

SOI ウエハによる音響周波数分解センサの製作と測定

Fabrication and Characterization of Acoustic Frequency Analysis Sensors made of SOI Wafers

山下 幸一*・藤田 博之**・年吉 洋**

Kouichi YAMASHITA, Hiroyuki FUJITA and Hiroshi TOSHIYOSHI

1. はじめに

人間の聴覚機構を模倣し、音響信号を周波数分解してその音の特徴をつかむ音響センサあるいは、音解析装置などが開発されている。なかでも機械的共振子アレイを用いて周波数分解するという試みが行われている。^{1,2)} マイクロマシニング技術で作製された周波数分解センサとして、筆者らは、異なる共振周波数を持つ振動子をアレイ化した構造に加え、振動子そのものに振動を検出するための機構を設けたマイクロデバイスを作製した。³⁾ 検出機構として、静電容量及びピエゾ抵抗の変化をとる2つのタイプを検討した。本報告では、周波数分解センサの構成、および周波数分解センサの振動子の共振周波数測定について報告する。

2. センサの構成

2.1 静電型

図1に、静電型の周波数分解センサと測定システムを示す。このセンサは、両端に櫛歯型の静電駆動アクチュエータを持つ背骨状の構造と、それに直交して接続されている複数の振動子で構成されている。振動子の先端には、さらに直交して櫛歯型の静電容量検出部が配置されている。サスペンションの一部と振動子の櫛歯と向かい合う櫛歯のベース部分は、アンカーとなって、基板に固定されているが、その他の部分は浮いた状態となっている。音響信号をマイクロフォン等でひろい、その信号を増幅したものを駆動電圧として背骨の一端にあるアクチュエータを駆動する。共振器全体が水平方向に振動をはじめると、それぞれの振動子は固有共振周波数で共振し、対応する音響周波数成分の強度を定量化することができる。この振動を各振動子先端

の静電容量検出部で検出し、アンプ、コンピュータを用いて信号処理する。この一連の作業により、入力信号の周波数スペクトルを得ることができる。

振動子の長さは、検出したい周波数で異なる。本研究では、共振周波数が650 Hz-7700 Hzと設定し、8本の振動子の長さを1534 μm -363 μm の範囲で設計した(図1では3本)。これらの振動子の長さは、FEM解析ソフトのANSYSを用いて算出した。また、振動子の幅を5 μm 、厚みを50 μm とした。

本研究の静電型周波数分解センサは、基板に対して水平に振動するため検出電極が同じ水平面内にあり、構造を単純にすることができる。一方、これまでの振動子が基板面外に振動する垂直振動タイプは、振動子の振れ幅の外側に検出部を設ける必要があり、構造が複雑になるという欠点がある。

