

機関番号：13903

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760049

研究課題名（和文） 圧電薄膜を用いた表面波型液体計測センサの開発

研究課題名（英文） Development of surface acoustic wave piezoelectric films sensors for liquid property measurement

研究代表者

柳谷 隆彦 (Takahiko Yanagitani)

名古屋工業大学 工学研究科 助教

研究者番号：10450652

研究成果の概要（和文）：本研究では、横波型表面波を用いた薄膜センサの実現を目指して、結晶（c 軸）が基板に対して平行な ZnO 膜を石英基板上に作製した。この膜にくし型電極を作製し高周波電界を印加した結果、初めて薄膜単体を用いた横波型表面波励振に成功した。また液体中での動作も確認された。このデバイスに液体測定プローブを作製し、標準導電率液体の導電率の測定を試みた結果、表面波の音速変化から液体の導電率を検出することに成功した。

研究成果の概要（英文）：To obtain shear type surface acoustic wave (SAW) thin film sensor, we fabricated the c-axis parallel oriented ZnO film on silica glass substrate. Shear type SAW was excited at first time, by applying VHF electric field to inter digital electrode fabricated on the film. Moreover, shear type SAW was propagated even in the liquid. Finally, the change of the conductivity in the liquid was detected from the change of the SAW velocity.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：圧電薄膜センサ

1. 研究開始当初の背景

物質に圧電分極が存在するときにはしなやかに比べて硬くなる。このことから、もし物質に導電性があると圧電分極が短絡され音速は遅くなる。表面に伝搬する音波（表面波）の場合は、伝搬路に導電物質を乗せると表層の内部電界が短絡され、導電性の大きさに依って表面波の速度が変化する。このセンサ原理では物質の表面の質量付加と粘性に加えて「導電率」の変化を測定できる。

ここで、弾性表面波には二種類あり、変位方向が表面に垂直な「レイリー型」と表面に平行な「横波型」がある。生体などの液相の物理量を測定する場合には、レイリー型では液体中に音波のエネルギーが漏洩してしま

い伝搬できないため、漏洩のない横波型が必要となる。

一般的に表面波センサは圧電単結晶基板を用いて作製される。これに対して圧電薄膜を使えば、さまざまな種類、形状の基板上にセンサを作製することができる。例えばシリコン集積回路からなるセンサ駆動回路とセンサのワンチップ化や、シリコン MEMS との融合が期待される。

2. 研究の目的

これまで横波型表面波の励振は単結晶基板でしか達成されておらず、「横波型表面波を励振する薄膜」は実現されていない。研究代表者は、結晶が持つスパッタ率の異方性を利

用すれば、本来のc軸方向の成長を一方向のイオン照射により抑制できることをつきとめた。これによりはじめて面内配向 ZnO 膜、AlN 膜の作製に成功し、高効率なバルクの横波励振を達成している。

一方で、これらの膜は理論的に横波型表面波も励振するため、表面波励振用電極 (IDT) を作製できれば、これまで難しかった薄膜を使った横波型表面波の励振が実現すると考えられる。

3. 研究の方法

電気的特性を測定する SAW センサの感度は電気機械結合係数 (K^2) に比例するため、高い K^2 を持つセンサ基板が必要となる。本研究ではさまざまな構造において K^2 の理論解析を行った結果、ZnO 膜 ($0^\circ, 90^\circ, \psi$) / IDT (くし型電極) / 石英基板構造 (図 1) における $\psi = 55^\circ$ 、 $H/\lambda = 0.21$ において K^2 が最大となり、3.4% となることが判った。

さらに本研究では、この ZnO 膜 ($0^\circ, 90^\circ, \psi$) / IDT / 石英基板構造を実際に作製し、 $\psi = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ と変化させた際の K^2 を評価し、理論解析結果と比較した。また、液体中での横波型表面波の励振実験を行った。その結果、初めて薄膜を用いて横波型表面波を励振させることに成功した。次にデバイスに液体測定プールを作製し、液体中の導電率の測定を試みた結果、表面波の音速変化から液体の導電率を検出することに成功した。以下にその結果の詳細について述べる。

