

## K9 偏光干渉型光集積回路圧力センサにおける 位相感度の導波路位置依存性 ～ 0.2mm厚ダイヤフラムによる評価～

七澤 正洋 大河 正志<sup>†</sup> 関根 征士<sup>†</sup> 佐藤 孝<sup>†</sup>  
新潟大学大学院自然科学研究科 新潟大学工学部<sup>†</sup>

### 1. はじめに

光の干渉を利用した光波利用センシングは、無誘導性や防爆性等の性質がある。また、光集積回路は、導波路等の素子を集積化することにより、光軸調整が不要となり、小型・軽量化が図れ、安定性・信頼性が向上する。これら、2つの技術を融合した光集積回路センサは、以上の利点を併せ持ち、高感度・高精度なセンシングが期待できる。

このような利点に着目し、我々は偏光干渉型光集積回路圧力センサに関する研究を行っている。これまでの理論解析により、本センサの感度は、ダイヤフラムの形状や導波路位置に依存することが分かっており、これらの関係を実験的に明らかにすることは、センサの設計を行う上で非常に重要である。そこで、本研究では、ダイヤフラムの大きさを10×10mm、厚さを0.2mmとしたセンサを作成し、位相感度の導波路位置依存性を明らかにしたので報告する。

### 2. センサの概形と動作原理

センサは、図1のように、感圧部であるダイヤフラムと、1本の単一モード光導波路で構成される。ダイヤフラムに圧力が印加されると、光弾性効果により導波路に屈折率変化が起こり、導波路を伝搬する最低次のTM-like、TE-likeモードに位相変化が生じる。このとき、両モードには、それぞれ異なる位

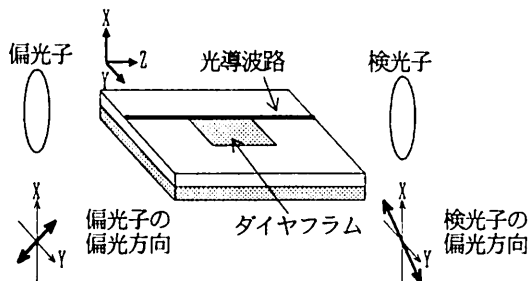


図1. センサの概形

相変化量 $\Delta\phi_{TM}$ 、 $\Delta\phi_{TE}$ が生じるため、位相差 $\Delta\phi = \Delta\phi_{TM} - \Delta\phi_{TE} \neq 0$ は印加圧力の関数となる。本研究では、直交ニコル構成の偏光子を用いることで、位相差を光強度に変換して検出した。印加圧力が小さいとき、出力光強度は印加圧力に対し正弦的に変化する。このように構成した光学系を偏光干渉計といい、この干渉計を用いる最大の利点は、構成を簡素化でき、そのため小型化が図れることである。

### 3. 位相感度の導波路位置依存性

図2は、センサ感度の導波路位置依存性を示す計算結果である。計算では、正方形のダイヤフラムを仮定し、ダイヤフラム材料はCorning0211ガラスとした。導波路位置はダイヤフラムの長さで規格化し、中央を0、両端を±0.5としている。理論計算の結果より、図のようにダイヤフラムの端に導波路を位置させた時、最も高感度となることがわかっている。そして、導波路位置が端から離れるにつれ、感度が低下し、±0.32付近では無感度となり、さらに端から中央に近づくにつれ、再び感度は大きくなっていく。以上のことから、位相感度はダイヤフラム上の導波路位置に大きく依存していることがわかる。ここで、センサの感度として用いる位相感度とは、単位圧力あたりの位相差である。

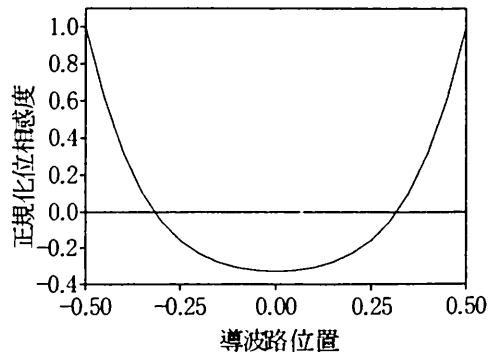


図2. 導波路位置と正規化位相感度

#### 4. 圧力センサの特性評価と考察

図3の測定系により、試作センサの圧力特性の測定を行った。光源として、He-Ne レーザ(波長 633nm)を用い、そのレーザ光の偏光方向をセンサ基板面に対して 45° 傾けた直線偏光波を 40 倍の対物レンズにより導波路端面に集光させ、導波光を励起した。

