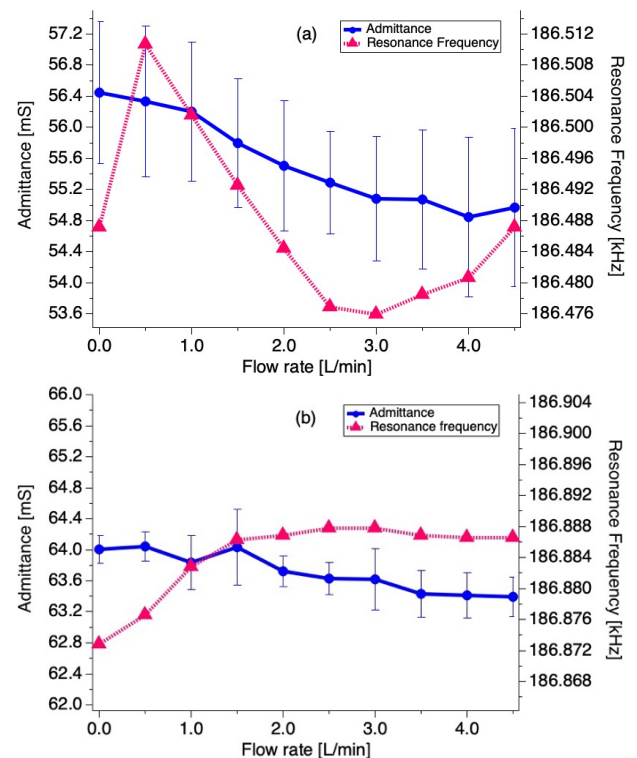


図2 流量率と共振周波数, アドミタンスの関係. (a) 8°C , (b) 30°C .

5. 参考文献

- Alaeddin, M. A., Hashemabadi, S. H., & Mousavi, S. F. (2021). Numerical study on the effect of circumferential position of ultrasonic transducers on ultrasonic cross-correlation flowmeter performance under asymmetric air flow profile. *Ultrasonics*, 115, 106479.
- 富永 昭(1942-), 熱音響工学の基礎, 1998

超音波パルスエコー法を用いた ScAlN、AlN、ZnO 膜の機械的 Q_m 値評価手法

New method for extracting mechanical quality factor Q_m of ScAlN, AlN, ZnO films
by using ultra sonic pulse echo method

早大先進理工¹, 材研²

○(M2) 島野 耀康^{1,2}, 柳谷 隆彦^{1,2}

Waseda Univ.¹, ZAIKEN²

°Yohkoh Shimano^{1,2}, and Takahiko Yanagitani^{1,2}

E-mail: svdp75014@toki.waseda.jp, yanagitani@waseda.jp

1. まえがき

無線バンドが密集する帯域において RF フィルタの急峻性を示す品質係数 Q 値は重要な評価指標の一つである。機械的品質係数 Q_m 値は自立薄膜共振子(FBAR)のインピーダンス実部の半値幅から算出することが可能である[1,2]。また我々のグループでは以前に基板付き薄膜共振子(HBAR)から Q_m 値を抽出する方法を提案している[3]。これらの方法はデバイスの実効的な Q_m 値を評価する点においては有用である一方で、電極形状や電極自体の Q_m 値の影響も大きく効いてしまう。そのため、材料同士の相対評価には有用だが、抽出される Q_m 値は材料定数から予想されるものに比べて、かなり小さく評価されてしまっていた。

そこで本研究では材料自体の Intrinsic な機械的品質係数 Q_m (減衰定数 α/f^2) を評価する方法を提案する。基板付き薄膜共振子(HBAR)構造において基板裏面に被測定材料を作製し、基板底面および被測定材料底面から反射する音波を比較することによって減衰定数を見積る。本報告では、産業的な需要も高い $\text{Sc}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N}$ 、 $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$ 、純 AlN と ZnO 膜の Q_m 値を評価した。

2. 評価手法

本研究では材料自体の減衰定数 α/f^2 を測定し、Intrinsic な機械的品質係数 Q_m 値を抽出する方法を提案する。評価手順を Fig. 1 に示す。まず上部電極/圧電体/下部電極/基板という通常の基板付き薄膜共振子(HBAR)を作製し、これを評価用のトランスデューサとする。次に被測定対象の材料を基板裏面に作製する。このデバイスにおいて、基板底面で反射した音波と被測定材料底面で反射した音波それぞれの挿入損失の差そのものが被測定材料 1 往復分の伝搬損失である。この伝搬損失は周波数の 2 乗に比例することから、算出された伝搬損失を 2 次関数フィッティ

ングした関数の 2 次項の係数を 1 往復分の経路長 (膜厚 $\times 2$) で割ったものが減衰定数 α/f^2 ($\text{dB}\cdot\text{s}^2/\text{m}$) となる。本手法の利点は、圧電材料だけでなく、電極材料や非晶質などの非圧電材料も評価できる点である。

3. 実測結果

RF マグネトロンスパッタ法で作製した $\text{Sc}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N}$ 、 $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$ 、AlN、ZnO 膜に対して本手法より見積られた減衰定数 α/f^2 ($\text{dB}\cdot\text{s}^2/\text{m}$) を Fig. 2 に示す。また $Q_m = \pi f / \alpha V$ より算出される機械的品質係数 Q_m も Fig. 2 に示す。発表時にその他さまざまな材料の Q_m も報告する。

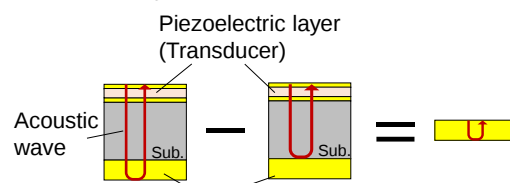


Fig. 1 Measurement procedure for evaluating Q factor

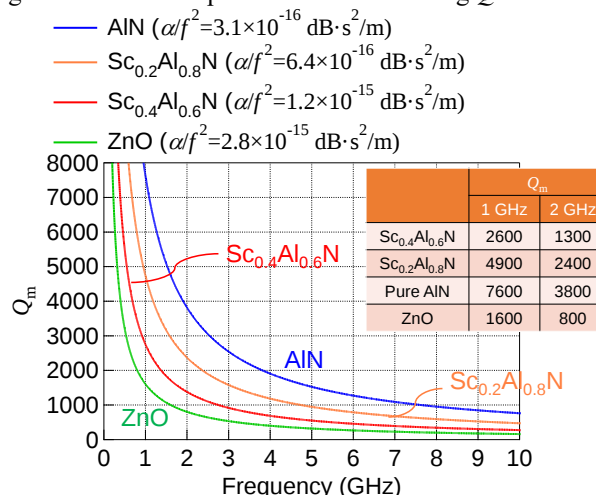


Fig. 2 Estimated Q_m of $\text{Sc}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N}$, $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$, AlN, and ZnO films

参考文献

- [1] D. A. Feld, et. al., Proc. IEEE IUS (2008).
- [2] K. M. Lakin, et. al., Proc. IEEE T-MTT (1993).
- [3] S. Kinoshita, et. al., Proc. IEEE IUS (2019).