4. 研究成果

(1) 横波型表面波センサデバイスの作製

石英基板上に RF マグネトロンスパッタ法を用いて c 軸平行配向 ZnO 膜を成膜した。 ψ 角は $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ (図 1 参照) と変化させた 4 種類の試料を作製した。各試料の膜厚はそれぞれ $4.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ である。次に成膜した基板に Al 膜を真空蒸着し、フォトリソグラフィ技術を用いてトランスバーサル型 IDT を作製した。IDT (くし型電極) の構造は、電極指間隔 ($\lambda/2$): $10 \mu\text{m}$ 、開口長: 5 mm 、伝搬路長: 7 mm 、電極指対数: 54 対とした。今回作製したデバイス全体の構造を図 1 に示す。また作製した IDT の写真を図 2 に示した。

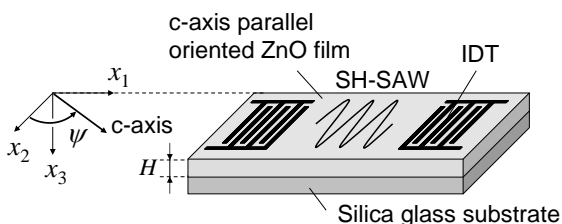


図 1 ZnO 膜 ($0^\circ, 90^\circ, \psi$) / IDT / 石英基板構造

なお、試料の配向性は XRD パターン、極点図により評価し、c 軸平行配向 ZnO 膜が形成されていることを確認している。

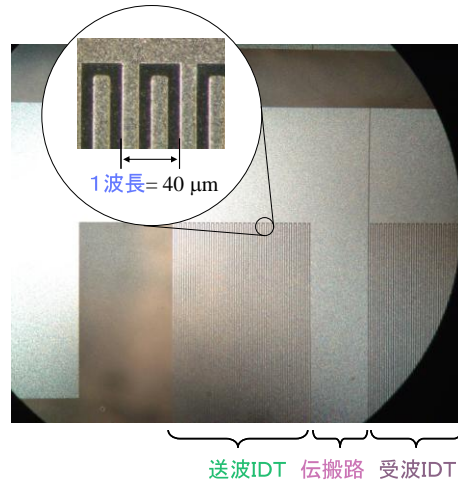


図 2 IDT (くし型電極部) の拡大写真

(2) 横波型表面波センサデバイスの電気機械結合係数 (感度)

感度の大きさの指標となる電気機械結合係数 K^2 を評価するためにネットワークアナライザを用いてデバイスの反射特性と透過特性を評価した。これにより IDT の反射特性から横波型表面波の放射コンダクタンスとサセプタンスを求め、寄生成分を除去し、スミスの等価回路モデルによる解析結果から K^2 を見積もった。

