

# K1 マッハ・ツェンダ干渉型及び偏光干渉型光集積回路圧力センサの位相感度の比較

佐藤 拓郎† 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、両技術の利点を併せ持ち、防爆性や無誘導性のほか、小型・軽量化が図れ、高感度、高精度のセンシングが期待できる。これらの利点、特徴に着目し、我々はマッハ・ツェンダ干渉型（MZ型）及び偏光干渉型（IM型）の2種類の光集積回路圧力センサの研究を行なっている。ところで、MZ型センサにおけるTM-likeモード光励起時の感度、TE-likeモード光励起時の感度及びそれらの比は、MZ型センサだけでなく、IM型センサの感度にも直接関係する。本研究では、MZ型センサとIM型センサを試作し、それぞれのセンサ感度を測定して、理論値との比較を行ったので報告する。

## 2. センサの構成及び動作原理

図1にMZ型センサの概形を示す。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光導波路のマッハ・ツェンダ干渉計から構成される。マッハ・ツェンダ干渉計を構成する2本の平行導波路のうち、ダイヤフラムの端に位置するものをセンシング用導波路、ダイヤフラムから離れて位置するものを参照用導波路と呼ぶ。ダイヤフラムに圧力が印加されると、たわみによる歪みが生じ、さらに光弾性効果により屈折率変化が引き起こされる。これにより、センシング用導波路を伝搬する光波に位相変化が生じ、この光波と参照用導波路を伝搬してきた光波が合波干渉して、位相差に応じた光強度が出力される。

図2にIM型センサの概形を示す。MZ型センサのマッハ・ツェンダ干渉計を1本の単一モード光導波路に置き換えたもので、入力側と出力側にそれぞれ偏光子と検光子が置かれている。偏光子はTM-like、TE-likeモード光を同強度で励起させるために偏光方向をセンサ基板面に対して45°に傾け、検光子の偏光方向は入射光の偏光方向に対して90°傾けている。直線光導波路は、ダイヤフラムの端に位置している。ダイヤフラムに圧力が印加されると、MZ型センサと同様に光導波路を伝搬する光波の位相が変化する。光導波路に励起された両モード光は、それ

ぞれ異なる位相変化量を得るため、圧力印加時には両モード間で位相差を生じる。この位相差は、検光子により位相差に応じた光強度変化に変換される。これにより、印加圧力に対して正弦的に変化する光強度を得ることができる。

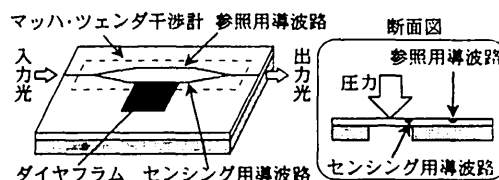


図1 MZ型センサの概形

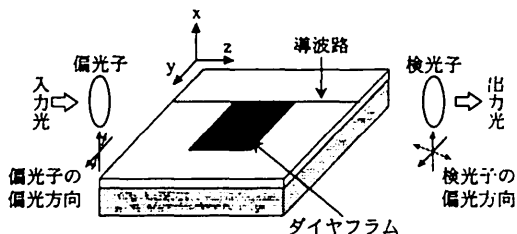


図2 IM型センサの概形

## 3. 特性評価のための光学系

今回は、ダイヤフラムの大きさが14 mm×14 mm、厚さが0.22 mmのセンサを作成し、測定を行った。導波路基板兼ダイヤフラム材料にはComing#0211ガラスを使用した。図3、図4にそれぞれMZ型センサ、IM型センサの測定光学系を示す。

光源には波長632.8 nmの直線偏光He-Neレーザを用い、MZ型センサにおいては、1/2波長板を回転することでセンサに励起する導波モードの切り替えを行った。1/2波長板を通過したレーザ光を対物レンズで導波路端面に集光し、導波光を励起した。一方、IM型センサにおいては、図2の偏光子の代わりにレーザの偏光方向をセンサ基板面に対し45°傾けた直線偏光波を対物レンズで導波路端面に集光し、導波光を励起した。出力光は再び対物レンズを通して拡大され、ピンホールを用いて導波光のみを取り出し、光検出器にて出力光強度を測定した。