直線集束ビーム超音波材料解析システムによる ScAlN 薄膜の評価

Evaluation of ScAlN Thin Films by Line-Focus-Beam Ultrasonic-Material-Characterization System

東北大¹, 早稲田大², GEOMATEC³,

○大橋雄二¹, 櫛引淳一¹, 戸津健太郎¹, 花井彩香², 勝又彩馨², 柳谷隆彦², 竹野広晃³, 伊東孝洋³
Tohoku Univ.¹, Waseda Univ.², GEOMATEC Co. Ltd.³,

○Y. Ohashi¹, J. Kushibiki¹, K. Totsu¹, A. Hanai², A. Katsumata², T. Yanagitani², H. Takeno³, T. Ito³

E-mail: yuji.ohashi.b8 @tohoku.ac.jp

【背景と目的】 AlN や ScAlN は高周波フィルタである薄膜バルク波振動子(FBAR)用の圧電材料として利用されている。第6世代移動体通信システム(6G)においては SHF 帯の利用が検討され始め、これに対応できる弾性波フィルタの開発が急務となっている。高周波フィルタを実現するためには低減衰で高品質な ScAlN 膜の開発が重要であり、また同時に、これらの膜を高精度に評価できる技術も必要不可欠である。本報告では、直線集束ビーム超音波材料解析(LFB-UMC)システムを用いた圧電薄膜の評価法を確立するため、異なる条件で作製した ScAlN 薄膜に対する基礎的な音響特性の測定・評価を行う。

【方法】 Table 1 に示すように Sc 濃度の異なる ScAlN 薄膜を c 面サファイア基板上にスパッタリング法を用いた成膜した。全ての ScAlN 薄膜が c 軸配向していることを X 線回折により確認した。また、#3 試料以外は全て六回対称性があることを確認した。これらの試料に対して LFB-UMC システムを用いて水を付加した試料表面上を伝搬する漏洩弾性表面波(LSAW)の伝搬特性を測定した。

Table 1. ScAlN film specimens on c-Sapphire.

No.	Sc conc. [%]	Thick [μm]	FWHM [deg]	Six-fold symmetry
#1	0	1.6	1.2	Yes
#2	10	1.2	2.5	Yes
#3	40	4	2.3	None
#4	40 (base 10)	1.3±0.1	2.8	Yes

【結果と考察】 LFB-UMC システムを用いて 100-275 MHz の周波数範囲において各試料の LSAW 速度の周波数依存性を測定を行った。結果を横軸を超音波周波数 f と膜厚 H の積 fH として Fig. 1 に示す。図中の計算値は、バルクの AlN 単結晶およびサファイア単結晶に対して決定した材料定数を用いて AlN 膜/Sapphire 基板構造および Sapphire 基板単体の LSAW 速度を計算した結果である。Fig. 1 中の測定結果に周期的な変化が見られるのは基板裏面からの反射波の影響である。#1 試料は Sc 濃度 0% であるが計算値より速度が低くなった。#2 試料は#1 試料とほぼ同じ速度となった。#4 試料の速度が最も低くなっており、#3 試料の速度は#2 と#4 の中間の値となった。

バルクの AlN 単結晶の X 線ロックンカーブの半値幅 FWHM は 0.003°程度であるが、#1 試料のそれは 1.2°と大きい。これより#1 の AlN 膜はバルク単結晶よりも結晶性が低下しており、その影響で LSAW 速度の低下が生じているものと考えられる。一般的に Sc 濃度が高くなると ScAlN のバルク波速度は低下することが知られている。そのため、#3 と#4 の LSAW 速度は#1 や#2 のそれよりも低い。#3 試料は六回対称性が観測されなかったため LSAW 速度が最も低下している。以上から、ScAlN 薄膜の弾性的特性の変化を LSAW 速度の変化を通して抽出することができた。今後はこれらの基礎特性をベースに ScAlN 薄膜評価法の確立を目指していく。

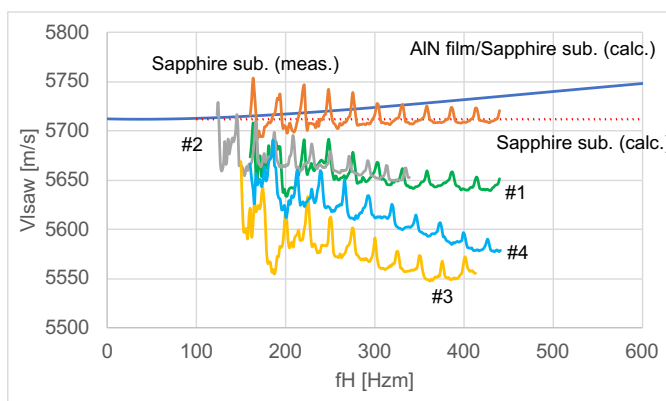


Fig. 1 Frequency dependences of LSAW velocity for ScAlN film/c-Sapphire substrate.

ScAlN と SiAlN の積層による 2 層分極反転薄膜の形成と BAW 特性評価

BAW characteristics of two-layer polarization inverted films consisting of ScAlN and SiAlN layers

山梨大学 [○](M2) 福永 慶, 鈴木雅視, 垣尾省司

Univ. of Yamanashi, [○]Kei Hukunaga, Masashi Suzuki, Shoji Kakio

E-mail: g23te021@yamanashi.ac.jp

1. まえがき

BAW 共振子を高周波動作させるためには、圧電膜厚の極薄化が必要であり、それに伴う耐電力性の低下が問題になると考えられる。また、共振子内の電極膜厚割合が増加し、質量負荷効果が大きくなることで共振周波数が大きく低下してしまう恐れもある。

分極反転薄膜 BAW 共振子は圧電薄膜部分の層数 n に応じた n 次モードで共振する。したがって分極反転薄膜 BAW 共振子を単層薄膜 BAW 共振子と同じ共振周波数で動作させる場合、 n 倍厚い圧電膜厚を確保できる。よって、分極反転膜では上述した課題を解決できると考えられる。

我々はこれまでに AlN 膜と SiAlN 膜からなる分極反転 SiAlN/AlN 多層膜 BAW 共振子を形成し、高次モード共振を達成している [1]。ScAlN 薄膜は大きな圧電性と電気機械結合係数を有する [2]。そのため、分極反転構造の Al 極性膜として ScAlN 薄膜を用いれば、分極反転 BAW 共振子の高性能化が実現できると考えられる。