図2に製作された周波数分解センサのSEM写真を示す。また、図3に振動子先端の静電容量検出部を示す。

図4に、振動子途中にオモリを形成したサンプルを示す。振動子の長さが同じでもより低い共振周波数を小型のデバイスで実現しようと意図したものである。また、図5

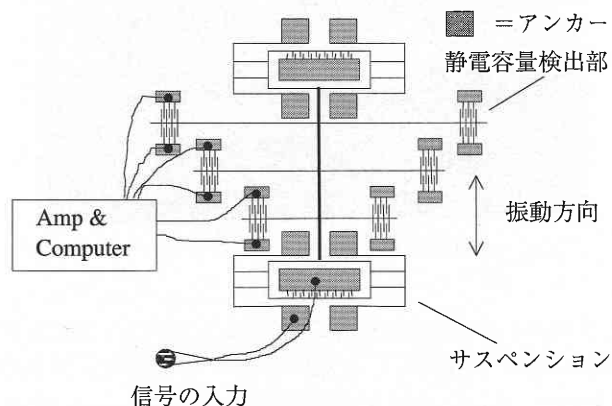


図1 静電型周波数分解センサと測定システム

*東芝テック株式会社 技術本部 製品開発センター

**東京大学生産技術研究所 マイクロメカトロニクス国際研究センター

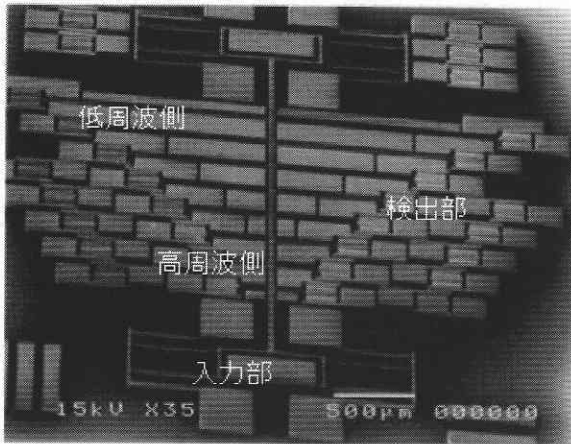


図2 静電型周波数分解センサのSEM写真

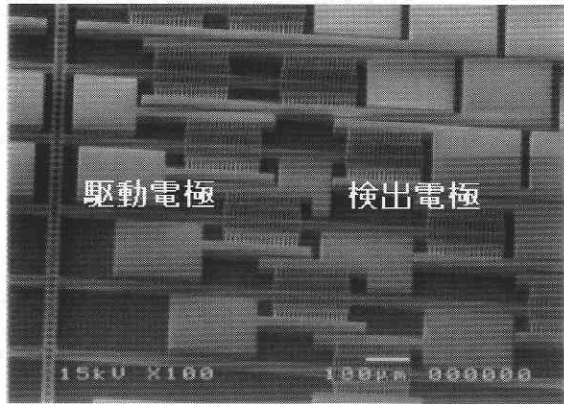


図5 振動子途中に駆動端子つきサンプル

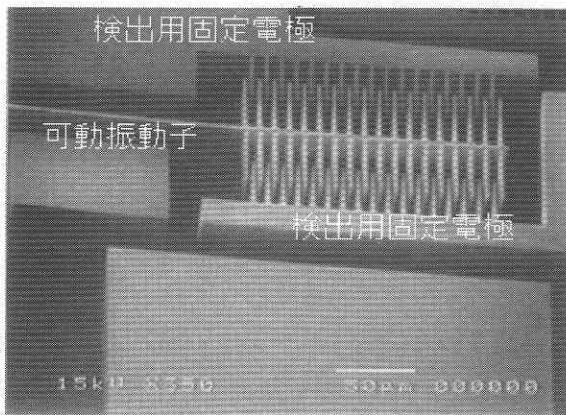


図3 静電型周波数分解センサの静電容量検出部

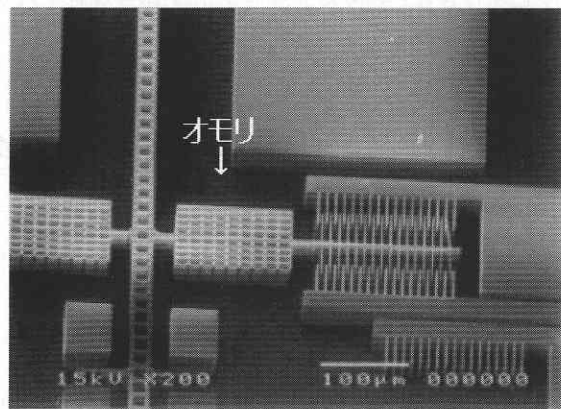


図4 静電型周波数分解センサのオモリつきサンプル

には振動子途中で振動子先端の静電容量検出部と同様な櫛歯型の電極(駆動端子)を設けたサンプルを示す。電極部で振動子の拘束、開放を電気機械的に行うことによって振動子の境界条件を変化させ、振動子の共振周波数等を制御

