

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560233

研究課題名（和文） 帯状薄膜ミラーを用いた多入出力光スイッチの製造方法に関する研究

研究課題名（英文） Fabrication Process Improvement of Multi-channel Optical MEMS Switch Using a Belt-shaped Thin Film Mirror

研究代表者

奥津 和俊 (OKUTSU KAZUTOSHI)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・助教

研究者番号：40401567

研究成果の概要（和文）：本研究は、帯状薄膜ミラーを用いた多入出力光スイッチを容易に製造する方法を明らかにすることを目的とする。著者らが提案するこの光スイッチは簡単な構造で磨耗の問題が無いという特長を持つが、これまで適切な製造方法が明らかになっておらず、手作業に拠る所も大きかった。研究の結果、製造・組み立て方法の改良が、より正確な光スイッチングや駆動電圧の低減につながる事が分かった。また、駆動信号の改良による配線数の低減についても調べ、多入出力光スイッチの実現に向けて一定の成果を残した。

研究成果の概要（英文）：This paper describes fabrication process improvement of a multi-channel optical MEMS switch using a belt-shaped thin film mirror. This switch has advantages of simple structure and no wear. However its suitable fabrication process is not clarified yet and the prototype switches were manually assembled. In this paper, the suitable fabrication process was discussed and the effects of the fabrication process improvement on the switching accuracy and the driving voltage were examined. The optical switch made through the improved fabrication process controlled the spot position more accurately than the previous switches. In addition, the minimum driving voltage of the switch reduced. These experimental results quicken the realization of the multi-channel optical MEMS switch using a belt-shaped thin film mirror.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：MEMS、薄膜工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：光スイッチ、MEMS、薄膜、静電力、ミラー

1. 研究開始当初の背景

高速な光通信サービス FTTH の契約者数は平成19年6月末に966万人を突破し、光通

信用交換機に高性能な光スイッチの開発が必要とされている。中でもMEMS光スイッチは、小型で、消光比が大きく、特性が波長に

依存しないなど、多くの優れた特長を持ち、注目されている。しかし、現状の MEMS 光スイッチには、ミラーの角度調整範囲が狭く、ミラーを立体的に配置しなければならない、可動部品に磨耗が生じるなどの欠点もある。

著者らは、これらの欠点を原理的に解消する、帯状薄膜ミラーを用いた MEMS 光スイッチを提案している。図 1 にその光スイッチの 1 入力 8 出力の場合の三次元模式図、図 2 に駆動原理図を示す。本光スイッチは、複数の電極を有する上下基板と、その間に配置されたしなやかな帯状薄膜ミラーから成る。薄膜ミラーは GND に接地されており、電極への印加電圧を切り換えることで静電気力により変形・移動する。その結果、薄膜ミラーの移動と同時に光がスイッチングされる。この光スイッチは 3 つの簡単な部品から成り、磨耗の恐れもない。

著者らはこの原理に基づく光スイッチを試作し、実用化を目指し実験を行っている。しかし、現状では薄膜ミラーと上部基板との接合や上部基板と下部基板の位置合わせを手作業で行っているため、次の問題 1 と問題 2 が生じている。また、これまでに試作した光スイッチでは、様々な駆動信号で特性評価を行えることを重視し、配線数の低減に配慮しなかったため、多入出力化のためには問題 3 を解決しなければならない。

問題 1 は、薄膜ミラーの基板上での接合位置の再現性が低く、薄膜ミラーの駆動特性に影響を及ぼすことである。

問題 2 は、上部基板と下部基板の立体的な位置合わせに時間がかかるとともに、薄膜ミラーが塑性変形し、薄膜ミラーの耐久性を低下させている可能性があることである。

問題 3 は、基板上に新たに駆動信号線を接続するエリアはほとんど無く、現状の入出力数を増加させることは難しいことである。

これまでに試作した光スイッチは最大で 1 入力 8 出力の構造であるが、今後、光スイッチの多入出力化を進めると、これらの問題はより顕在化すると予想される。多入出力光スイッチの実用化のためには、これらの問題解決は必要不可欠であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、提案する原理に基づく多入出力光スイッチを容易に製造する方法を明らかにすることである。

3. 研究の方法

2 で掲げた目的を達成するために必要となる具体的な達成目標は次の 3 項目である。それぞれ、問題 1、2、3 の解決方法に対応する。

目標 1 は、多入出力光スイッチ用基板と薄膜ミラーを一体化して製造する技術を確認

することである。

目標 2 は、上記基板を用いた自動組み立て方法を確認することである。

目標 3 は、上記基板の駆動信号を改良し、基板上の配線数を低減させることである。

4. 研究成果

(1) 1 入力 8 出力光スイッチ用一体化基板の試作

薄膜ミラーを光スイッチ基板上に一体成形する技術を確認するために、製膜プロセスの最適化を行った。その結果、薄膜ミラーを光スイッチ基板上に MEMS プロセスを用いて一体成形することができるようになった。手作業で薄膜ミラーを基板上に配置する必要がなくなり、薄膜ミラー損傷の可能性を大幅に減少させることができた。図 3 は完成した一体化基板の写真である。薄膜ミラー表面は滑らかで損傷は無く、基板表面に正確にアライメントされている。