本研究では 2 層分極反転 SiAlN/ScAlN 薄膜を形成し、BAW 特性を評価した。

2. Mason の等価回路による 2 層分極反転 AlN 系薄膜 SMR の k_{eff}^2 比較

2 層分極反転 AlN/SiAlN, SiAlN/AlN, ScAlN/SiAlN, SiAlN/ScAlN 薄膜 SMR の実効的電気機械結合係数 k_{eff}^2 を比較するため Mason の等価回路を用いてアドミタンス周波数特性を解析した。モデル内の k_t^2 は AlN 薄膜で 4%, SiAlN 薄膜で 2.5%, ScAlN 薄膜で 6% とした。図 1 に示すように AlN/SiAlN 薄膜構造と SiAlN/AlN 薄膜構造では圧電薄膜の積層順による帯域幅の変化は小さく、両方の構造において k_{eff}^2 = 約 3% が得られた。一方、ScAlN/SiAlN 薄膜構造と SiAlN/ScAlN 薄膜構造では AlN 薄膜を用いた構造よりも帯域幅が広く、積層順による帯域幅の変化が確認された。ScAlN/SiAlN 薄膜構造は k_{eff}^2 = 約 3.4%, 帯域幅が最も広い SiAlN/ScAlN 薄膜構造は k_{eff}^2 = 約 4% であった。

3. 2 層分極反転 ScAlN/SiAlN 薄膜 BAW 共振子の形成・評価

RF マグネトロンスパッタ法を用いて、1 層目に N 極性 SiAlN 薄膜、2 層目に Al 極性 ScAlN 薄膜を Ti/石英ガラス基板上に形成した。基板付き BAW 共振子(HBAR, Au/ScAlN/SiAlN/Ti/石英ガラス)の変換損失をネットワークアナラ

イザにて測定した。図 2 に示すように 2 次モードでの変換損失が最小となっていることから、この共振子は 2 次モード共振を達成していることが判明した。また、分極反転構造を考慮した Mason の等価回路より求めた理論曲線と傾向が一致した。したがって、SiAlN 薄膜と ScAlN 薄膜の積層により 2 層分極反転構造が形成できることを実証した。理論曲線との比較から求めた k_t^2 は下層 SiAlN 薄膜で 2.8%, 上層 ScAlN 薄膜で 7.8% であった。発表では積層順を入れ替えた SiAlN/ScAlN 薄膜の形成・BAW 特性評価についても報告する予定である。

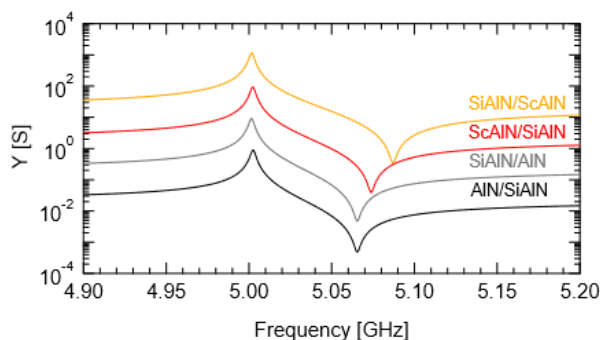


Fig1. Admittance frequency characteristics of two-layer polarization inverted SMRs with AlN/SiAlN, SiAlN/AlN, ScAlN/SiAlN, SiAlN/ScAlN films

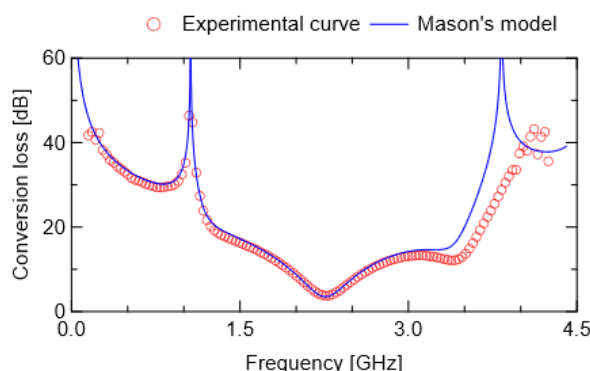


Fig.2 Conversion loss of two-layer polarization inverted ScAlN/SiAlN film HBAR

参考文献

- [1] J. Sekimoto, M. Suzuki, and S. Kakio, Applied Physics Letters 121.14, 2022.
- [2] M. Akiyama, Advanced Materials, 21, p 594, 2009.

ScAlN 薄膜を用いた分極反転多層構造 SMR による 二重モード型 BAW フィルタ (DMB)

Double mode BAW filter (DMB) based on ScAlN
using polarization inversion multilayer SMR

早大先進理工¹, 材料技術研究所²

○(M1) 松村 桃佳^{1,2}, 柴田 真之^{1,2}, 柳谷 隆彦^{1,2}

Waseda Univ.¹, ZAIKEN²

○Momoka Matsumura^{1,2}, Saneyuki Shibata^{1,2} and Takahiko Yanagitani^{1,2}

E-mail: matsumomo.618@suou.waseda.jp, yanagitani@waseda.jp

1. まえがき

現在スマートフォンの RF フィルタとして、SAW フィルタと、BAW フィルタが利用されている。特に BAW フィルタは SAW フィルタに比べて耐電力性が高い[1]ことから、今後より高い周波数帯(5 GHz~)への応用が期待されている。SAW フィルタでは主に、ラダー型 SAW フィルタ[2]と、DMS (Double Mode type SAW) フィルタ[3]が普及している。一方で BAW フィルタは DMS フィルタのような音響的な結合を利用した BAW フィルタがほとんど実用化されていない。これまで SCF (Stacked Crystal Filter) [4]や CRF (Coupled Resonator Filter) [5]といった構造に関する研究は多く報告されているものの、DMS フィルタほど広く利用されていない。SCF や CRF の圧電層を多層化すれば、通過帯域幅の調整が容易になると考えられる。

そこで本研究では、BAW 共振子同士の音響的な結合を使った新しい BAW フィルタとして、分極反転多層構造および中間電極多層構造を用いた、二重モード型 BAW (DMB: Double Mode type BAW) フィルタを提案する。

2. 作製手法

RF マグネトロンスパッタリング法を用いて、音響ブラッグ反射器($\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$)上に入力層/出力層として圧電体(ScAlN)-電極(Al)薄膜を入出力2層ずつ成膜した。基板をターゲットに対して垂直に配置することで、c 軸傾斜分極反転 ScAlN 薄膜を音響ブラッグ反射層上に成膜できる。ターゲット-基板距離や基板の配置は、c 軸傾斜角度 $40\text{-}50^\circ$ [6]を目標に条件を最適化した。この角度では高い厚みすべりモード k'_{35} を持ちつつ厚み縦モード k'_{33} が抑制される。

