

7C-4

小孔付半密閉空間を有する光導波型圧力センサ ～センサ出力の小孔面積依存性～

佐藤薫^{*}、遠藤義純^{*}、大河正志^{**}、関根征士^{**}、佐藤孝^{**}

^{*}新潟大学大学院 自然科学研究科、^{**}新潟大学 工学部

1. はじめに

従来の圧力センサは圧感知部において圧力-電気変換を行っているため、高電磁場下やガス雰囲気中などの環境下で使用する場合には注意を払う必要がある。また、ダイヤフラムを利用した圧力センサは一般に高耐圧、高感度を両立することが難しい。本研究で作製するセンサは光波を利用しており、無誘導性、防爆性等の利点を持つため、前述のような悪環境下での使用も可能である。さらに、小孔付半密閉空間を有するセンサ構成を用いることにより、ダイヤフラムを厚くすることなく、高感度を維持したまま、高圧環境でセンシングを行うことが可能である。今回、センサ周囲圧力がステップ状に急変した時のセンサ出力の小孔面積依存性について理論的に調べた。その理論をもとにセンサを作製し、特性評価を行った。

2. センサの概形および動作原理

図1に光導波型圧力センサの概形を示す。本センサは単一モードの直線光導波路と圧感知部であるダイヤフラム、小孔付半密閉空間から構成される。また、光導波路材料には、低損失の単一モード導波路の作製に適しているガラスを用いた。

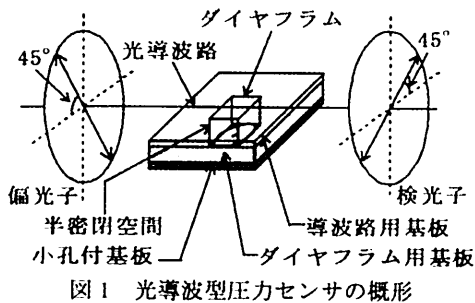


図1 光導波型圧力センサの概形

本センサが圧力一定の静圧環境に置かれている場合、センサ周囲とダイヤフラム下部の半密閉空間は小孔を通じてつながっているため、センサ周囲と半密閉空間の圧力は同じで、圧力差は生じない。つまり、静圧であれば、高圧力環境下でも圧力差は生じず、静圧に対して高耐圧であることが分かる。一方、センサ周囲の圧力がステップ状に変化すると、半密閉空間を出入りできる流体量は小孔によって制限されるため、センサ周囲と半密

閉空間の間に一時的な圧力差が生じる。この圧力差により、ダイヤフラムがたわみ、ダイヤフラム上の光導波路に歪みが生じる。この歪みは光弾性効果により光導波路に屈折率変化をもたらし、ダイヤフラム上の光導波路の屈折率を変化させる。これにより、光導波路を伝搬するTM-like、TE-likeモード間に位相差が生じる。この位相差は、検光子によって光強度に変換され、その光強度を検出することにより圧力を計測することができる。なお、偏光子と検光子の偏光方向はTM-like、TE-likeモード光を同強度で光導波路に入射させるために、それぞれ図1のようにセンサ基板面に対して45°傾けてある。

3. 光導波型圧力センサの特性評価

3-1 センサ設計

本研究では、ダイヤフラムサイズを14mm×14mm×0.22mm、センサ下部に取り付ける小孔付基板の小孔の直径を20μm、25μm、40μmとし、センサを作製した。小孔付基板の小孔の直径を変えることにより、センサ周囲と半密閉空間内の圧力差が持続する時間(出力光強度変化持続時間)が変化する。そのため、小孔面積はセンサ特性を決める上で、重要なパラメータとなる。図2に半密閉空間体積と小孔面積の比に対する出力光強度変化持続時間の理論値を示す。持続時間の理論値は、小孔の直径が20μmの時(V/A比:112[m])は約0.038秒、25μmの時(V/A比:72[m])は約0.025秒、40μmの時(V/A比:25[m])は約0.010秒となる。