しようとするデバイスである。

2.2 ピエゾ抵抗型

図6に、ピエゾ抵抗型周波数分解センサの測定システムを示す。大きさが2mm角で、厚みが、5.5 μm の薄い膜がダイヤフラムとしてあり、ここから音響信号を直接入力する。入力された音は、背骨を通り、振動子の根元へと到達する。入力周波数成分と合致する共振子が基板と垂直方向に振動する。各振動子は、背骨から200 μm のところまで基板とつながる。背骨の幅は100 μm 、振動子の幅は200 μm 、間隔も200 μm とした。振動子の長さも、FEM解析ソフトのANSYSで計算され、共振周波数を650Hz-7700Hzとした場合、3153 μm -859 μm となった。振動の検出部として、各振動子の根元付近にピエゾ抵抗領域を形成した。4つの抵抗体を形成し、ホイートストーンブリッジを組む。ブリッジに電圧をかけ、他の2つの端子からの出力電圧を観察する。振動子が振動するとその振動子上にあるピエゾ抵抗体の抵抗値が変化し、ブリッジバランスが変わり、出力電圧値が変化する。これをコンピュータで検出し、各振動子の振幅を観測する。

このピエゾ抵抗型周波数分解センサは、各振動子を背骨近傍で固定部である基板とつながる構造とした。このような構造とすることにより、ダイヤフラムから背骨を通して、各振動子に振動が伝わる経路を確保した上で、各振動子に独立したピエゾ抵抗素子を形成することを可能とした。また、背骨近傍に固定部があるため、背骨そのものが大きく振動してしまい、各振動子が固有共振周波数以外で振動してしまうのを防ぐ構造とした。

図7にピエゾ抵抗型周波数分解センサの表面からのSEM写真を、図8には、ピエゾ抵抗型周波数分解センサの裏面からのSEM写真を示す。また、図9には、長い振動子の先端にオモリを形成し、より低い共振周波数となるようにしたサンプルを示す。