3. 実測結果

作製した分極反転多層構造型 DMB フィルタ (入力2層、出力2層)の測定結果を図9に示す。インピーダンス特性の結果から、作製したデバイスは入出力ともに 500 MHz 付近で4次モード共振している。また通過特性の結果から、約 600 MHz を中心とした帯域幅 200 MHz のバンドパスフィルタ特性を確認した。計算上で入出力電気端に、並列インダクタンス $L_p (=12.7 \text{ nH})$ を挿入したときの通過特性 S_{21} の測定結果を図 9(b)に示す。

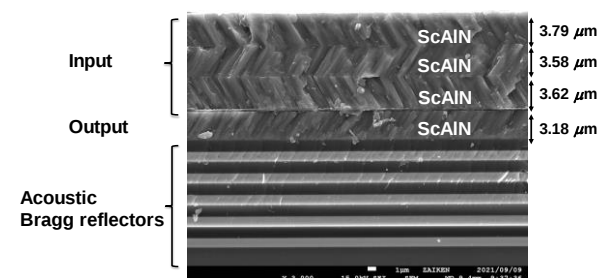


Fig. 1 Cross sectional SEM image

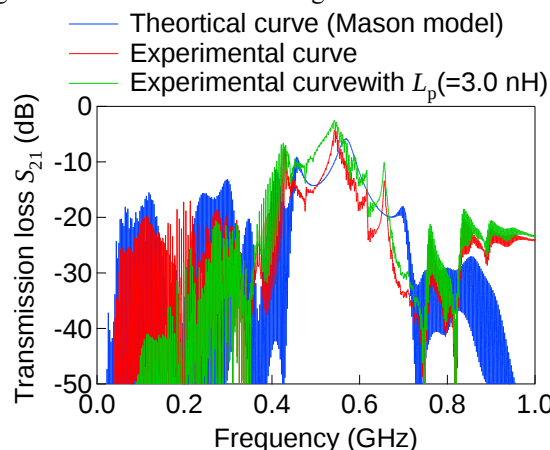


Fig. 2 Experimental transmission loss

参考文献

- [1] Y. Satoh et al., *J. Appl. Phys.* (2005).
- [2] O. Ikata et al., *IEEE IUS* (1992).
- [3] T. Morita et al., *IEEE IUS* (1992).
- [4] A. Ballato and T. Lukaszek, *27th ASFC* (1973).
- [5] K. M. Lakin, *IEEE IUS* (2002).
- [6] S. Kinoshita and T. Yanagitani, *IEEE IUS* (2020).

RF スパッタリングにより成膜された一軸配向 (K, Na) NbO₃ 膜の不活性層に関する検討

Inactive layer on One-axis oriented (K, Na)NbO₃ Films Deposited by RF Sputtering

山梨大 ○(M2) 中山 雄太, 鈴木 雅視, 垣尾 省司

Univ. of Yamanashi ○Yuta Nakayama, Masashi Suzuki, and Shoji Kakio

E-mail: g23te020@yamanashi.ac.jp

1. はじめに

(K,Na)NbO₃(KNN)は、非鉛かつ大きな圧電性を有する圧電材料として知られている。様々な方法により育成、成長された結晶、セラミックス、薄膜が報告されており、センサやトランスデューサなどへの応用が研究されている[1]。これらのうち、高周波(RF)スパッタリングにより成膜された KNN 膜は、鉛系圧電膜に匹敵する優れた圧電性を示すことが報告されている[2]。前報では、RF スパッタリングにより ZnO 密着層上に成膜された KNN 膜におけるバルク弾性波(BAW)伝搬特性の成膜時基板温度依存性を、基板付き薄膜共振器(HBAR)を用いた変換損失法により評価した結果を報告した[3]。

本報では、圧電不活性層(圧電膜中で圧電性を持たない層)を考慮した Mason の等価回路モデルを用いて、KNN 膜中における不活性層について検討した結果を報告する。

2. 変換損失法による KNN 膜の評価

SiO₂/(100)Si/SiO₂ 基板上に密着層として ZnO (膜厚: 25 nm) が、下部電極として Pt(111) (膜厚: 200 nm) がそれぞれ成膜されたのち、KNN 膜の組成比 Na/(K+Na)が 0.65 となるよう調製されたセラミックターゲットを用いた RF スパッタリングにより、400°C~740°Cの基板温度で Pt 上に(001)配向 KNN 膜(膜厚: $t=2.0\ \mu\text{m}$)が成膜された試料を用いた。KNN 膜表面に真空蒸着した Au 膜を上部電極として Fig. 1 に示す HBAR を作製し、ネットワークアナライザにより変換損失を測定した。実測値に対して圧電不活性層を考慮した Mason の等価回路より求めた理論値とのフィッティングを行った。

3. KNN 膜における不活性層の検討

Fig. 2 に基板温度 400°Cの試料での変換損失の実測値と不活性層の考慮有り/無しの場合の理論値を示す。基板温度 400°C~540°Cの試料の変換損失における二次モードにおいて、不活性層を考慮することで高いフィッティング精度を示した。Fig. 3 に、考慮した不活性層厚と成膜時の基板温度の関係を示す。ZnO 密着層上に成膜された KNN 膜には膜厚の 10~20%程度の不活性層が形成されている可能性がある。

一方で、基板温度 700°C, 740°Cの試料では、KNN 膜中に分極反転層(分極軸が主配向と異なる層)を考慮することで変換損失の実測値に対し、高いフィッティング精度を示した。

今後は、不活性層の形成等を踏まえ、KNN 膜の成膜条件の最適化を検討する。

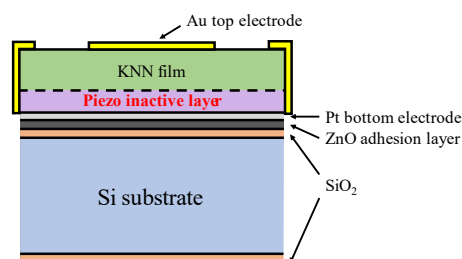


Fig. 1 Schematic diagrams of KNN HBAR structure considering piezoelectric inactive layer.

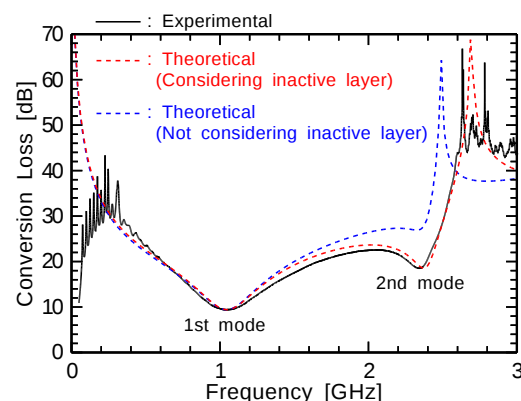


Fig. 2 Experimental and theoretical conversion loss in KNN HBAR sample at a substrate temperature of 400°C.

