

研究概要報告書

(1/3)

| | | | |
|-------|--|--------|------|
| 研究題目 | 微小ヘルムホルツ共鳴を利用した MEMS マイクロフォン | 報告書作成者 | 高橋英俊 |
| 研究従事者 | 高橋英俊 | | |
| 研究目的 | <p>ロボットが数 cm から数 m 先の物体を検知する手法の一つとして、超音波距離センサによる距離計測がある。超音波の送信部と受信部から構成される超音波距離センサは、物体で反射した超音波を受信部で検出することで物体との距離を計測する。これは、小型な距離センサであるため、ロボットの駆動部分に取り付け、物体の詳細な距離計測を行うことで、障害物の回避等が可能となっている。これらの用途において、取り付け部位の運動に干渉せず、正確に物体認識をするために、超音波距離センサのさらなる小型化および感度向上が求められている。</p> <p>超音波距離センサの小型化に関しては、超音波距離センサの受信部に MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) マイクロフォンが用いられている。数十から数百 μm サイズの構造体を構成要素とする MEMS マイクロフォンは、空気中を伝播する音波をその構造体の機械的振動に変換する。そののち、機械的振動を圧電素子やピエゾ抵抗素子などによって、電気的変動に変換することで音波を電気信号として検出する。</p> <p>また、MEMS マイクロフォンの感度向上に関しては、構造体の形状や材質を工夫することで、感度を向上させる研究が行われている。特に音波を機械的振動に変換する構造体の機械的共振周波数を用いる超音波の周波数と一致させることで、高い Q 値及び増幅率を得ることができる。これにより、特定周波数を用いる超音波距離センサにおいて、高 S/N 比および高感度化を実現できる。</p> <p>本研究では弦楽器などに一般的に使われているヘルムホルツ共鳴器と MEMS マイクロフォンを組み合わせることで、マイクロフォンの感度の向上を目指す。</p> | | |

研究内容

本研究では、マイクロフォンに対して送信される信号の周波数として、20 kHz 程度の超音波を用いることとした。またデバイスの大きさをマイクロフォンがロボットの指先などに対して十分な小型・薄型形状を持つために、2 mm×2 mm×1 mm の大きさに設計した。

デバイスは図 1 に示すように 3 つの基板がからなる。上部の基板にはピエゾ抵抗型カンチレバーがヘルムホルツ共鳴器のネック部分の上に配置されている。真ん中の基板にはチャンバー部分が形成されている。下部の基板はチャンバーを塞ぐ平板となっている。ヘルムホルツ共鳴器のネック及びチャンバーの大きさは、それぞれ 200 μm × 200 μm × 300 μm , 1200 μm × 1200 μm × 300 μm に設計した。ヘルムホルツ共鳴器の共振周波数の理論値は 25.4 kHz となる。またピエゾ抵抗型カンチレバーの大きさを 130 μm × 40 μm × 0.3 μm とした。このときカンチレバーの共振周波数の理論値は 20.6 kHz となる。

試作したデバイスを図 2 に示す。センサチップの中心にピエゾ抵抗型カンチレバー及びヘルムホルツ共鳴器のネック部分が配置されている。試作したカンチレバーの抵抗値は 3.22 k Ω であった。

ヘルムホルツ共鳴器によってカンチレバーの抵抗変化率が増幅し、デバイスの感度が向上することを確認した。実験セットアップの写真及び概念図を図 3 に示す。超音波の発生源であるスピーカから 150 mm 離れた位置に試作したデバイス及び音圧校正用のマイクロフォンを配置した。デバイスはスピーカに対して正面を向くように配置した。スピーカから 1 kHz から 50 kHz までの周波数を変化させた音波を与えたときの応答を計測した。ブリッジ・アンプ回路を通じてデバイスの抵抗変化を電圧変化に変換し、ネットワークアナライザ及びオシロスコープで信号を計測した。実験では、ヘルムホルツ共鳴器のないデバイスとヘルムホルツ共鳴器付きのデバイス、それぞれの応答を計測し、比較することにより、ヘルムホルツ共鳴器による感度の増幅率を評価した。

1 kHz から 50 kHz まで周波数を変化させたときの応答を図 3 に示す。グラフの横軸は入射音波の周波数、縦軸は単位音圧あたりの抵抗変化率 $\Delta R_{p-p}/R$ である。ここで単位音圧あたりの抵抗変化率は、抵抗変化率をマイクロフォンで計測した音圧振幅で割ったものとして計算した。

また試作したデバイスを用いて、距離計測が可能であることを確認した。感度向上実験で用いたスピーカ、デバイス、ブリッジ・アンプ回路及びオシロスコープと同様のものを使用した。デバイスを移動ステージ上に固定し、スピーカとの距離を変化させ、スピーカへの入力信号とデバイスの出力信号の時間差から距離を算出した。0.5 m から 6.0 m の距離において実験を行った。