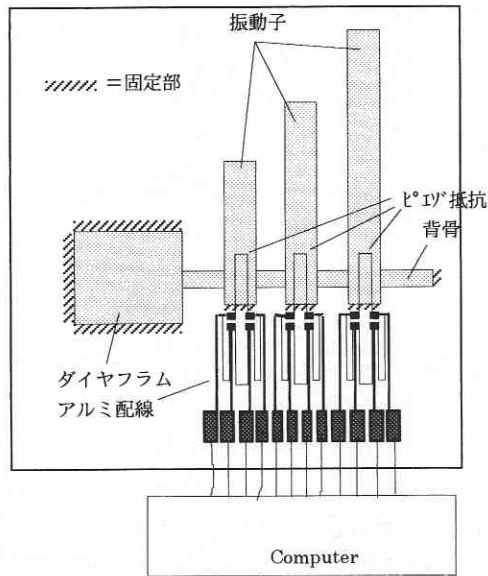


図6 ピエゾ抵抗型周波数分解センサの測定システム

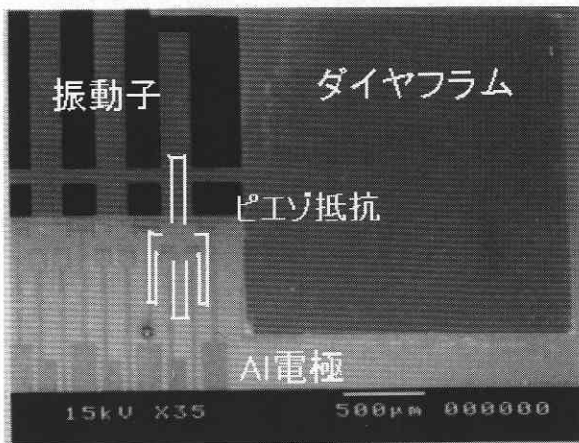


図7 ピエゾ抵抗型周波数分解センサの表面 SEM 写真



図8 ピエゾ抵抗型周波数分解センサの裏面 SEM 写真

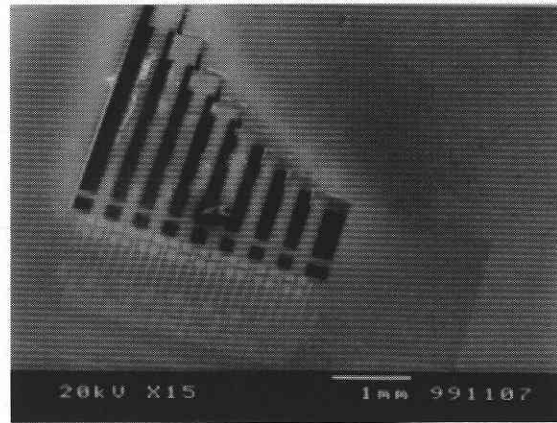


図9 オモリつきピエゾ抵抗型周波数分解センサ

3. 共振周波数の測定

3.1 静電型

図10に示すシステムで静電型周波数分解センサの振動子それぞれの共振周波数の測定を行った。サスペンション部にある信号入力部にファンクションジェネレータからの信号を入力し、周波数分解センサを周波数を変えながら振動させ、振動子先端付近に、微小振動計のレーザーをあてて、共振周波数の測定を行った。測定結果を図11に示す。計算値と実測値の間には、5-35%の誤差が生じ、特に振動子が長い（共振周波数が低い）振動子で誤差が大きかった。これは、エッチングプロセスの特性により、振動子幅が設計値の $5\mu\text{m}$ よりも細くなったためと考えられる。すなわち、振動子の分布弾性定数が低下した効果であると考えられる。

3.2 ピエゾ抵抗型

図12に示すシステムでピエゾ抵抗型周波数分解センサの振動子それぞれの共振周波数の測定を行った。積層型圧電アクチュエータ上にピエゾ抵抗型周波数分解センサを接着し、アクチュエータにファンクションジェネレータから交流電圧を与えて振動させ、それぞれの振動子の共振周波数をレーザーパイプロメータで測定した。測定結果を図13に示す。共振周波数は、ANSYSによる計算値と5-13%という小さな誤差にとどまり、ほぼ計算値どおりといえる。図14には、オモリつきとそうでないサンプルの共振周波数測定結果を示す。オモリは、図9に示すように、振動子先端付近の振動子の面積を広く取ることで形成されている。配置の関係から5番目に長い振動子までオモリが形成され、振動子の長さは、オモリがないセンサと同じにした。オモリがついたサンプルのオモリが形成された振動子において、10%程共振周波数が低くなり、オモリの効果はあまり大きくないが、あることが確かめられた。

研究速報

光ヘテロダイン微小振動計(日本科学エンジニアリング MLD-103)

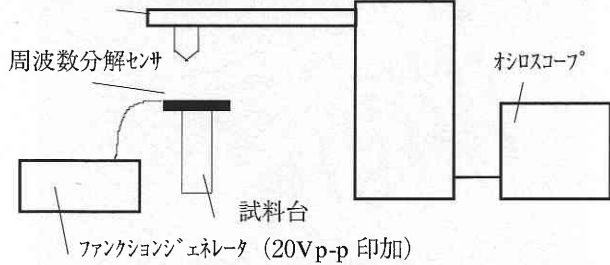


図10 共振周波数測定システム(静電型)