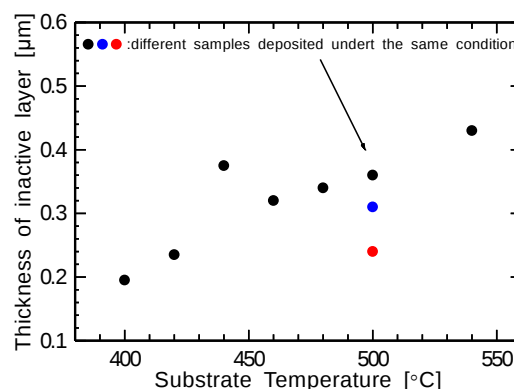


Fig. 3 Temperature dependence of thickness of piezoelectric inactive layer in KNN films.

参考文献

- [1] J. Koruza, *et al.*, J. Mater. Res. **35** (2020) 990.
- [2] K. Shibata, *et al.*, JJAP **50** (2011) 041503.
- [3] 中山, 他, 応物秋, 22p-B202-11 (2023).

LiTaO₃ 薄板/低抵抗 SiC 構造における SH₁ モード板波共振特性の解析 Analysis of Resonance Properties for SH₁ Mode Plate Waves on Thin LiTaO₃ / LR-SiC Plate

山梨大 [○](D) 渡邊 紀之, 垣尾 省司

Univ. of Yamanashi, [○]Noriyuki Watanabe and Shoji Kakio

E-mail: g20dtsa2@yamanashi.ac.jp

1. はじめに 次世代通信システムには、高周波、広帯域、高 Q を有し、かつ耐高電力な弾性波 RF フィルタが要求される。近年、接合技術および薄板化技術の進歩を踏まえ、薄板構造の様々な板波モードが研究され、その中でも高音速板波の利用が報告されている[1, 2]。しかし圧電基板の極薄板は非常に脆く製造上も耐久性も実用的ではない。そこで本報告では、先報告[3]に続き、新たに周波数温度変動の小さい LiTaO₃(LT)と低抵抗 SiC(LR-SiC)との直接接合構造における高音速板波共振特性を検討した。

2. FEM 解析 Fig. 1(a)に示す LT を薄板化した構造(a)で A₁ mode 板波の共振子や、Fig. 1(b)に示す薄板化 LT 裏面に電極を配した構造(b)で SH₁ mode 板波の共振子について報告されている[1, 2]。LiNbO₃ 薄板/SiC 構造の先報告[3]と同様に、本報告では Fig. 1(c)に示す LT の裏面側に低抵抗 3C-SiC を接合した新構造(c)における SH₁ mode 板波の共振特性について有限要素法(FEM)により解析した。解析モデルでは LT 表面に Al-IDT を無限周期とし、構造(c)の LT/SiC 接合境界面には浮き電極条件を与え、低抵抗 SiC に見立てた。波長 λ を 6.4 μm 、各材料の材料 Q を 1000 とし、誘電損は考慮していない。

各構造について、Rot.YX-LT 薄板におけるカット角に対する SH₁ mode と A₁ mode における実効的電気機械結合係数 K_{eff}^2 と位相速度 V_p の挙動を Fig. 2 に示す。さらに新構造(c)について Fig. 2 より K_{eff}^2 が最大になる 84°YX-LT を用いて、SH₁ mode 共振特性の LT 板厚依存性を調べた(Fig. 3)。その結果、各積層厚みが $h_{\text{Al}}=0.03\lambda/h_{\text{LT}}=0.14\lambda/h_{\text{SiC}}=0.12\lambda$ の時、比帯域幅 $FBW=4.11\%$ 、 $K_{\text{eff}}^2=9.73\%$ 、及び $V_{fr}=11313\text{m/s}$ 、 $V_{fa}=11797\text{m/s}$ を得た。

新構造(c)の SH₁ mode の TCF について FEM 解析した結果を Fig. 4 に示す。LT 単体薄板[2]より TCF の絶対値の減少が見られた。

参考文献

- [1] N. Assila, M. Kadota *et al.*, IEEE UFFC, vol.66, no.9 (2019)
- [2] F. Setiawan, M. Kadota *et al.*, USE2022, 2E2-1.
- [3] 渡邊, 垣尾, 応物春, 23a-12E-4, 2024.

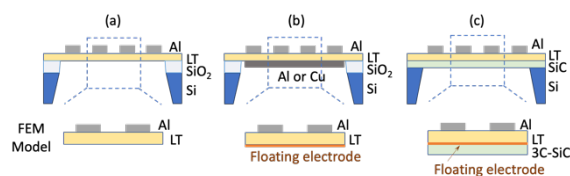


Fig. 1 Analyzed FEM models of (a) LT-single, (b) LT-single with electrode on back, and (c) LT/LR-3C-SiC.

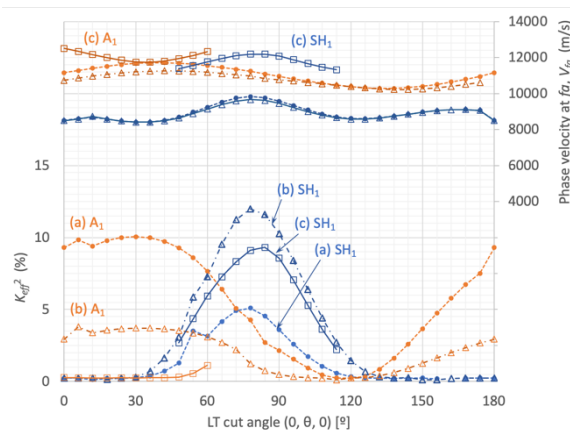


Fig. 2 Simulated K_{eff}^2 and V_p of SH₁ and A₁ modes with respect to the LT cut-angle on (a) LT in dash-line, (b) LT with the electrode on back in dash-dot-line, and (c) LT/LR-3C-SiC in solid-line.

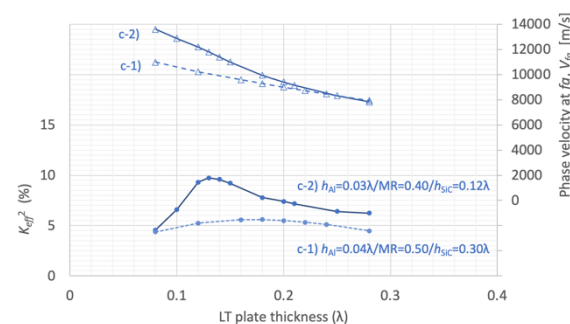


Fig. 3 Simulated K_{eff}^2 and V_p of SH₁ mode with respect to the LT thickness on various conditions of new structure (c).