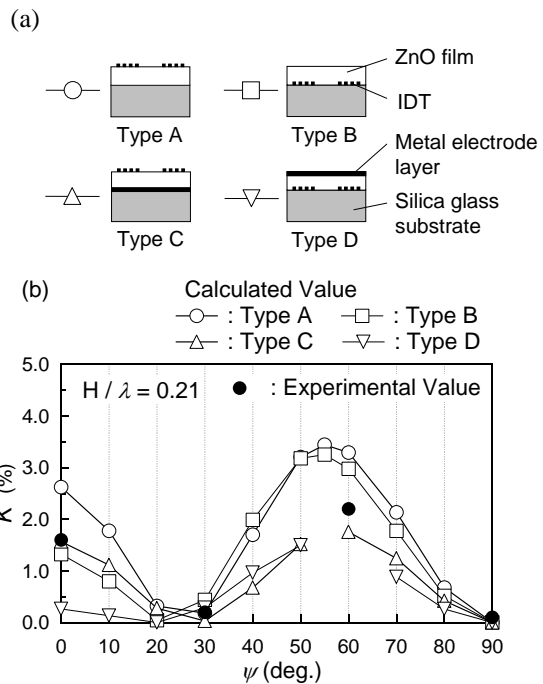


図 3 $H/\lambda = 2.1$ における、横波型表面波 (感度) 電気機械結合係数 K^2 の角度依存性

図 3(b)に $H/\lambda = 0.21$ の各電極配置 (図 3(a)) に関する K^2 を示す。 $\psi = 30^\circ, 90^\circ$ 付近で K^2 は最小値となり、 $\psi = 55^\circ$ で最大値となることがわかる。Type A、B の K^2 が Type C、D に比べて高くなる理由として、電界の方向が挙げられる。Type A、B の場合は短絡電極がないため、SH 型 SAW の伝搬方向に平行な電界が支配的となる。逆に Type C、D は短絡電極があるため、伝搬方向に垂直な電界が支配的となり、 K^2 は小さくなる。

(3) 横波型表面波の液体中励振

次に感度の大きさの指標となる電気機械結合係数 K^2 が最も大きかった $\psi = 55^\circ$ のデバイスを作製した。図 4 に示すようなこの上にシリコンゴムから成る液体測定用プールを作製し、液体中の横波型表面波励振を試みた。図 5 に実際に作製したセンサデバイスの写真を載せた。図 6 に示すようなネットワークアナライザによる透過特性評価系により、液体中の横波型表面波励振を観測した。その結果を図 7 に示す。デバイスでは通常のレイリー型表面波と SH 型 SAW の両方の波が励振される。空気中では二つの波が励振されていることが確認できる。これに対して液体中では通常のレイリー型表面波はエネルギーが液体に漏洩してしまい伝搬しないのに対して、横波型表面波は液体中においても損失なく伝搬していることが確認された。