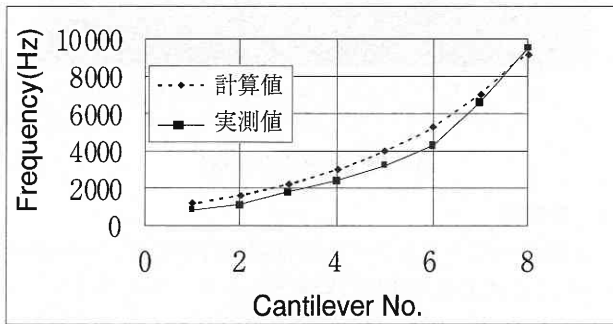


図11 静電型の共振周波数測定結果

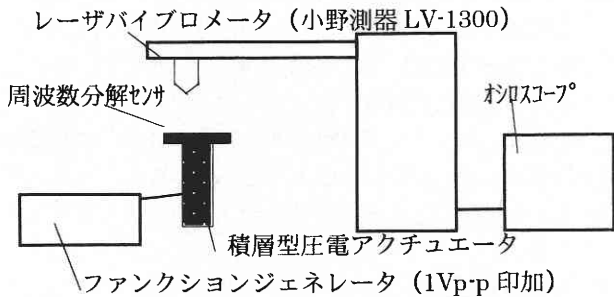


図12 共振周波数測定システム(ピエゾ抵抗型)

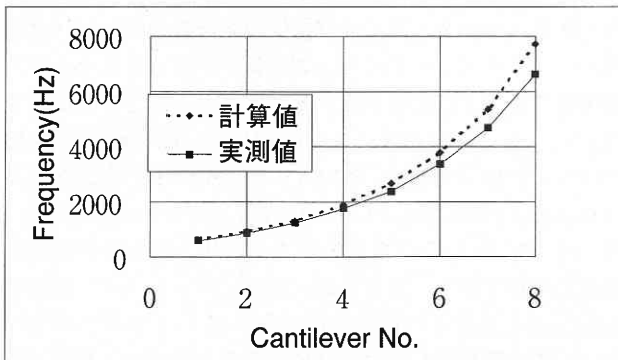


図13 ピエゾ抵抗型の共振周波数測定結果

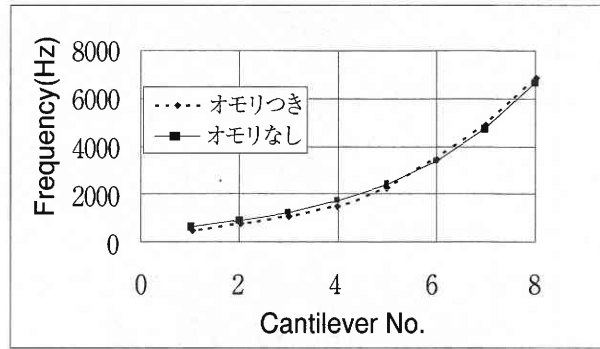


図14 オモリによる共振周波数の測定結果

4. ま と め

製作した2種類の周波数分解センサについて、その構成と振動子の共振周波数の測定について報告した。また、オモリによる共振周波数を下げることで、駆動電極による共振周波数のコントロールの提案も行った。今後は、検出素子の製作だけでなく、測定システムの開発が必要である。

5. 謝 辞

本研究を進めるにあたり、終始ご指導、ご協力をいただいた、東京大学生産技術研究所の安宅学助手、飯塚哲彦技官、三田吉郎氏(現 東京大学大規模集積システム設計教育研究センター助手)、三田信氏、香川大学の橋口原助教授、東京電機大学の小林大講師に感謝いたします。

(2000年12月8日受理)

参 考 文 献

- 1) D. Haronian, N. C. MacDonald, "A microelectromechanics Based Artificial Cochlea (MEMBAC)," Digest of Technical Papers of TRANSDUCERS '95, pp. 708-711 (1995).
- 2) M. Harada, N. Ikeuchi, S. Fukui, H. Toshiyoshi, H. Fujita, S. Ando, "Micro Mechanical Acoustic Sensor toward Artificial Basilar Membrane Modeling", The Transactions of The Institute of Electrical Engineers of Japan (Trans. IEE Japan), Vol.119-E, pp. 125-130 (1999).
- 3) 山下幸一・Tarik Bourouina・小川実・藤田博之・年吉洋：電気学会センサ・マイクロマシン準部門総合研究会 25-30 (1999)