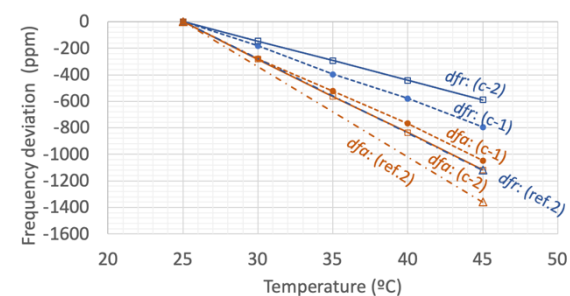


Fig. 4 Simulated TCF of SH₁ mode on the various structures of (c) and the values from Ref. 2.

LiNbO₃/SiO₂/SiC 構造上の縦型漏洩弾性表面波特性の解析

Analysis of properties of longitudinal leaky SAW on LiNbO₃/SiO₂/SiC structure

¹山梨大, ²山本エイデック ◯(M2)武居 諒¹, 鈴木 雅視¹, 垣尾 省司¹, 山本 泰司²

¹University of Yamanashi, ²Yamamoto-ADEC LLC.

◯Ryo Takei¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹, and Yasushi Yamamoto²

E-mail: g23te016@yamanashi.ac.jp

1. はじめに

高音速な縦型漏洩弾性表面波(LLSAW)は SAW デバイスの高周波化に有利だが, LiNbO₃(LN)等の単体基板では伝搬減衰が大きい. 著者らは, LN/SiC 接合構造において高 Q な LLSAW が現れることを有限要素法(FEM)により明らかにした^[1]. 一方, アモルファス SiO₂ 膜は SAW デバイスの温度補償膜として知られており, 例えば Rot.YX-LN 上の LSAW において膜厚 $0.15\text{--}0.25\lambda$ (λ : 波長)の SiO₂ 膜を装荷すると, ゼロの周波数温度係数(TCF)を示すことが報告されている^[2]. LN と SiC の間にアモルファス SiO₂ 中間層を設けると, 接合強度が増すと同時に TCF の改善が期待される.

本報告では, LSAW によるスプリアスが抑圧される X50°Y-LN/4H-SiC^[3]に SiO₂ 中間層を設けた LN/SiO₂/4H-SiC 上の LLSAW 特性を解析した結果を報告する.

2. 伝搬特性

Fig. 1 に規格化 LN 板厚 h/λ に対する LLSAW の(a)位相速度と(b)結合係数 K^2 の解析解を示す. 規格化 SiO₂ 膜厚 h_a/λ をパラメータとした. 位相速度は h/λ の増加に伴い減少し, LN 単体の速度に漸近した. また, 同じ h/λ において, h_a/λ の増加に伴い位相速度は減少した. また, SiO₂ を挿入すると K^2 の最大値を示す h/λ が薄い方へシフトした. ただし h_a/λ 増加によるシフトの変化は小さかった.

3. 共振特性

X50°Y-LN/SiO₂/4H-SiC において, 波長 $\lambda=10\text{ }\mu\text{m}$ の Al 製すだれ状電極(IDT)を無限周期とした場合の共振特性を FEM により解析した. LN の材料 Q のみを 600 に設定した. $h_a/\lambda=0.01\text{--}0.06$ における, 比帯域幅の規格化 Al 膜厚 h_{Al}/λ 依存性を解析したところ, どの h_a/λ においても $h_{Al}/\lambda=0.08$, $h/\lambda=0.40$ が最大値を示す条件であった. Fig. 2 にその時の共振特性を示す. 4,000 m/s 付近の LSAW, 6,700 m/s 付近の LLSAW 高次モードによるスプリアス応答は h_a/λ の増加に伴い抑制された. 共振間に現れるスプリアス応答が最も小さい $h_a/\lambda=0.03$ において, LLSAW に対して 10.5%の比帯域幅と 90 dB のアドミタンス比を示した. SiO₂ 中間層を設けない X50°Y-LN/4H-SiC では, $h_{Al}/\lambda=0.085$, $h/\lambda=0.45$ において同様にスプリアス応答が小さい LLSAW 共振特性を示し, 9.9%の比帯域幅を示した. したがって, SiO₂ 中間層を設けると比帯域幅が増加することがわかった.

温度係数が既知である 3C-SiC^[4]を支持基板

として, 前述の SiO₂ 中間層を設ける前後の最適条件における共振周波数の TCF を FEM により解析した. X50°Y-LN/3C-SiC では $-89.5\text{ ppm/}^\circ\text{C}$, X50°Y-LN/SiO₂/3C-SiC では $-81.5\text{ ppm/}^\circ\text{C}$ を示し, 温度特性が改善されることがわかった.

参考文献

- [1] R. Takei, *et al.*, JJAP, **63** (2024) 05SP16.
- [2] K. Yamanouchi and T. Ishii, JJAP, **41** (2002) 3480.
- [3] 武居, 他, 応物春, 17p-C505-3 (2023).
- [4] L. Pizzagalli, Philosophical Magazine Letters, Taylor & Francis, vol. 101 (2021).

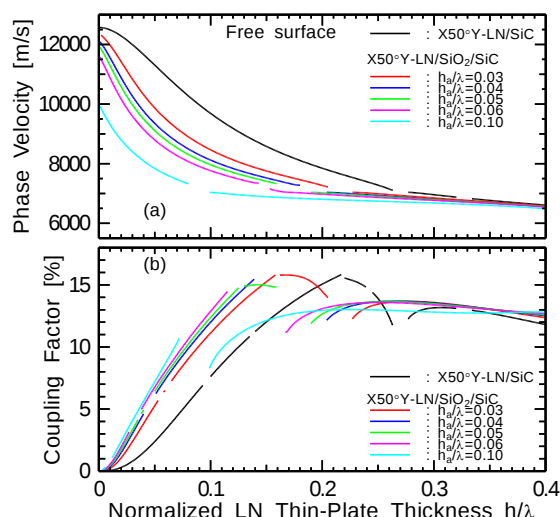


Fig. 1 Calculated (a) phase velocity and (b) coupling factor of LLSAW on X50°Y-LN/SiO₂/4H-SiC.

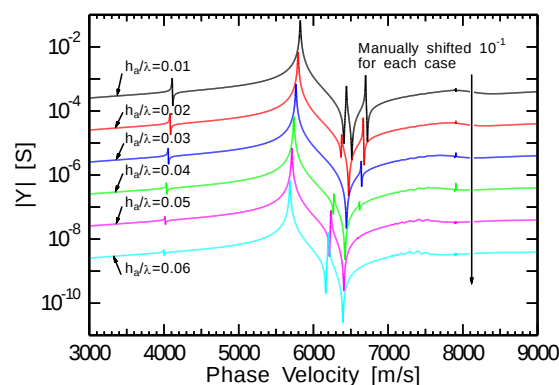


Fig. 2 Simulated resonance properties of LLSAW on X50°Y-LN/SiO₂/4H-SiC.

