

ファブリペロー型光ファイバ超音波プローブの受信特性

中村健太郎^{†a)}(正員) 土方 泰斗[†]

Receiving Characteristics of a Fabry-Perot Cavity Fiber Optic Ultrasonic Probe

Kentaro NAKAMURA^{†a)}, Regular Member and
Yasuto HIJIKATA[†], Nonmember[†] 東京工業大学精密工学研究所, 横浜市

Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama-shi, 226-8503 Japan

a) E-mail: knakamur@sonic.pi.titech.ac.jp

あらまし 光ファイバの先端に微小なファブリペロー共振器を製作し、その共振光波長変調を検出することで音圧を測定する超音波プローブが提案されている。筆者らは、このプローブの指向性と空間分解能を実験的に評価したところ、シングルモードファイバを用いれば 2.25 MHz に対してほぼ無指向性であること、空間分解能はファブリペロー共振器の大きさ程度であることが明らかになった。

キーワード ファブリペロー共振器, 光ファイバセンサ, 超音波プローブ, 指向性, 空間分解能

1. まえがき

超音波音場を空間分解能よく測定するには、波長に比べて小型で高感度なプローブが必要である。そこで、光ファイバの先端に高分子材料による長さ 100 μm 程度のファブリペロー共振器を作り、音圧による共振光波長変調として音場測定を行う光ファイバ超音波プローブが提案されており [1],[2]、音圧感度及び線形性 [3]、アレー化 [4]、音圧と温度の同時測定法 [5] などが検討されている。音圧感度を有する共振器部分は数 MHz の水中音場の 4 分の 1 波長程度の大きさであり、高周波超音波に対しても、無指向性で、かつ高い空間分解能を有すると考えられる。本論文では、この超音波プローブの指向性と空間分解能を実験により評価した。

2. 構造と動作原理

図 1 に示すように、光ファイバの先端に金の半透明膜を介して光ファイバと同じ直径の円筒形の透明高分子材料を付加する。端部には金の全反射鏡を蒸着する。製作方法には、高分子膜を用いる方法 [1] と光学接着剤を用いる方法 [2] とがある。この部分はファブリペロー共振器として動作するので、戻り光強度は共振器の光学長で決まる周期で変化する。図 2 のように、共振ピークの傾き部分に波長を合わせた光を入射すると、

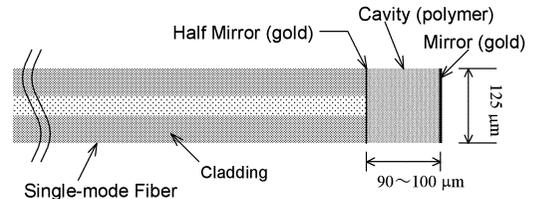


図 1 ファブリペロー型光ファイバセンサの構造

Fig. 1 Configuration of the Fabry-Perot cavity fiber optic sensor.

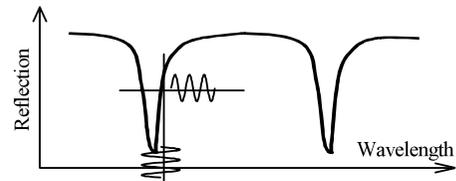


図 2 反射光強度の光波長特性と動作原理

Fig. 2 Reflection spectrum and the operation principle.

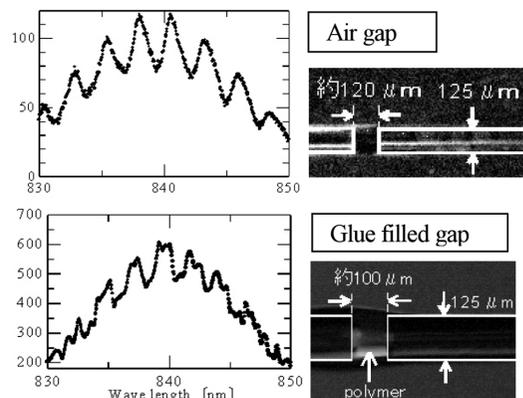


図 3 製作途中の共振器の反射特性

Fig. 3 Reflection spectra of the cavity under fabrication.

音圧によって共振器長が振動するので、共振波長が変調され、反射光の強度変調として音圧が検出される。

光学接着剤を用いた製作方法では、半透明膜を蒸着した光ファイバ端部にもう 1 本の光ファイバを対向させ、その間に接着剤を流し込むが、図 3 は 2 本の光ファイバ間に接着剤が無い状態とある状態の反射光の波長特性を示している。これは、スーパーミネッセントダイオード (SLD) を光源とし、反射光を光スペクトラムアナライザで観測したものであり、SLD の波長特性に重畳してファブリペロー共振特性が観測されている。反射波長特性を観測しながら、ファイバ間距離、平行度などを調整して接着剤を固化する。半透明膜のない方のファイバを取り去って、固化した接着剤の端面に

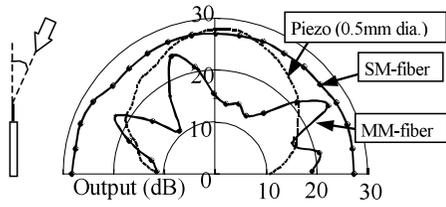


図4 光ファイバ超音波プローブの指向性
Fig.4 Directivity of the fiber optic ultrasonic probe.