(2) 上記 (1) の基板を用いた自動組み立て方法の確認

上記 (1) の基板を用いた自動組み立て方法を確認するために、サーボ機構を用いた自動組み立てに取り組んだ。その結果、2 つのステージを同時に制御することによって、薄膜

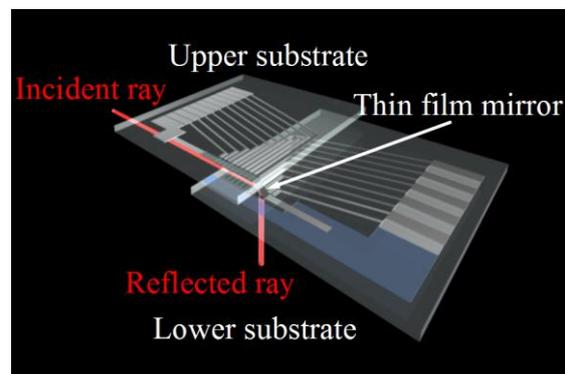


図 1 提案する光スイッチの三次元模式図

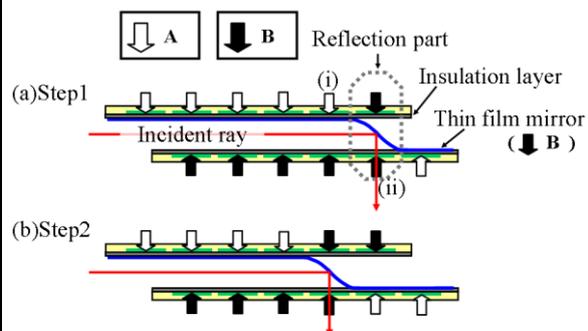


図 2 提案する光スイッチの駆動原理図

ミラーの塑性変形が抑制され、光スイッチを組み立てることができるようになった。

(3) 製作・組立方法の改良を行った光スイッチの動特性評価

上記(1)、(2)の製作・組立方法の改良の効果を調べるために、改良した方法で作製した光スイッチの動特性評価を行った。図4に光スポット位置の時間応答波形を示す。黒い細線が実際の反射光のスポット位置、灰色の太線が参照スポット位置を示す。薄膜ミラーを駆動電圧 40V、駆動周期 48ms で1ステップ 0.5mm ずつ移動させ、14ステップで一往復するように駆動信号を切り替えた。図5に示した製作・組み立て方法改良前の結果と比較すると、実際の光スポット位置と参照スポット位置がより一致するようになったことが分かる。この傾向は、駆動周期 8ms、4ms の場合でも見られ、光スイッチの製作・組み立て方法の改良によって製作精度が向上した結果、光のスイッチングの正確さが向上したことが示された。また、各位置における薄膜ミラー反射部の角度変動を調べた結果、そのばらつきは±1度以内であることが分かった。

図6は改良した製作・組み立て方法で作製した光スイッチを駆動電圧 24V で評価した結果である。製作・組み立て方法の改良によって、駆動電圧を 24V まで低減することに成功した。

(4) 駆動信号の改良による配線数の低減

光スイッチ基板上の配線数を低減するために、上記(3)で使用した駆動信号を改良し、上記(2)で試作した1入力8出力光スイッチに適用して、動作を調べた。その結果、駆動信号の改良によって配線数を低減可能であることが分かった。しかし部品製作・組み立て作業で問題が生じて、光スイッチの追加製作ができず、光スイッチの動特性の再現性を確認するに至らなかった。

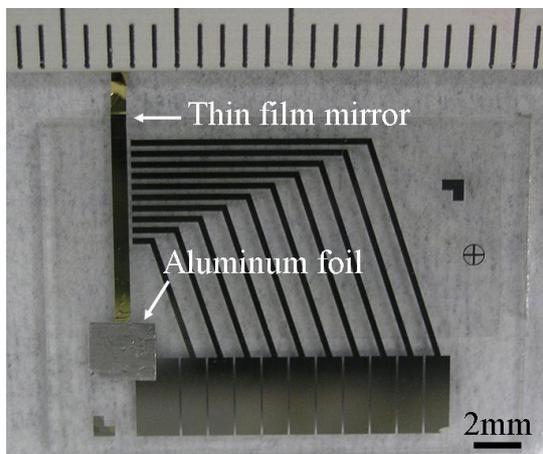


図3 作製した一体化基板

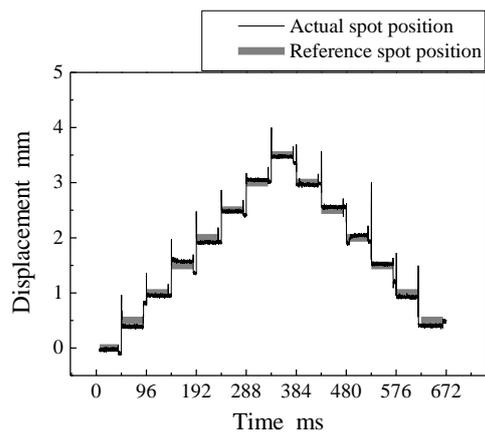


図4 光スポット位置の時間応答波形 (製作・組立方法改良後の光スイッチを 40V で駆動)