LiNbO₃/Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄ 接合構造上の縦型漏洩弾性表面波共振特性の解析

Analysis of resonance properties of longitudinal leaky SAW on LiNbO₃/Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄

○(M1) 小林 祐哉¹, 鈴木 雅視¹, 垣尾 省司¹, 木村 悟利² (¹山梨大, ²Piezo Studio)

○Yuya Kobayashi¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹, and Noritoshi Kimura²

(¹University of Yamanashi, ²Piezo Studio Inc.)

E-mail: g24te010@yamanashi.ac.jp

1. はじめに 近年の移動通信システムの発展により SAW デバイスの高性能化が要求されている。La₃GaSiO₁₄(LGS)や La₃Ga_{5.5}Ta_{0.5}O₁₄ 等のランガサイト型結晶は、水晶の 3~5 倍の電気機械結合係数 K^2 を有するが、材料コストが高い、結晶成長時の組成の制御が困難等の問題があった。Naumenko は LGS 支持基板と LiNbO₃(LN) 薄板との接合構造上に Cu-IDT により励振される縦型漏洩 SAW (LLSAW) を解析し、低い伝搬減衰(高い Q)、6,200 m/s の位相速度、14.5% の K^2 が得られる条件を報告している^[1]。

一方、著者らは、単結晶内の均一性が高い等の利点を有するオーダー型ランガサイト結晶 Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄(CTGS)に注目し、前報において、LN(90°, 90°, ψ)/CTGS(0°, 90°, 90°)の接合構造上の LLSAW 共振特性を有限要素法(FEM)により解析し、LLSAW の共振 Q 、反共振 Q のいずれかが高 Q 化される条件を報告した^[2]。

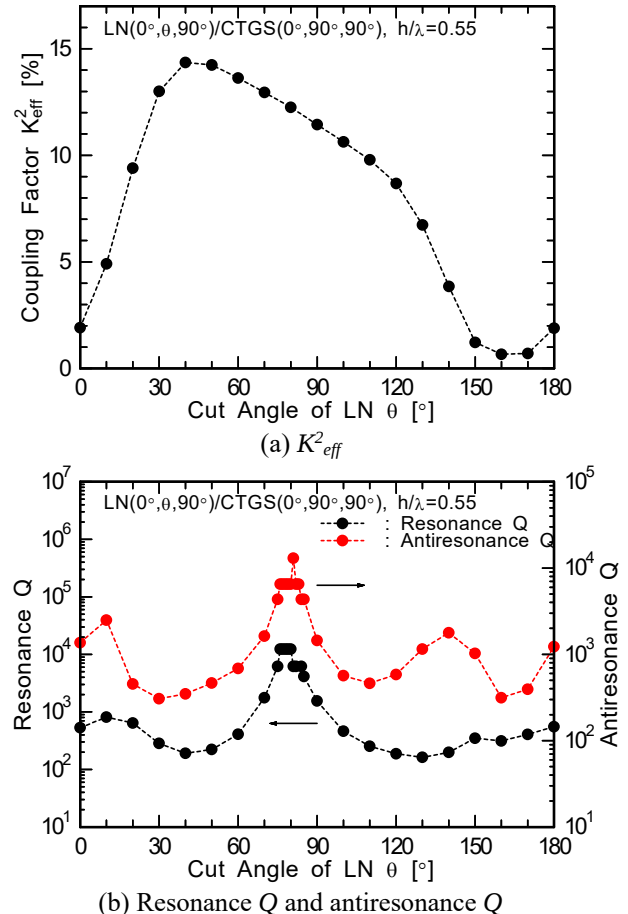
本報告では、LLSAW が速い横波成分と結合しないため、より高い Q が期待できる回転 Y カット 90°X 伝搬 LN ((0°, θ , 90°)LN)を用いた場合の Al-IDT により励振される LLSAW 共振特性を FEM により解析した結果を報告する。

2. 共振特性 LN(0°, θ , 90°)/CTGS(0°, 90°, 90°)において、波長 $\lambda=10\mu\text{m}$ の Al-IDT を無限周期とした構造上の LLSAW 共振特性を FEM により解析した。材料 Q と誘電損は考慮していない。規格化 LN 板厚 h/λ を 0.55 とし、IDT の規格化 Al 膜厚をアドミタンス比が最大を示した $h_{\text{Al}}/\lambda=0.075$ に設定した。

Fig. 1 に、 $h/\lambda=0.55$ の場合の LN 第 2 オイラー角 θ に対する (a) K^2_{eff} 、(b) 共振 Q ・反共振 Q を示す。 K^2_{eff} は $\theta=40^\circ$ 付近で最大値を示し、 θ の増加に伴い減少した。共振 Q は $\theta=80^\circ$ で最大値 12,374 を示し、反共振 Q は $\theta=81^\circ$ で最大値 13,058 を示した。アドミタンス比は $\theta=80^\circ$ で最大値 130 dB を示したため $\theta=80^\circ$ に注目した。

Fig. 2 に、LN(0°, 80°, 90°)/CTGS(0°, 90°, 90°) の LLSAW 共振特性 ($h/\lambda=0.55$) を示す。図中に示す前報の LN(90°, 90°, ψ)/CTGS(0°, 90°, 90°), $\psi=29^\circ, 112^\circ, 142^\circ$ の共振特性 ($h/\lambda=0.52$)^[2] では、共振 Q 、反共振 Q のいずれかが高い Q を示すのに対して、LN(0°, 80°, 90°)を接合させた構造では、共振 Q と反共振 Q がいずれも高い Q を示すことを明らかにした。本報告で見出した LN のオイラー角は、Cu-IDT/LN/LGS 構造において高い Q を示すと報告されているオイラー角^[1]と同一となった。

今後は、実験的検討を進めるとともに、温度特性について検討する。



(b) Resonance Q and antiresonance Q

Fig. 1 Simulated LLSAW properties on Al-IDT/LN/CTGS.

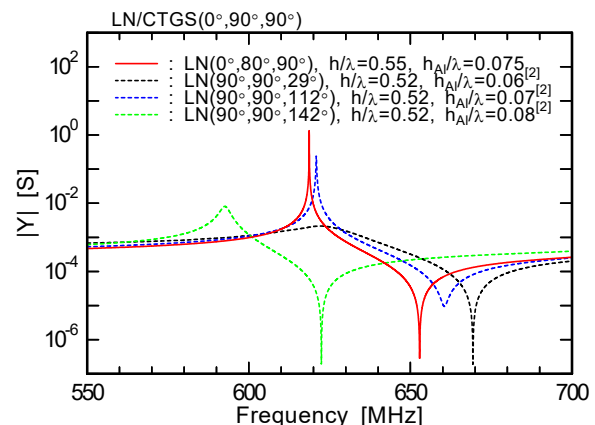


Fig. 2 Comparison of simulated resonance properties.