| | |
|---------|--|
| 研究のポイント | <p>研究のポイントは、共振系をより効率的に用いる方法として、機械的な共振系を有する MEMS マイクロフォンに微小なヘルムホルツ共鳴器を組み合わせる点である。2 つの共振系を直列につなげることで、構造体単体の共振系に比べて、より高い Q 値及び増幅率が得られ、その結果、センサの感度が向上させることができる。</p> <p>共鳴器としてヘルムホルツ共鳴器を用いる理由としては、小型・薄型での設計が可能な共鳴器であることが挙げられる。すなわち、単純な気柱共鳴を用いた共鳴器では、共鳴器の大きさは音波の波長に制約を受ける。例えば 25 kHz の超音波を用いた場合、その 1/4 波長は 3.4 mm であるため、これ以上気柱共鳴器を薄くすることはできない。一方、ヘルムホルツ共鳴器の共振周波数は共鳴器の体積や開口面積などの比によって決定されるため、薄型の共鳴器を設計することも可能である。</p> |
| 研究結果 | <p>ヘルムホルツ共鳴のない状態におけるカンチレバーの共振点は 23.8 kHz であり、設計値とほぼ一致した。このとき抵抗変化率は $0.1 \times 10^{-3} \text{ Pa}^{-1}$ であった。一方、ヘルムホルツ共鳴が存在する状態における共振点は 22.3 kHz であった。このときの抵抗変化率は $1.4 \times 10^{-3} \text{ Pa}^{-1}$ であった。すなわち、ヘルムホルツ共鳴器によって試作デバイスの音波に対する抵抗変化率が 14 倍増幅された。またデバイスの Q 値は 2.3 倍増幅された。</p> <p>またデモンストレーションとして製作したデバイスを用いて距離計測が 0.5 m から 6.0 m において可能であることを示した。</p> |
| 今後の課題 | <p>今後の課題として、製作したデバイスをさらに小型化すること、また距離計測がどの程度の精度で可能であるかを実証することが挙げられる。デバイスに用いる共振周波数を本研究で用いた周波数よりも高く設計することで、より小型なヘルムホルツ共鳴器が作製できる。また距離計測の方法として、本研究ではデバイスを移動ステージ上に固定し、スピーカとの距離を変化させ、スピーカへの入力信号とデバイスの出力信号の時間差から距離を算出したが、より実用化を目指すために、デバイスとスピーカを同じ基板上に配置し、物体からの反射波を計測する必要があると考えられる。</p> |

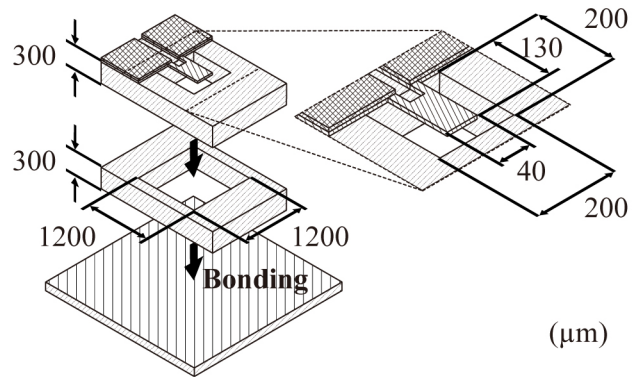


図1 デバイスの設計図

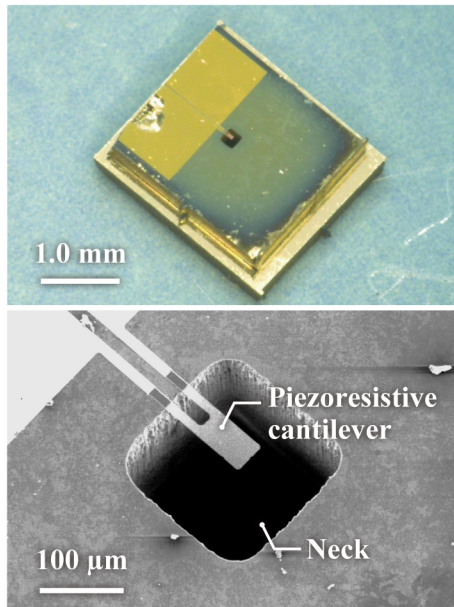


図2 製作したデバイスの写真

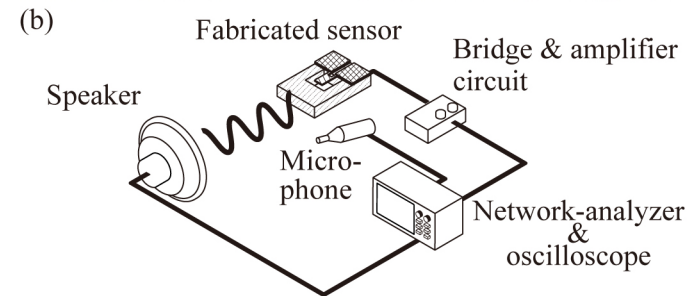
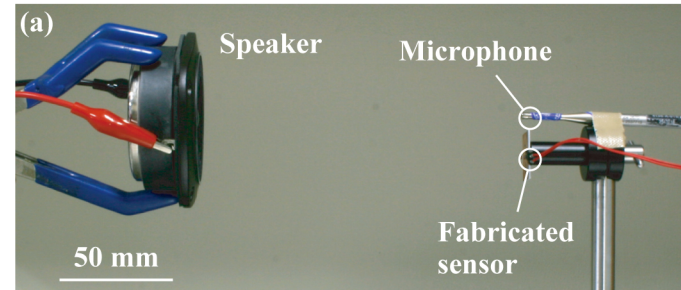


図3 実験セットアップの写真及び概念図

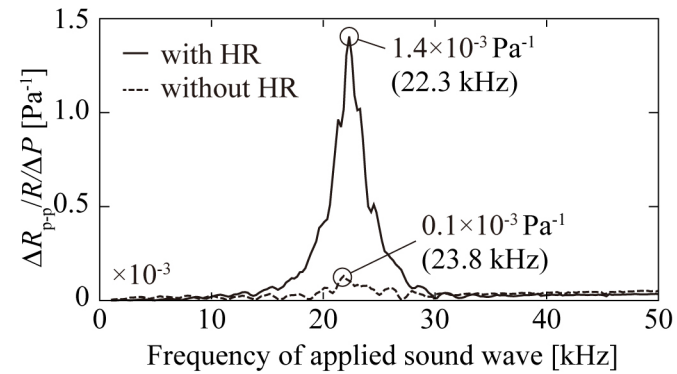


図4 実験結果