

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月28日現在

機関番号：52301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560434

研究課題名（和文） 光全反射を利用した超広帯域・大音圧用マイクロホン

研究課題名（英文） A super-wide-range microphone for extremely large sound pressure by use of optical total reflection.

研究代表者

鈴木 靖（SUZUKI YASUSHI）

群馬工業高等専門学校・電子メディア工学科・教授

研究者番号：50132577

研究成果の概要（和文）： ガラスと空気の境界面（曲面）における光の全反射を利用して音圧を測定する、全く新しい原理のマイクロホンの実用が可能であることを示した。センサ部（ガラス）と光源部（半導体レーザー）および光検出部を一体化したマイクロホンヘッドのプロトタイプを製作して実験を行い、超広帯域かつ大音圧の測定が可能であることを示すとともに、光ファイバマイクロホンとしての可能性も示した。さらに、実用時に問題となる周囲環境の変動の影響に対する補償法の提案を行った。

研究成果の概要（英文）： A novel microphone, which uses the optical total reflection on the curved interface between glass and air, is feasible for practical use. The microphone can measure an extremely high frequency and a great volume of sound. A sinusoidal sound wave (200kHz, 140dB) is detected by a prototype of the microphone head fabricated by unifying the sensing part (glass) with a diode laser and a photo detector. A fiber optic microphone can be realized by downsizing the sensor and attaching it to the end of the fiber. A compensation method for the effect of the fluctuation of surrounding conditions is proposed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：マイクロホン、超広帯域、大音圧、レーザー、光全反射、屈折率

1. 研究開始当初の背景

近年、スーパーオーディオCDやDVDオーディオにみられるように、可聴域以上の周波数成分を含んだ信号が扱われるようになってきている。また、騒音測定分野では、ロケットやジェット機騒音などのような、通常の

マイクロホンでは測定が困難な、極めて大きい音圧の測定や、銃声や爆発音のような超音圧かつ超広帯域の衝撃音測定が必要な場面が生じている。さらに、空中超音波の波形測定における新しい可能性も予想される。

音の測定の際に用いられるマイクロホンは、通常は音を振動板で受け、それを電気信

号に変換するため、振動板の慣性などによって周波数特性の高域には実用上の限界があり、また振動板が破損してしまうような超高音圧測定には使えない。したがって、上記の分野などでは、超高周波域までの広範囲にわたり平坦な周波数特性を持ち、大音圧の測定にも耐えうるマイクロホンの開発が望まれている。

このようなマイクロホンは光（レーザ）を利用することで実現できる。光を利用した計測は非接触、非侵襲その他多くの利点を持つため、非常に多くの分野に応用されており、音響計測の分野でもその応用例は数多いが、そのほとんどが水中音場計測への応用であり、空中音場計測への応用例は少ない。

空中音波の測定への応用例においては、主に音圧による空気の屈折率変化を検出しており、これらは次の三つに分類される。

- (1) 屈折率変化による光の位相変化を検出するもの。
- (2) 屈折率変化による光の回折を検出するもの。
- (3) 屈折率変化による光の反射率の変化を利用するもの。

これらをマイクロホンとしてみたとき、(1)、(2)は、音場中のある領域にわたってレーザ光を飛ばすため、注目している音場のある範囲の平均音圧を測定する。これに対して(3)では、音場中のある一点の音圧を測定するが、音圧による屈折率変化が極めてわずかであるため、感度が低いことが難点となっている。本マイクロホンは(3)に分類され、反射率の変化を光の全反射を利用して検出することにより、音場中の一点の音圧を測定するものであり、感度を高くできることが特徴である。

本マイクロホンは、光を利用した振動板を用いない新しい原理のマイクロホンの中で、一点計測用で、感度を高くできるマイクロホンとして位置づけられる。

2. 研究の目的

ガラスと空気の境界面における光の全反射特性を利用して、音場中の1点の音圧を測定する方式のマイクロホンが、超広帯域かつ大音圧用として実用可能であることを実験的に示す。また、感度を大きくして通常音圧用として使用できるようにした場合に大きな問題となる、周囲環境の変動の影響について、その対策も含めて検討する。

