# 圧電薄膜を用いた非侵襲的生体計測 MEMS センサの開発

Non-invasive bio MEMS sensor consisting of piezoelectric films

1091023



研究代表者 名古屋工業大学 機械工学科 助 教 柳 谷 隆 彦

### [研究の目的]

本研究では MEMS センサ技術を駆使して, 生体検査用センサデバイスを開発することを目 的としている。具体的には尿などからのマーカ 反応を質量付加, 粘性, 導電率の物理量から計 測する液体用センサ基盤技術を開発する。その ために本研究では横波型表面波を用いた液体中 導電率センサの実現を目指す。

物質に圧電分極が存在するときはしないときに比べて硬くなる。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[1]。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。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、AIN 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 [2-4]。

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。

### [研究内容,成果]

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 $(0^\circ,90^\circ,\varPsi)$ /IDT (くし型電極)/石英基板構造 (図 1) における  $\varPsi=55^\circ$ 、 $H/\lambda=0.21$  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ができた。以下にその結果の詳細について述べる。

# ・横波型表面波センサデバイスの作製 [5]

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。  $\Psi$  角  $=0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  (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  $4.5\sim5.0$  mm 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  $(\lambda/2):10$  mm,開口長:5 mm,伝搬路長:2 mm および 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。

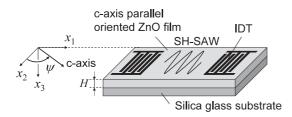


図 1 ZnO 膜 (0°, 90°, φ)/IDT/石英基板構造

なお、試料の配向性は XRD パターン、極点図により評価 [2-4] 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。

・横波型表面波センサデバイスの電気機械結合 係数(感度)[5]

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(b) に H/λ=0.21 の各電極配置(図 3

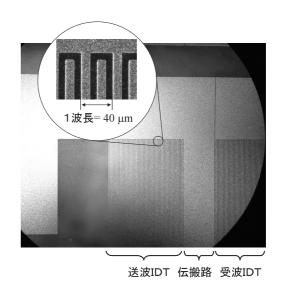
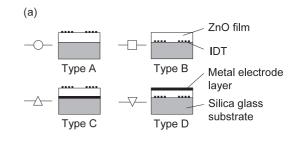


図2 IDT (くし型電極部) の拡大写真

(a) に関する  $K^2$ を示す。 $\Psi$ =30°, 90°付近で  $K^2$ は最小値となり, $\Psi$ =55°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。



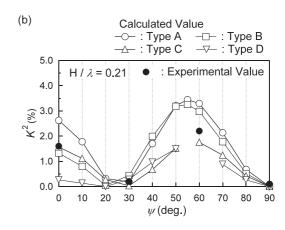


図3 H/λ=2.1 における, 横波型表面波(感度)電気機械 結合係数 K<sup>2</sup>の角度依存性

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。

## ・横波型表面波の液体中励振 [5]

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 コー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。

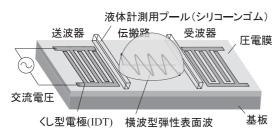


図4 作製したセンサデバイスの概略図

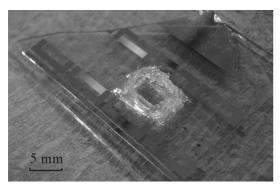


図5 作製した小型センサデバイスの写真

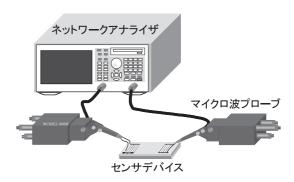


図6 センサデバイスの評価系

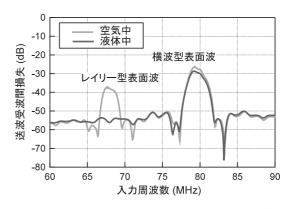


図7 通常のレイリー波と横波型弾性表面波の励振と伝搬 特性

#### ・液体中導電率センサの試作

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 - 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的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「1]。

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 に音速が低下し、横波弾性表面波音速から導電

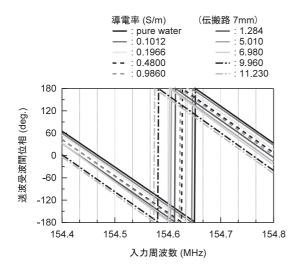


図 8 導電率の異なる水溶液中の横波型弾性表面波の送波 受波間の位相周波数特性

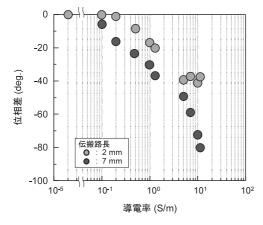


図 9 導電率の異なる水溶液中の横波型弾性表面波の純水 を基準とした位相差

率を明確に検出できていることがわかる。また 伝搬路2mmと短かくしたデバイスの位相差を 赤色プロットで示す。伝搬路7mmのものと比 べると、長距離を伝搬させて方が位相差を大き くとることができ、感度を稼げることがわかる。 この結果から7mm以上のさらに長い伝搬路 のセンサを作製すれば、特性の向上が期待でき るが、音波の回折や電極での反射・散乱の影響により、位相の直線性も劣化するため、本実験の伝搬路7mm程度が最適と思われる。

# [今後の研究の方向, 課題]

本研究では、薄膜を使った横波弾性表面波の 液体中での送受波に初めて成功した。さらに表 面波音速から液体の導電率を検出できることを 示した。このセンサでは電極構成によって導電 率の他に液体の質量付加、粘性と誘電率を測定 できる。今後これらの物理量の検出により尿な どからのマーカ反応を非侵襲的に測定できる小 型な生体情報検出センサの開発を行う。在宅で 日常的にマーカをモニタリングできる予防医学 に基づいたセンサチップの実現を目指す。

#### [成果の発表, 論文等]

- [1] 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. 108, 024910 (2010)
- [2] T. Yanagitani and M. Kiuchi: "Texture modification of wurtzite piezoelectric films by ion beam irradiation," *Surf. Coat. Technol.*, (2011) in press.
- [3] S. Takayanagi, T. Yanagitani et al.: "A simple technique for obtaining (11–20) or (10–10) textured ZnO films by RF bias sputtering," *Proc. IEEE symp.* (2011) in press.
- [4] 柳谷隆彦, 鈴木雅視, 渡辺好章:「ウルツ鉱圧電 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」特願 270539 (2010)
- [5] 中東佑太, 柳谷隆彦, 他: 「c 軸平行配向 ZnO 膜/ 非圧電性基板構造における SH-SAW の電気機械結 合係数およびセンサ応用の検討」圧電材料・デバイ スシンポジウム, 講演論文集 pp. 129-132 (2011)