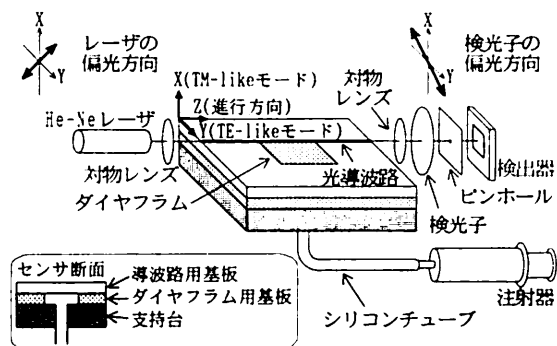
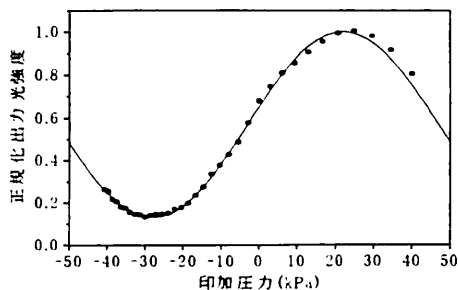


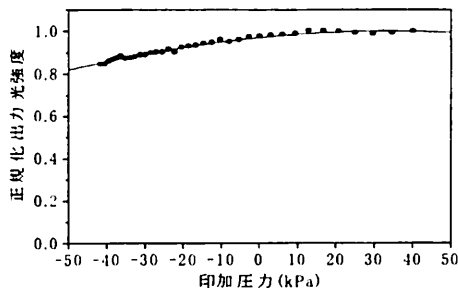
図3. 測定系

本研究では、位相感度の導波路位置による依存性を調べるため、ダイアフラム上に 0.5mm 間隔で 22 本の直線導波路を作成し、各導波路について測定を行った。センサは図のように支持台と接合後、シリコンチューブ、注射器を接続し、ピストンの加減により、ダイアフラムに圧力差を与えた。さらに、ピンホールを用いることで、導波光のみを取り出し、この出力光強度を光検出器で測定した。

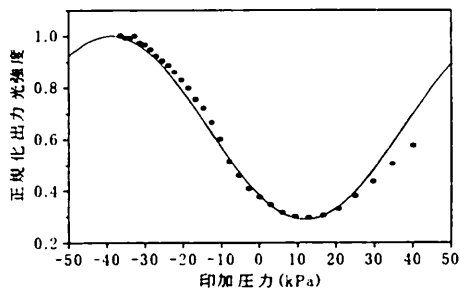
図4に本実験で得られた出力光強度(相対比)と印加圧力の関係を示す。図より、ダイアフラムの端から 0.3mm、1.8mm、4.8mm に位置する導波路において、半波長圧力をそれぞれ 50、360、53kPa と評価することができた。ここで、半波長圧力とは、 $\pi$ rad の位相変化を与える圧力であり、また、出力光強度を最大から最小まで変化させるのに必要な圧力である。得られた半波長圧力を位相感度に換算すると、それぞれ 0.063、0.009、0.059rad/kPa となる。図5は、各導波路位置における位相感度をまとめたものである。図からもわかるように、ダイアフラムの中央付近では実験結果は比較的理論値に一致しているが、端に近づくにつれ、理論値との差が大きくなっている。理論ではダイアフラムを完全な固定端として計算を行っているのに対し、実際にはダイアフラム上面は完全な固定端ではない。そのため、端付近では歪みの緩和が起きていると考えられる。また、端から 1.8mm の導波路については、理論通りほぼ無感度となった。



(a) ダイアフラムの端から約 0.3mm



(b) ダイアフラムの端から約 1.8mm



(c) ダイアフラムの端から約 4.8mm

図4. 測定結果

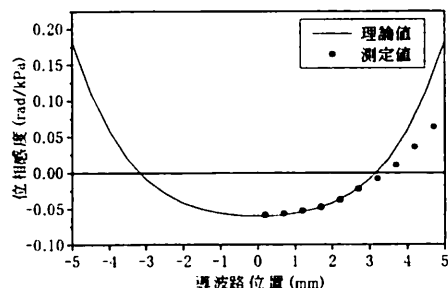


図5. 導波路位置と位相感度

#### 5. まとめ

今回、ダイアフラムの大きさを 10×10mm として、厚さ 0.2mm のセンサを作成し、その位相感度の導波路位置依存性について測定を行った。その結果、ダイアフラムの端付近の導波路において、センサ感度が理論計算に比べてやや低いものの、理論的予測に比較的一致した結果を得ることができた。