3. 研究の方法

これまでに行ってきた研究の成果をもとに、提案している方式のマイクロホンの原型となるものを製作して実験し、本マイクロホンが超広帯域かつ大音圧音を測定できるこ

とを示す。次に、本方式のマイクロホンが光ファイバマイクロホンとして実現可能であることを実験的に示す。さらに、本マイクロホンの感度を上げて通常音圧用の計測用マイクロホンとして使用する場合に問題となる、周囲環境の変動の影響について理論的に検討するとともに、その対策を考える。

4. 研究成果

本マイクロホンの音圧測定原理を図1に示す。ガラス中を進んできた光は、空気との境界面で反射および透過するが、入射角が全反射臨界角以上になると、

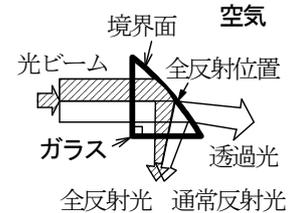


図1 原理図(センサ部)

全て反射する。したがって、境界面に曲率を持たせ、光ビームを、その中に全反射境界線を含むように境界面に入射させると、入射光は全反射光と通常反射光および透過光に分かれる。音が存在すると音圧によって空気の屈折率が変化するため、全反射境界線の位置が変動し、それにより反射光量が増減する。したがって、反射光量の変化の測定から音圧が測定できる。

この原理をもとに、実験的また理論的な検討を行い、以下のような成果を得た。

(1) 大音圧用マイクロホン

製作したマイクロホンヘッドのプロトタイプを図2に示す。図3は、センサのすぐ近くに超音波発振子を置き、センサ面上に大音圧を発生させて測定した結果である。

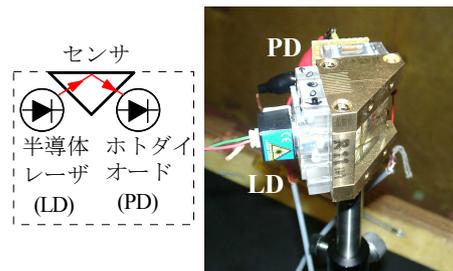


図2 マイクロホンヘッドのプロトタイプ

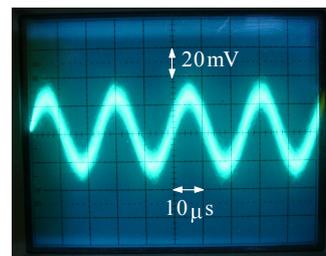


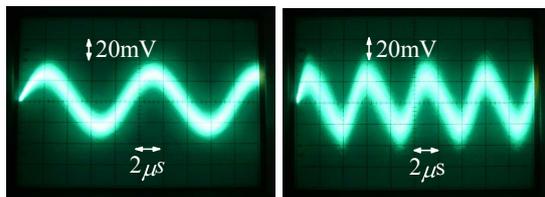
図3 マイクロホンの出力信号
(40kHz 正弦波音圧、約 140dB)

図3より、S/N はあまり良くないが、本マイクロホンにより超音波大音圧波形が検出されていることがわかる。また、その大きさは、理論的計算により導かれる大きさにほぼ等しい。なお光源には、波長 635nm, 光出力 4.8mW の半導体レーザを用いた。また、S/N については、光源や電子回路のノイズに注意を払うことで改善が期待できる。

音圧検出感度は境界面の曲率半径の大きさによって決まり、半径が大きいほど大きくなる。现阶段では製作技術上の制約から、半径は約 11 μ m が最大の大きさであり、そのため感度は -1.31×10^{-6} [Pa $^{-1}$] と小さい。しかしながら、大きな音の測定は容易であり、その上限は計算上、約 185dB と極めて大きい。曲率半径を小さくすれば、その分感度は下がるが、測定音圧の上限はさらに上がり、圧力センサとしての使用も可能となる。一方で、測定音圧の下限は光源ノイズや電子回路ノイズで決まる。

(2) 超広帯域マイクロホン

図4は、110kHz と 200kHz の正弦波大音圧音(大きさ約 140dB)を測定した結果であり、超高周波の正弦波音圧が検出されていることがわかる。さらに高い周波数の音の検出も可能であり、現存の計測用マイクロホンの性能をはるかに超えている。