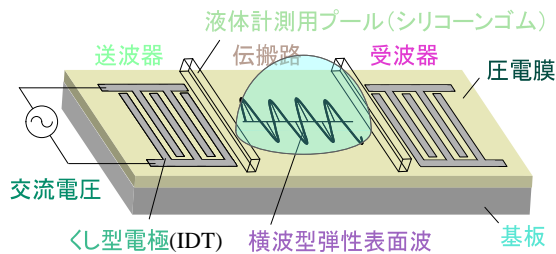


図 4 作製したセンサデバイスの概略図

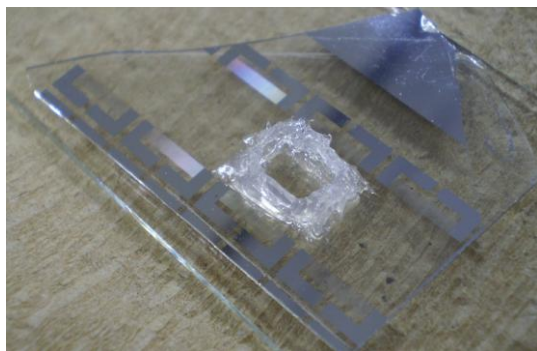


図 5 作製したセンサデバイスの写真

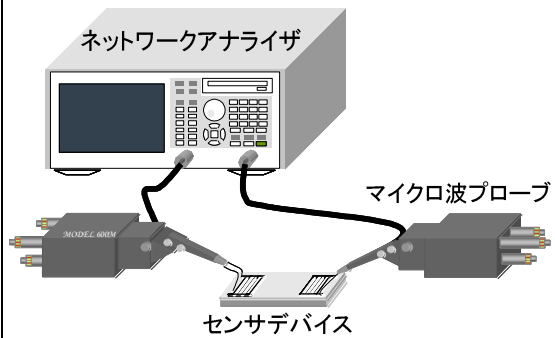


図 6 センサデバイスの評価系

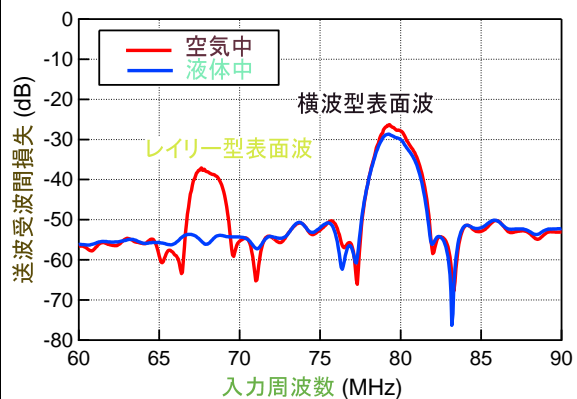


図 7 通常のレイリー波と横波型弾性表面波の励振と伝搬特性

次にセンサの導電率検出特性を調べるために、あらかじめ導電率が既知の濃度の異なる塩化カリウム水溶液を液体測定用プールに導入し、横波型弾性表面波の伝搬特性を測定した。図 8 に導電率の異なる水溶液中の横波型弾性表面波の送波受波間の位相一周波数特性を示す。まず各水溶液において、液体中においても位相ひずみのほとんどない直線な特性が得られていることがわかる。さらに導電率の増加とともに位相角は減少し、予想どおり表面波の音速が低下していることが確かめられた。これは冒頭で述べたように、表面波伝搬に伴って生じる圧電分極による電界が液体の導電性により遮蔽され、圧電効果により実効的な弾性定数が低下したためである。

図 9 に図 8 から読み取った位相差を液体の導電率を横軸としてプロットしたものを示す。青色プロットを見ると導電率の増加とともに顕著に音速が低下 (位相角が減少) し、横波弾性表面波音速から導電率を明確に検出できていることがわかる。

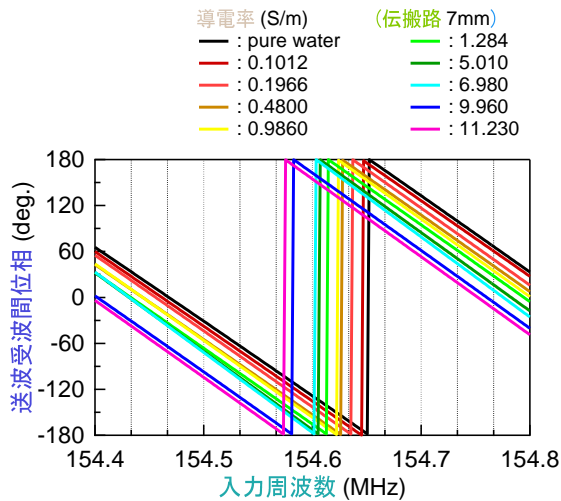


図8 導電率の異なる水溶液中の横波型弾性表面波の送波受波間の位相周波数特性

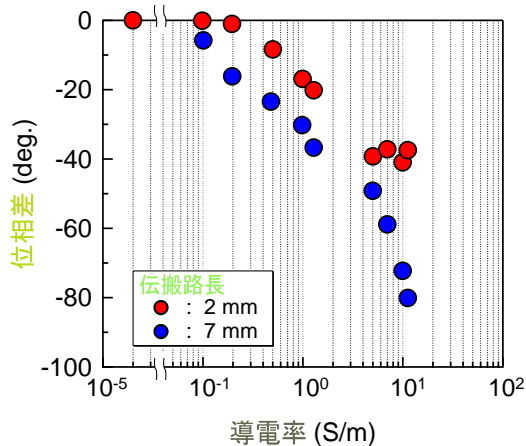


図9 導電率の異なる水溶液中の横波型弾性表面波の純水を基準とした位相差

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

1. T. Yanagitani and M. Kiuchi, "Texture modification of wurtzite piezoelectric films by ion beam irradiation," *Surf. Coat. Technol.*, (2011) in press. 査読有
2. T. Yoshida, T. Yanagitani, and M. Matsukawa, "Observation of induced longitudinal and shear acoustic phonons by Brillouin scattering," *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Contr.*, vol. 58. no. 6, (2011) in press. 査読有

