

J2 シリコン基板光集積回路圧力センサを用いた カテーテル先端型圧センサプロトタイプの実成

獨古 修一*、時田 亨*、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

光集積回路センサは光波利用センシング技術と光集積回路技術を融合したセンサで、高絶縁性、無誘導性等の特徴を持ち、さらに小型・軽量化が図れる。これらの特徴は生体を対象とする医療計測分野で十分に活かせると考えられ、本研究では、特にカテーテル先端型圧センサへの応用に着目した。ここで、カテーテル先端型圧センサとは、カテーテルと呼ばれる1~4mmの医療用管の先端に、小型圧力センサを取り付けたもので、直接血管内に挿入して使用される。そのため、小型化、安全対策および雑音対策が不可欠であり、光集積回路センサを用いることにより安全性、信頼性の高いセンシングが期待できる。今回、カテーテル先端型圧センサプロトタイプの実成を目指し、センサの試作と特性評価を行った。

2 光集積回路圧力センサの構成と動作原理

図1に光集積回路圧力センサの概形を示す。本センサは、圧力感知部分であるダイヤフラムと単一モード直線光導波路とで構成される。基板には微細加工性に優れたシリコンを用いる。

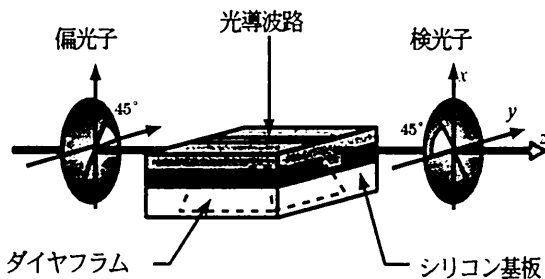


図1 光集積回路圧力センサの概略図

ダイヤフラムに圧力が印加されると、歪みが生じ光弾性効果により屈折率変化を引き起こす。これにより、光導波路を伝搬する光波の位相が変化し、TM-like、TE-likeモード光に位相差が生じる。この位相差は、センサの両端に置かれた偏光子と検光子により、光強度に変換され

る。なお、偏光子と検光子の偏光方向は、図のようにセンサ基板面に対して45°傾けておく。

3 カテーテル先端型圧センサプロトタイプの実成評価

3-1 カテーテル先端型圧センサプロトタイプの構成

図2にカテーテル先端型圧センサプロトタイプの概略図を示す。このプロトタイプは、光集積回路圧力センサの両端に光ファイバ、反射板を接続し、角のない丸みのある弾丸形状で覆ったものである。これは、直接血管内に挿入することを想定し、血管内を傷つけないための形状である。直接血管内にカテーテルを挿入して行う圧計測では、血流による動圧の影響が問題になることが知られており、ここでは動圧の影響がない側圧型構成を採用している。また、カテーテル内に大気へ通じている管を設けることで、相対圧計測を行うようにしている。光波を伝搬させる光ファイバには、単一モードの偏波面保存ファイバを用いることとし、これが図1の偏光子、検光子の役割を担う。

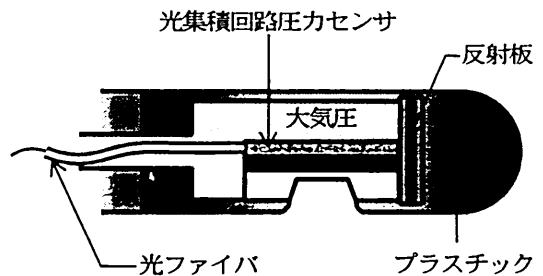


図2 カテーテル先端型圧センサプロトタイプ

3-2 試作したセンサ

今回、図2のカテーテル先端型圧センサプロトタイプを想定し、図3に示すようなセンサを試作した。試作したセンサは、プラスチックの筒で覆い、カテーテルを模擬した形状とした。大気圧に対する相対圧計測を行うため、ダイヤフラム上部を大気に開放する構成とした。