(a) 110kHz

(b) 200kHz

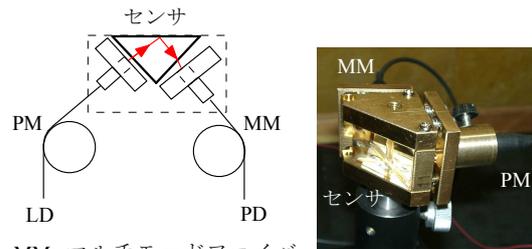
図4 超高周波正弦波音(約 140dB)の検出

本マイクロホンは非常に小さく作ることが可能な構造ではあるが、ある程度の大きさは持つことになるため、通常のマイクロホンと同様、超高周波域における回折効果の影響は避けられない。しかしながら、原理的に周波数帯域に上限は無いと考えてよい。

(3) 光ファイバマイクロホンの可能性

図2のプロトタイプにおける光源部と受光部の部分を光ファイバに置き換えて製作したマイクロホンヘッドを図5に示す。また図6は、40kHz, 約 148dB の正弦波音圧を測定した結果である。なお、ここでの光源には波長 655nm, 光出力 100mW の半導体レーザを用いた。これより、センサ(ガラス)部を小型化し、光ファイバの先端に装着することができれば、あるいは光ファイバの先端の形状を加工することができれば、光ファイバマイクロホンが実現でき、超小型の超広帯域マイ

クロホンの実用が期待できる。



MM: マルチモードファイバ
PM: 偏波面保存ファイバ

図5 光ファイバマイクロホンヘッドのプロトタイプ

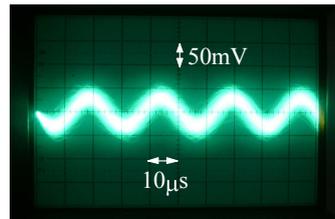


図6 マイクロホンの出力信号(40kHz, 148dB)

(4) 周囲環境の変動の影響とその対策

本マイクロホンは、音圧による入射光ビーム中の全反射境界線の変動により、反射光量に変化することを利用しているが、境界線の変動は気温や気圧といった周囲環境の変化によっても起こる。

この変動は図7に示すように、測定可能最大音圧を小さくし、測定のダイナミックレンジを下げる。通常の大さきの音圧を測定できるように感度を大きくした場合に、この影響が特に著しく、マイクロホン感度の消失という事態も起こり得る。

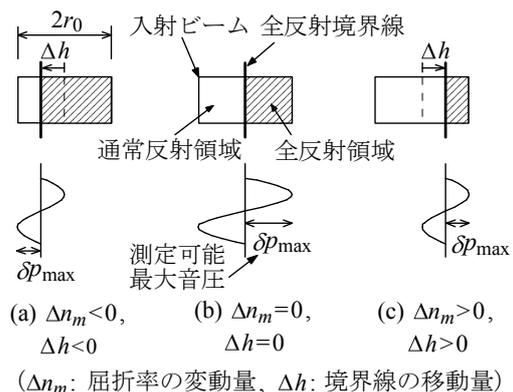


図7 周囲環境の変動と測定可能最大音圧

その対策としては、周囲環境が変化しても全反射境界線が入射光ビームの中心に位置するように、周囲環境の変動に応じてビームの入射角を変化させてやればよい。その一つの方法として、光偏向器を用い、境界線の変動に応じてビームの進行方向を曲げて入射角を制御する方法が考えられる。

偏向角を制御する具体的な方法としては、図8に示すようなp偏光とs偏光の二つのビームを利用する方法を用いる。これは、信号光ビーム（p偏光）と平行に、ある距離だけ離して、参照光ビーム（s偏光）を通常反射領域側の境界面に入射させるように配置し、光のp偏光反射率とs偏光反射率の違いから、その差を利用して偏向角を制御するものである。

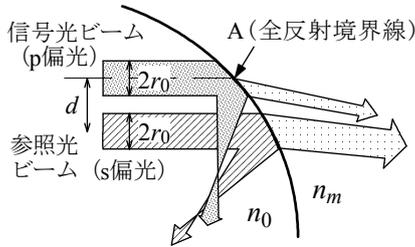


図8 入射角制御のための信号光と参照光の配置

ビーム幅を信号光、参照光ともに同じ $2r_0$ とし、また、光量も同じであるとして、全反射境界線の移動量 Δh に対する両光の反射量を計算すると、その偏光反射率の違いから、参照光の反射量が $\Delta h = 0$ （全反射境界線がビームの中央）における信号光の反射量と同じになる参照光の位置（ d ）が存在する。その位置を初期設定位置として両方の光ビームを配置し、図9に示す方法で両ビームの入射角を制御する。