3. T. Yanagitani, N. Morisato, S. Takayanagi, M. Matsukawa, and Y. Watanabe "c-axis zig-zag ZnO film ultrasonic transducers for designing longitudinal and shear wave resonant frequencies and modes" *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelectr., Freq. Contr.*, vol. 58. no. 5, pp. 1062–1068. 査読有
4. T. Yanagitani, H. Sano, and M. Matsukawa, "A method for measuring in-plane unidirectional electrical properties in a wide band-gap semiconductor using a Brillouin scattering method," *J. Appl. Phys.*, vol. 108, 024910-1–024910-4 (2010). 査読有
5. T. Kawamoto, T. Yanagitani, M. Matsukawa, Y. Watanabe, Y. Mori, S. Sasaki and M. Oba, "Large-area growth of in-plane oriented (11-20) ZnO films by linear cathode magnetron sputtering," *Jpn. J. Appl. Phys.*, 07HD16-1–07HD16-4 (2010). 査読有
7. Y. Yaoi, K. Yamamoto, Y. Yamato, T. Yanagitani, M. Matsukawa, K. Yamazaki, and A. Nagano, "Distribution of longitudinal wave velocity and hydroxyapatite crystallite orientation in bovine cortical bone," *Acoust. Sci. & Tech.*, vol. 30, no. 4, pp. 306-309 (2009). 査読有
8. Y. Yaoi, K. Yamamoto, T. Nakatsuji, T. Yanagitani, M. Matsukawa, K. Yamazaki, and A. Nagano, "Anisotropy of longitudinal wave velocity and hydroxyapatite orientation in bovine cortical bone," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 48, pp. 07GK06-1–07GK06-4 (2009). 査読有
ほか 4 件

[学会発表] (計 3 7 件)

1. T. Yanagitani, K. Arakawa, K. Kano, A. Teshigahara, M. Akiyama, "Giant shear mode electromechanical coupling coefficient k_{15} in c-axis tilted ScAlN films" *IEEE Ultrason. Symp.* (2010) 4 pages, in press.
2010 年 10 月 14 日
2. M Suzuki, and T. Yanagitani, "Influence of shadowing effect on shear mode acoustic properties in the c-axis tilted AlN films," *IEEE Ultrason. Symp.* (2010) 4 pages, in press.
2010 年 10 月 14 日
3. K. Arakawa, T. Yanagitani, K. Kano, A. Teshigahara, and M. Akiyama, "Deposition techniques of c-axis-tilted ScAlN films by conventional RF magnetron sputtering," *IEEE Ultrason. Symp.* (2010) 4 pages, in press.
2010 年 10 月 14 日
4. S. Takayanagi, T. Yanagitani, M. Matsukawa and Y. Watanabe, "A simple technique for obtaining (11-20) or (10-10) textured ZnO films by RF bias sputtering" *IEEE Ultrason. Symp.* (2010) 4 pages, in press.
2010 年 10 月 14 日

5. T. Yanagitani, H. Sano, and M. Matsukawa, "Measurement of electric properties in a ZnO single crystal via electromechanical coupling using Brillouin scattering method," *IEEE Ultrason. Symp.* pp. 1074–1077 (2009). 2009年9月22日
6. N. Morisato, S. Takayanagi, T. Yanagitani, M. Matsukawa and Y. Watanabe, "Multilayered shear wave resonator consisting of c-axis tilted ZnO films," *IEEE Ultrason. Symp.* pp. 2162–2165 (2009). 2009年9月22日

ほか31件

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

1. 名称：薄膜製造方法及び装
発明者：柳谷隆彦, 高柳真司, 松川真美, 渡辺好章
権利者：名古屋工業大学、同志社大学
種類：特願
番号：2010-19574
出願年月日：2010年01月29日
国内外の別：国内
2. 名称：ウルツ鉍圧電体薄膜、該薄膜の製造方法及び製造装置、並びに薄膜共振子
発明者：柳谷隆彦、鈴木雅視、渡辺好章
権利者：名古屋工業大学、同志社大学
種類：特願
番号：2010-270539
出願年月日：2010年12月03日
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

http://researcher.nitech.ac.jp/html/191_ja.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳谷 隆彦 (Takahiko Yanagitani)

名古屋工業大学 工学研究科 助教

研究者番号：10450652