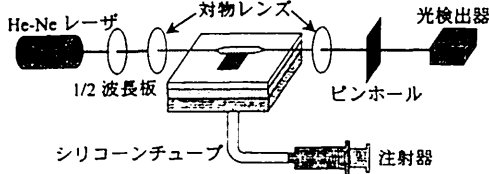


図3 MZ型センサの特性評価光学系

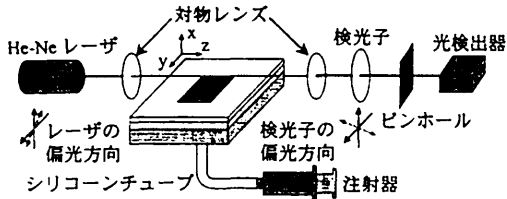


図4 IM型センサの特性評価光学系

#### 4. センサの特性評価

図5、図6、図7は測定結果である。このように、本センサの出力光強度は正弦的に変化し、周期が小さいほどセンサの感度は高いといえる。出力光強度が最大から最小まで変化するのに必要な圧力を半波長圧力と呼び、この圧力は位相差 $\pi$  radを与える。この関係から単位圧力あたりの位相差を計算し、それを位相感度と呼ぶ。位相感度は本研究におけるセンサの感度を示す値として用いる。各図において、●は測定値を、実線は測定値を正弦関数でフィッティングした曲線を表す。図5及び図6から、MZ型センサにおけるTM-likeモード光励起時及びTE-likeモード光励起時の位相感度は、それぞれ0.250 rad/kPa、0.061 rad/kPaと計算された。また、図7から、IM型センサの位相感度は0.178 rad/kPaと評価された。この結果から、MZ型センサにおけるTM-likeモード光励起時の位相感度とTE-likeモード光励起時の位相感度の差は0.189 rad/kPaとなり、IM-typeセンサの位相感度とほぼ一致した。

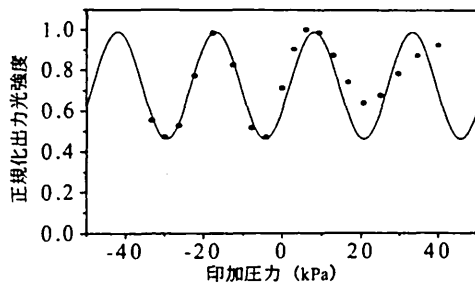


図5 TM-likeモード光励起時のMZ型センサの特性

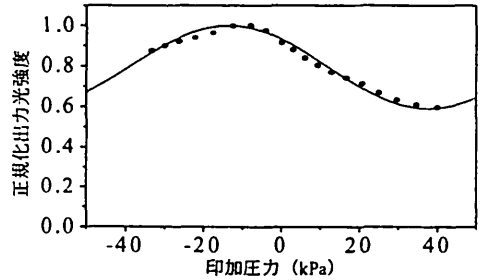


図6 TE-likeモード光励起時のMZ型センサの特性

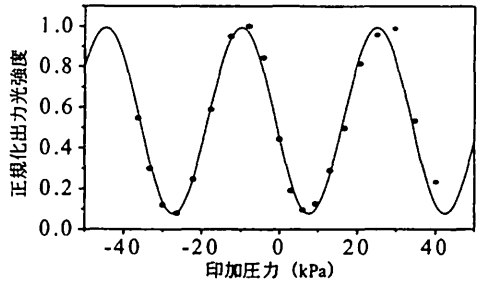


図7 IM型センサの特性

表1は測定値と理論値をまとめたものである。表より、測定値はどれも理論値の半分程度になった。また、理論値ではMZ型センサにおけるTM-likeモード光励起時の位相感度は、TE-likeモード光励起時の5.2倍となっているのに対し、測定値では4.1倍となり、感度の比に違いが出た。この原因は分かっていない。

表1 理論値と測定値の比較

	位相感度 (rad/kPa)	
	測定値	理論値
MZ型センサ TM-likeモード	0.250	0.513
MZ型センサ TE-likeモード	0.061	0.098
IM-typeセンサ	0.178	0.415

#### 5. まとめ

今回ダイヤモンドの大きさが14 mm×14 mm、厚さが0.22 mmのMZ型センサ及びIM型センサを作成し、特性評価を行った。それぞれのセンサの位相感度を比較したところ、MZ型センサにおけるTM-likeモード光励起時とTE-likeモード光励起時の位相感度の差がIM型センサの位相感度と同じになることが実験的に明らかになった。しかし、測定値は理論値の半分程度になり、MZ型センサにおけるTM-likeモード光励起時とTE-likeモード光励起時の感度の比にも違いが出た。この原因を調べるために再度センサを作成し、特性評価をする必要がある。