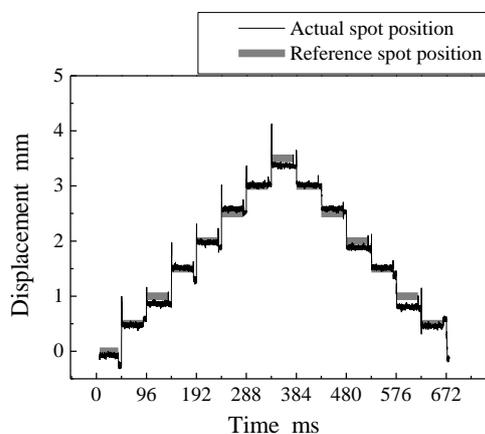


図5 光スポット位置の時間応答波形 (製作・組立方法改良前の光スイッチを 40V で駆動)

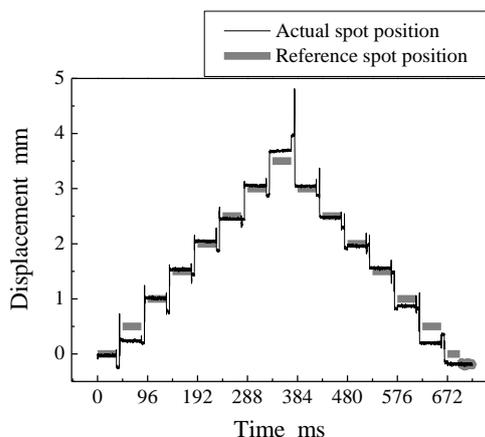


図6 光スポット位置の時間応答波形 (製作・組立方法改良後の光スイッチを 24V で駆動)

(5) 薄膜ミラーと基板との位置合わせ・固定方法の変更

上記(1)～(3)で設計・評価した一体化基板の製造プロセスは、産業界で利用されている設備があれば十分実用的と考えられる。しかし、本課題で現在利用可能な設備では、製膜した透明電極膜上に犠牲層をスパッタ製膜する工程が部品製作の歩留まりを低下させている可能性がある。そこで、製作容易性を向上させることに取り組んだ。

別々の工程で作製した薄膜ミラーと基板とを容易に位置合わせする方法を試みた。また、これまで、帯状薄膜ミラーの固定にアルミ箔と接着剤を使用していたが、その厚みが光ファイバーの挿入失敗の障害になり、部品製作の歩留まりを低下させる原因の1つであった。そこで、薄い接着フィルムを使用した接着方法に変更した。

その結果、容易に薄膜ミラーを基板上に位置合わせ・固定することができるようになり、かつ、部品製作の歩留まりの向上につながった。

(6) 1 入力多出力光スイッチの試作と動特性評価

上記(4)で改良した駆動信号を多入力光スイッチで評価するために、多入出力光スイッチ用の基板を新しく設計した。これを上記(5)の方法で製作し、その動特性を調べた。その結果、帯状薄膜ミラーを駆動するために必要な電圧が研究当初よりもかなり高くなった。この原因について調査したところ、透明電極上に製膜した絶縁膜の膜厚や膜質が研究当初の光スイッチから変化し、帯状薄膜ミラーを電極に吸着させるのに必要な電圧が高くなってしまっていたことが明らかになった。これは、スパッタ装置やターゲット材料の状態が変化したこと起因すると思われる。そこで、最適な製膜条件を調べ、その条件で製作した光スイッチを用いて、動特性を評価した。その結果、帯状薄膜ミラーの駆動に必要な電圧を下げることもできた。ただし、1ステップずつの駆動は再現性が低く、さらに製作方法を改良する必要がある。

(7) 研究の総括

本報の研究により、帯状薄膜ミラーを用いた光スイッチの部品製作方法や組立方法の改善が、より正確な光スイッチングや駆動電圧の低減につながる事が分かった。また、駆動信号の改良による配線数の低減についても調べ、多入出力光スイッチの実現に向けて一定の成果を残すことができた。しかし、帯状薄膜ミラーの駆動の再現性が低く、多入出力光スイッチの実現のためには、さらなる製作方法の改良が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)

奥津和俊、Fabrication Process Improvement of Optical MEMS Switch Using a Belt-shaped Thin Film Mirror、Asian Symposium for Precision Engineering and Nanotechnology 2009、2009年11月12日、ステーションホテル小倉(北九州)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥津 和俊 (OKUTSU KAZUTOSHI)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・助教

研究者番号：40401567

(2) 研究分担者

佐藤 海二 (SATO KAIJI)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・准教授

研究者番号：00215766