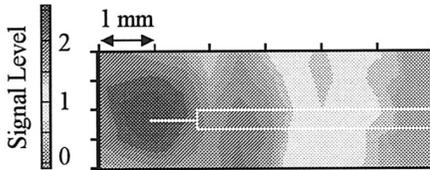


図5 集束振動子走査時のプローブ出力分布
Fig.5 Probe output distribution for a scanned focused transducer with 1.8 mm beam width at 2.25 MHz.

金反射膜を蒸着するとプローブが完成する。

3. 指向特性の評価

光ファイバの端面方向から 2.25 MHz の平面波超音波を照射し、その照射方向による出力信号強度を測定した結果を図4に示す。光源波長 (785 nm) でシングルモード (SM) となる光ファイバではほぼ無指向性となっており、直径 0.5 mm の圧電高分子プローブと比べても方向による感度差が生じにくいことがわかる。なお、マルチモード (MM) ファイバ (コア径 50 μm 、分布屈折率型) を用いると、複雑な指向性が生じている。

4. 空間分解能の評価

周波数 2.25 MHz、直径 15 mm の集束型振動子により、水中にて光ファイバプローブの側面から超音波を照射した。照射場所を2次的に移動して、光ファイバプローブの出力信号強度を記録した結果を図5に示す。共振器部分で大きな出力が得られていることがわかる。共振器のない部分でも出力が得られているが、これは振動子から放射される音場のサイドローブを検出してると考えられる。図5の結果は、被測定プローブの感度分布と超音波の放射パターンのコンボリューションとなっているため、図5の結果と振動子の放射パターンからデコンボリューションを行って被測定プローブの感度分布のみを抽出した結果を図6に示す。先端の共振器部分のみに感度を有しており、100 μm オーダの空間分解能を有することが確認された。

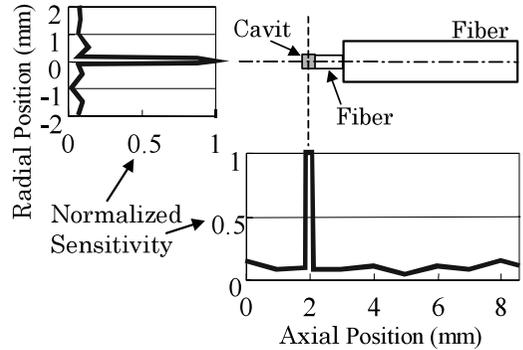


図6 図5の結果から振動子の指向性を考慮して求めたファイバプローブ上の感度分布
Fig.6 Sensitivity distributions calculated from Fig.5 and the directivity of the illuminating ultrasonic transducer.

5. むすび

光ファイバ先端に微小なファブリペロー共振器を設けた超音波プローブは、数 MHz の高周波数でも無指向性でかつ 100 μm 程度の空間分解能を有することを実験的に確かめた。更に高い空間分解能を得るためには、直径 80 μm の細径ファイバを利用したり、エッチングによって更に細径化した光ファイバを用いる必要がある。

文 献

- [1] P. C. Beard and T. N. Mill, "Miniature optical fibre ultrasonic hydrophone using a Fabry-Perot polymer film interferometer," *Electron. Lett.*, vol.33, no.9, pp.801-803, April 1997.
- [2] Y. Uno and K. Nakamura, "Fabrication and performance of a fiber optic micro-probe for megahertz ultrasonic field measurements," *IIEEJ Trans. SM*, vol.118, no.11, pp.487-493, Nov. 1998.
- [3] Y. Uno and K. Nakamura, "Pressure sensitivity of a fiber optic micro-probe for high-frequency ultrasonic field," *Jpn. J. Appl. Phys. 1, Regul. Pap. Short Notes*, vol.38, no.5B, pp.3120-3123, 1999.
- [4] Y. Uno and K. Nakamura, "Wavelength-division-multiplexing in fiber-optic micro-probe array for high frequency ultrasonic field measurements," *IEICE Trans. Electron.*, vol.E83-C, no.3, pp.293-297, March 2000.
- [5] K. Nakamura and K. Nimura, "Measurements of ultrasonic field and temperature by a fiber optic micro-probe," *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, vol.21, no.5, pp.267-269, Sept. 2000.

(平成 15 年 4 月 3 日受付, 7 月 7 日再受付)