三次元光導波路とくし歯形静電アクチュエータの 集積化デバイスの試作

正員 斉藤 秀典 正員 藤田 博之 (東京大学)

Trial Fabrication of a Movable 3-D Optical Waveguide
Integrated with a Comb-type Electrostatic Microactuator
Hidenori Saito, Member, Hiroyuki Fujita, Member (The University of Tokyo)

キーワード：光導波路、マイクロマシニング、アクチュエータ、シリコン酸化窒化膜

最近、半導体作製技術を用いたマイクロマシニングにより静電モータや種々のアクチュエータが作られている。マイクロアクチュエータの有望な応用分野の一つに、微小光学系がある。両者を融合できれば、マイクロメカノプティクスと称すべき、新しい可能性が広がる。この時、シリコン基板上に3次元光導波路とマイクロアクチュエータを集積化できるプロセスは、極めて重要である。超小型の光スイッチや切替器、干渉計、光集積回路の入出力端での能動的アライメント等、種々の応用がある。今回は、半導体マイクロマシニング技術を用いて、3次元光導波路とマイクロアクチュエータとを一体集積化したデバイスの試作を行ったので報告する。

今回試作した3次元光導波路とマイクロアクチュエータとを一体化したデバイスの概略図を図1に示す。3次元光導波路は、分岐点で可動部(A)と比較用の固定部(B)に分かれる。基板から分離した両持ち梁の上部を、光導波路(A)が通る。梁はマイクロアクチュエータにより変形可能である。将来(A)、(B)の出力光を干渉させ、変位計とすることを目指している。

本研究では光導波路の材料として、シリコン酸化窒化膜(以下、SiON)を用いた。SiONはそこに含まれるOとNの組成比によってSiO₂ (屈折率 $n=1.46$) とSi₃N₄ ($n=2$) の間の屈折率になる。すなわちOが多いほど屈折率は1.46に近づき、Nが多いほど2に近づく。SiONは高周波(RF)スパッタリング法で成膜した。SiO₂ : Si₃N₄ = 9 : 1の組成のターゲットを用いた。反応ガスはArとN₂である。反応ガスがArのみであるとSiON薄膜は不透明になってしまう。またArとN₂の分圧比を変えてスパッタしたSiON薄膜の屈折率を測定したところ、その分圧比によって薄膜の屈折率は変化した。これは、反応性スパッタリングが起きているためであると考えられる⁽¹⁾。今回はArとN₂の比を1対1として成膜したSiON膜($n=1.52$)をコアに用いた。3次元光導波路のコアは、厚み250nm、幅2 μ mとした。

本研究ではマイクロアクチュエータとして、表面マイクロマシニングを用いて作製できるくし型アクチュエータを選んだ。アクチュエータの構造材料のSiO₂薄膜は、圧縮性の内部応力が入る場合が多い。圧縮性の内部応力により、両持ち梁などの構造は座屈する恐れがある。したがってその圧縮

力を極力低減する方法を試みた。SiO₂をスパッタにより成膜するときスパッタ中の反応ガス圧力が高いほど、圧縮応力が緩和される傾向がある⁽¹⁾。このため、くし型マイクロアクチュエータの構造材料となるSiO₂は、反応ガス圧を高くして(反応ガス:Ar, 圧力: 4Pa程度)、スパッタ法によって成膜することとした。また、スパッタ法によって成膜されたSiO₂薄膜の屈折率を測定し、 $n=1.47$ を得た。反応ガス圧を高くしてスパッタしたSiO₂薄膜についても、これを光導波路のクラッドおよび基板として用いることができることを確認した。

マイクロアクチュエータの構造材料は絶縁体であるので、これを静電力で駆動するためには、上面と側面を導電性の材料(金属)で覆う必要がある。側面にも薄膜を付着するには、スパッタ法が有効である。したがって、マイクロアクチュエータをリリース後、スパッタによって金属(Cr/Cu)を堆積した。これにより、マイクロアクチュエータは導電性を持つようになり、静電力による駆動が可能になった。

図2にこのデバイスの作製プロセスを示す。これは図1のA-A'断面の様子を表している。

(a) Si基板上にSiO₂ (2 μ m)、SiON(250 nm)をスパッタする。

図1 マイクロアクチュエータと3次元光導波路とを一体化したデバイスの概略図

Fig. 1 Schematic representation of a device composed of a microactuator and an optical waveguide.

- (b) Niを蒸着し、フォトリソ（以下P.R.）を塗布して、露光、現像する。Niをエッチングし、P.R.を剥離する。
 (c) NiをマスクにしてSiON全てとSiO₂の一部を反応性イオンエッチング（以下RIE）により、エッチング断面が基板と垂直になる異方性エッチングを行う。エッチングガスには、CHF₃とO₂を用いた。
 (d) Niを剥離してSiO₂(2μm)をスパッタにより堆積する。
 (e) Niを蒸着し、マイクロ構造の形にエッチングする。
 (f) Niをマスクにして、SiO₂をCHF₃とO₂のRIEで異方性エッチングする。
 (g) 基板のシリコンをSF₆のRIEで等方性エッチングし、構造を基板から分離（リリース）する。
 (h) スパッタによりCr(10nm)とCu(100nm)を堆積する。

図3に製作したくし型マイクロアクチュエータの電子顕微鏡写真を示した。内部応力を完全に除去できなかったため、マイクロアクチュエータのサスペンション部分などはわずかに捻んでいるのがわかる。図4にマイクロアクチュエータの駆動電圧と変位の関係を示した。駆動電圧を上げると、急に変位が大きくなる。これはアクチュエータのサスペンションに

図2 製作プロセス
Fig. 2 Fabrication process.

図3 試作したデバイス
Fig. 3 Microphotograph of the device.

内部圧縮応力が入っているために、そのばね定数が非線形になっているためと考えられる。また、基板を劈開し、光導波路の端面からHeNeレーザ光を導入したところ、他端まで光が導波されていることが確認できた。しかし、減衰は10 dB/cm以上と極めて大きかった。

以上、半導体マイクロマシニング技術を用いて、3次元光導波路とマイクロアクチュエータとを一体化したデバイスの試作を行った。また、アクチュエータが実際に3次元光導波路を駆動可能なことを確かめた。

今後は、内部応力の低減と光導波特性の向上のため、さらにプロセスを改良する必要がある。

末筆ながら、光導波路の測定において、お世話になった本研究第3部藤井陽一教授および藤井研究室の近藤由紀子助手に深く感謝致します。

（平成7年8月31日受付）

文 献

- (1) 金原, スパタリング現象, 東京大学出版会 (1984)

図4 マイクロアクチュエータの駆動電圧と変位の関係
Fig. 4 Displacement of the microactuator as a function of applied voltage.

斉藤秀典

（正員） 昭和45年2月18日生。平成4年3月東京大学工学部電子工学科卒業。6年3月同大学院工学系研究科電気工学専攻修士課程修了。主として、マイクロメカトロニクスの光学応用に関する研究に従事。現在、北陸電力株式会社に勤務。

藤田博之

（正員） 昭和27年12月13日生。昭和50年3月東京大学工学部電気工学科卒業。52年3月同大学院にて工学修士、55年3月工学博士。同年4月より東京大学生産技術研究所講師、助教授を経て、平成5年8月より同教授。主としてマイクロメカトロニクスの研究に従事。