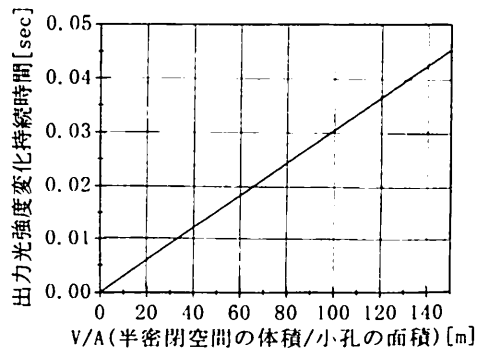


図2 出力光強度変化持続時間の理論値

3-2 測定光学系

図3に本研究の測定光学系を示す。TM-like、TE-likeモードの両モード光を同強度で導波路に励起するため、波長632.8nmのHe-Neレーザー光源の偏光方向をセンサ基板面に対して45°傾け、直線偏光波を導波路端面に入射する。測定空間内の圧力変化に対するセンサ出力を得るために、測定空間内にセンサを設置した。測定空間は、30cm×28cm×30cmの密閉空間を作製し、シリコンチューブ、ピストンを接続した。この測定空間にステップ状の圧力を印加するために、ピストンを用い、空気を注入した。そして、ピンホールを用い、励起された導波光のみを取り出し、その導波光の出力光強度を光検出器で測定する。また、測定空間内の圧力を測定するために、圧力計を測定空間上部に取り付けた。

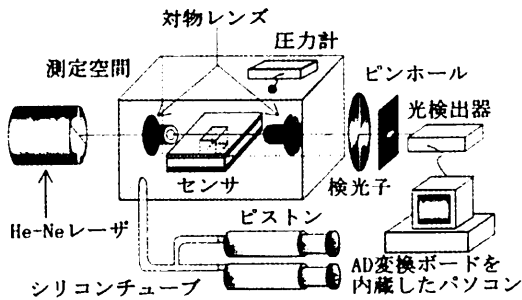


図3 測定光学系

3-3 測定結果および考察

図4、図5、図6に小孔の直径を20 μ m、25 μ m、40 μ mと変えたときのセンサ出力の測定結果を示す。図7に圧力計を用いて測定空間へ加えた圧力を測定した結果を示す。サンプリングを始めてから約15秒後に測定空間にピストンで加圧を行った。サンプリング間隔は0.01秒であり、サンプリング時間は30秒である。測定の結果、約0.6~0.7kPaの印加圧力に対して、3種類のセンサとも出力光強度変化持続時間が約1.8秒生じた。このことから、本センサは圧力変化を検出できたとと言える。しかし、この測定結果は、理論値よりも長くなった。その理由として、圧力印加後、流体が半密閉空間に入り込む際、小孔と流体の間で摩擦が生じ、流入する流量が制限されてしまったためと考えられる。さらに、3種類のセンサの間で測定結果に差が見られなかった。その理由として、本来、加圧後に維持される測定空間内部の圧力が、図7に示されるように、約2秒後には、加圧前の状態に戻ってしまっていることが挙げられる。これは、加圧の際、測定空間から空気が流出してしまっているからである。

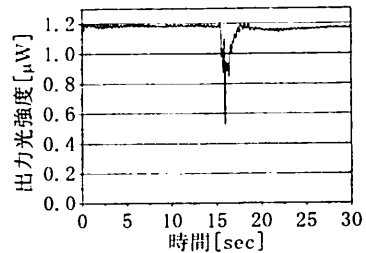


図4 測定結果(20 μ m)

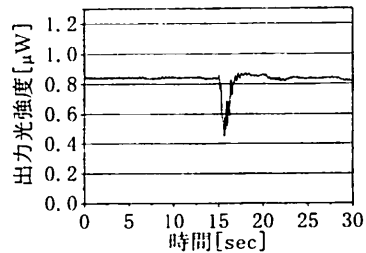


図5 測定結果(25 μ m)

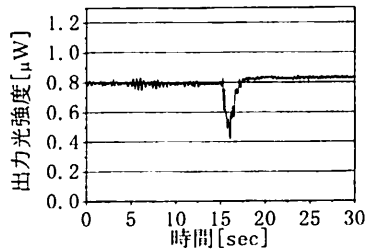


図6 測定結果(40 μ m)

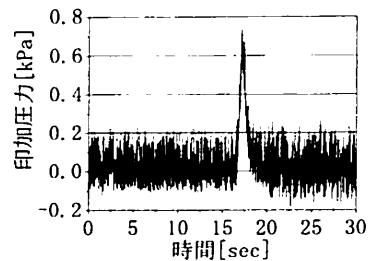


図7 印加圧力の測定結果

4. まとめ

光導波型圧力センサの小孔面積における出力光強度変化持続時間の理論値を算出した。この理論値をもとに小孔面積の異なる3種類のセンサを作製し、出力光強度の時間変化について特性評価を行った。その結果、3種類のセンサ間で出力光強度変化持続時間の差が見られなかった。その原因として、本来、加圧後に維持される測定空間内部の圧力が、約2秒後には、加圧前の状態に戻ってしまっていることが挙げられる。これは、加圧の際、測定空間から空気が流出してしまっているからである。現在、変化させた測定空間内部の圧力を維持できるように測定空間を改良中である。