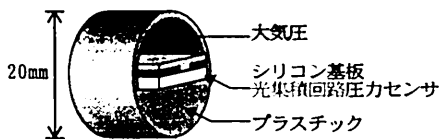


図3 試作したセンサの概略図

ところで、想定しているカテーテルのサイズは直径 1~4 mm 程度の小さなものであるが、本研究では、小型化に伴う困難さを避け、圧計測の実証実験に重点を置くこととした。そこで、模擬カテーテルの外径を目標の5~20倍である20 mmに設定し、センササイズを幅10 mm、長さ20 mm(ダイヤフラムサイズ1.5 mm×7.5 mm×23 μm)と決定した。

3-3 測定光学系

図4に今回用いた測定光学系を示す。試作したセンサにはシリコンチューブを介して注射器を接続し、注射器内筒の押し引きにより、-40 kPa から 40 kPa の圧力をセンサに印加した。光源には波長 633 nm の He-Ne レーザ光を用いた。入力側では、レーザの偏光方向をセンサ基板面に対し 45° 傾け、レーザ光を対物レンズで光導波路端面に集光して、TM-like モード光と TE-like モード光を等強度で励起した。出力側には、位相差を光強度に変換するため、入射光の偏光方向に対し 90° 傾けた検光子を置いた。センサからの出射光は不要な背景光を伴うため、ピンホールを用いて導波光のみを取り出し、光検出器で光強度を測定した。

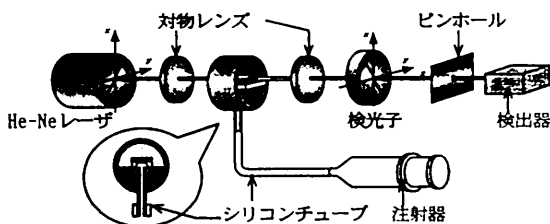


図4 測定光学系

3-4 測定結果

図5に測定結果を示す。図では、出力光強度の最大値を1に正規化してある。正弦的に変化する曲線の半周期分が半波長圧力に相当する。本研究では、 π rad を半波長圧力で割ったものを位相感度として、センサの特性評価に使用した。図5より半波長圧力 39 kPa、位相感度 81 mrad/kPa であることが分かった。

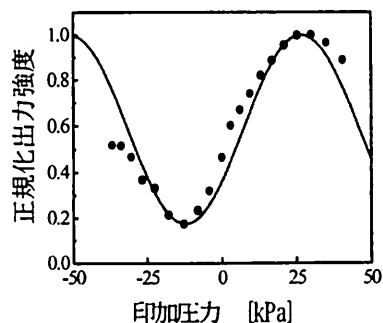


図5 測定結果

3-5 考察

センサに要求される最大測定血圧は測定個所によって異なるが、ほぼすべての個所において要求を満たせるよう 300 mmHg(40 kPa)に設定すると、必要となる半波長圧力は 40 kPa で、これに対応する位相感度は 80 mrad/kPa となる。これより、今回試作したセンサは、血圧測定用センサとして十分なセンサ感度を有していると言える。また、今回試作したセンサは、目標とするサイズの5~20倍のサイズである。センサの小型化にはダイヤフラムの小型化が不可欠であるが、本センサは、感度不変ダイヤフラム縮小則²⁾により、感度を保ったまま、ダイヤフラムサイズを縮小することが可能である。今回の試作ダイヤフラムに感度不変ダイヤフラム縮小則を適用すると、0.5 mm×2.5 mm×4.4 μmのダイヤフラムでも、80 mrad/kPa程度の位相感度が期待できる。このような小型ダイヤフラムを持つセンサを実現できれば、直径2 mm程度のカテーテルに組み込めるものと思われる。

4 まとめ

今回カテーテル先端型圧センサプロトタイプを作成を目指し、センサの試作と特性評価を行った。試作センサの位相感度は 81 mrad/kPa で、血圧測定に十分な感度が得られた。今後、光ファイバと反射板を接続して図2のプロトタイプを作成し、特性評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 戸田達男：生体計測とセンサ、オーム社
- 2) A. Yamada, T. Tokita, M. Ohkawa, S. Sekine, T. Sato, "Scale reduction rule for diaphragm dimensions to miniaturize a silicon based integrated optic pressure sensor without reducing sensitivity," Proc. SPIE, 4987, pp.248-255 (2003).