参考文献

- [1] N. F. Naumenko, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr. **67** (2020) 1909.
- [2] 垣尾, 他, 応物春, 23p-P05-61 (2024).

周期的空隙を有する圧電基板上的 A_1 モードラム波共振特性の解析

Analysis of A_1 -mode Lamb wave resonance properties on piezoelectric substrates with periodic voids

山梨大 ○(M1)小林 駿平, 鈴木 雅視, 垣尾 省司

University of Yamanashi ○Shumpei Kobayashi, Masashi Suzuki, and Shoji Kakio

E-mail: g24te009@yamanashi.ac.jp

1. はじめに 弾性表面波(SAW)デバイスには高周波化, 高 Q 値化, 広帯域化等の高性能化が要求されている. 圧電結晶薄板の上下面を全反射しながら伝搬する板波は, 高次モードでは非常に速い速度で伝搬するため高周波化に有利, かつ広帯域化に有利である. しかし, 必要な板厚が薄いため構造が脆い. 当研究グループでは, 支持基板表面に周期的な空隙を設けた構造を提案し, SH_0 モード板波, S_0 モードラム波に近い共振特性が得られることを有限要素法(FEM)シミュレーションにより明らかにした^[1]. 本報告では, $LiNbO_3$ (LN)薄板中を伝搬する A_1 モードラム波について, 周期的な空隙を設けた接合構造上の共振特性の解析結果を報告する.

2. 共振特性の FEM 解析 LN の A_1 モードラム波において最も比帯域幅が大きくなるカット角を探索した結果, 波長 λ で規格化した LN の板厚が 0.15 のとき $123^\circ YX$ -LN で 10.4 %を示した. そこで, $123^\circ YX$ -LN を薄板とし, Al-IDT の無限周期構造による共振特性を FEM によりシミュレートした. 解析モデルを Fig. 1 に示す. 支持基板として Fig. 1 に示した 6 種類を検討した. 波長 $\lambda=2.63 \mu m$, 支持基板の厚みを 10λ , LN 板厚を h とした. 支持基板表面に幅 w , 深さ $d=0.1\lambda$ の空隙を設置し, 空隙のピッチ p を Al-IDT のピッチと一致させた. Al-IDT の膜厚を 0.03λ とし, LN の材料 Q を 600 と仮定した. また, 基板底面からの反射を防ぐため, 底面を完全整合層(PML)とした. Fig. 2 に示す粒子変位より, A_1 モードラム波の主変位である L 成分の変位が小さくなる部分が接合されるように, 電極の間に空隙を設置した.

Fig. 3 に $123^\circ YX$ -LN の規格化板厚を $h/\lambda=0.15$, 支持基板を 4H-SiC とし, w/p をパラメータとした共振特性を示す. 横軸は周波数に λ を乗じた位相速度である. w/p の増加に伴って A_1 モードラム波の共振特性に漸近することがわかった. サファイアでも SiC と同様に不要応答が少ない共振特性が得られたが, 他の基板では多数の不要応答が観測された. LN と速度差が大きい SiC やサファイアを用いると, A_1 モードラム波の SH 成分, SV 成分が支持基板内に漏れにくい構造が得られると考えられる.

Fig. 4 に w/p を 0.7 に固定し, h/λ に対する位相速度と比帯域幅を示す. h/λ の減少に伴い比帯域幅は増加し, 位相速度は速くなることがわかった. また, $h/\lambda=0.15$ における周期的な空隙を有する $123^\circ YX$ -LN/4H-SiC 構造の比帯域幅は 9.28 %であり, $123^\circ YX$ -LN 単体の 10.4 %に近い値が得られた.

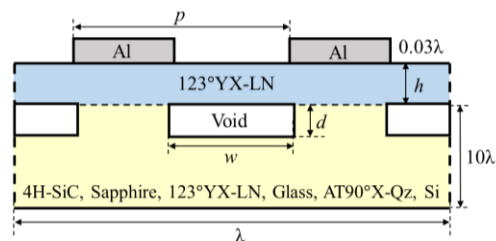


Fig. 1 Analytical model.

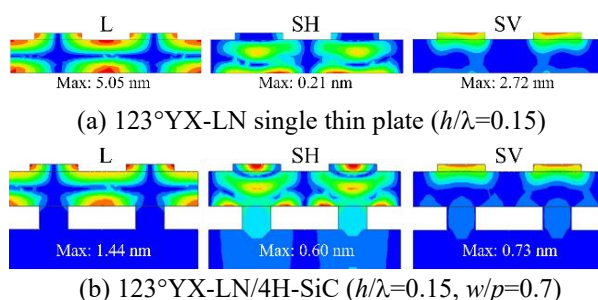


Fig. 2 Simulated particle displacements of A_1 mode.

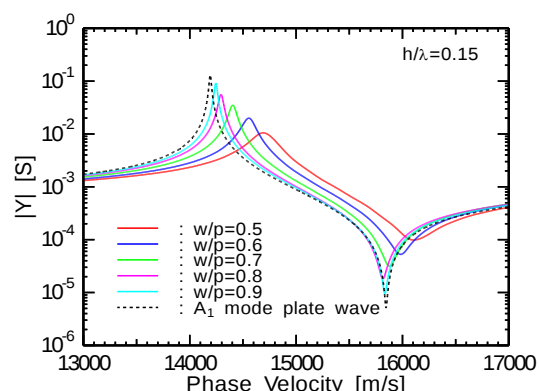


Fig. 3 Simulated resonance properties of A_1 mode on $123^\circ YX$ -LN/4H-SiC with periodic voids.

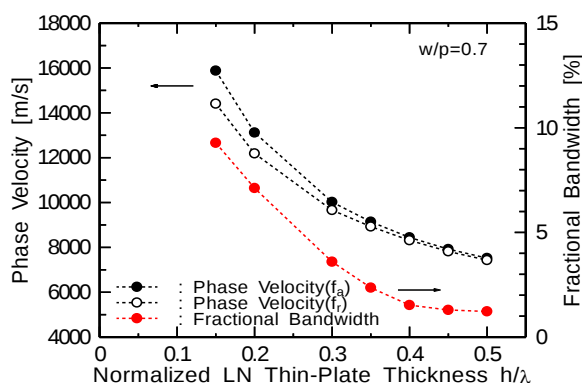


Fig. 4 Phase velocity and fractional bandwidth of A_1 mode on $123^\circ YX$ -LN/4H-SiC with periodic voids.

文献 [1] T. Suzuki, *et al.*, JJAP 62 (2023) SJ1008.