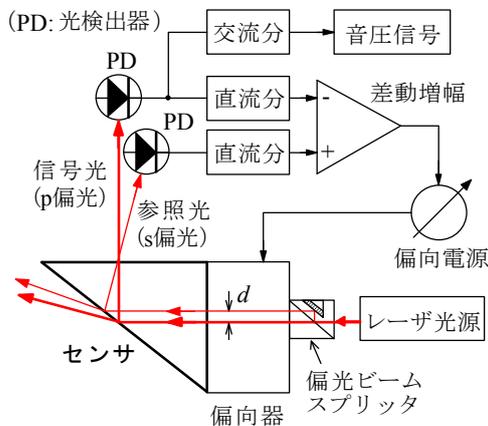


図9 ニビームによる入射角制御原理

いま、環境変動によって全反射境界線が移動すると、両ビームの反射光量（直流成分）に差が生じる。そこで、その差が零になるように偏向用電源の電圧を制御して両ビームを偏向させ、その入射角を変化させれば、全反射境界線を常に信号光ビームの中心位置に置くことができる。また、このときの信号光の交流成分は音圧信号である。

(5) 今後の展望と課題

本研究では、ガラスと空気の境界面におけ

る光の全反射特性を利用して音圧を測定する方式のマイクロホンが、超広帯域かつ大音圧用として実用可能であることを、プロトタイプを製作して実験することにより示した。このプロトタイプをさらに発展させ、センサ部（ガラス）に半導体レーザと光検出部（ホトダイオード）を融着した形の、完全一体化マイクロホンヘッドを製作し、かつ小型化することによって、超広帯域で大音圧用の実用的な計測用マイクロホンが実現できると考えられる。また、センサ部の曲率半径を極めて大きくして感度を上げれば、通常音圧用の超広帯域マイクロホンとしても実用的なものになる。さらに、超微細加工技術が可能になれば、光ファイバの先端をセンサ部とした超小型マイクロホンの実現が期待できる。

今後の課題としては、計測用マイクロホンとして使用するための、感度の絶対校正法の確立や回折効果の解析、また入射角制御の実験的検討などが挙げられる。

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2件）

- ① Y.Suzuki, K.Kido : A New Method for Airborne Sound Detection Using Total Internal Reflection and Its Application to Microphone, Advances in Optical Technologies (Online Journal), 査読有、Article ID 547597, 2011, 9pages. DOI: 10.1155/2011/547597
- ② 鈴木靖、城戸健一：全反射現象のマイクロホンへの応用、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、EA2010-56、2010、pp75-80.

〔学会発表〕（計7件）

- ① 鈴木靖、城戸健一：光の偏向と全反射を利用した音波の検出、日本音響学会 2013 年春季研究発表会、平成 25 年 3 月 15 日、東京工科大学.
- ② 鈴木靖、城戸健一：光全反射型マイクロホンにおける入射角制御法の検討、日本音響学会 2012 年秋季研究発表会、平成 24 年 9 月 21 日、信州大学.
- ③ Y.Suzuki, K.Kido : A prototype of total-internal- reflection type of microphone using optical fibers, Acoustics 2012 HONG KONG, 平成 24 年 5 月 18 日、香港會議展覽中心.
- ④ 鈴木靖、城戸健一：全反射型光ファイバマイクロホンの検討、日本音響学会 2012 年春季研究発表会、平成 24 年 3 月 15 日、神奈川大学.

- ⑤ 鈴木靖、城戸健一：光ファイバを用いた光全反射型マイクロホンの検討，日本音響学会 2011 年秋季研究発表会、平成 23 年 9 月 22 日、島根大学.
- ⑥ Y.Suzuki、K.Kido：A prototype of new microphone by use of the optical total reflection、The 40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise 2011)、平成 23 年 9 月 5 日、大阪国際会議場.
- ⑦ 鈴木靖、城戸健一：光全反射型マイクロホンの検討，日本音響学会 2011 年春季研究発表会、平成 23 年 3 月 9 日、早稲田大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 靖 (SUZUKI YASUSHI)
群馬工業高等専門学校・電子メディア工学
科・教授
研究者番号：50132577

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：