SMA 薄膜を用いた導波路一体型光駆動アクチュエータ

SMA thin-film actuator driven by light energy using optical waveguide

○ 八木 祐樹 (岡山大) 楨野 旭洋 (岡山大)
正 神田 岳文 (岡山大) 正 鈴森 康一 (岡山大)

Yuki YAGI, Okayama University, yagi7@act.sys.okayama-u.ac.jp
Akihiro MAKINO, Okayama University
Takefumi KANDA, Okayama University
Koichi SUZUMORI, Okayama University

In this research, the SMA thin film actuator has been driven by heat of infrared radiation laser. Fabricated SMA actuator can be driven under specific environment by converting light energy into thermal energy. Optical adhesive has been used for an energy transmission from light source. The actuator consisted of a stainless steel substrate, a SMA, and optical waveguide. The optical waveguide allow downsizing the device because waveguide pattern can be easily formed by RIE (Reactive Ion Etching). The length of the driving part was 5mm. The displacement value of SMA thin film actuator was 1.2μm when the irradiated optical output was 766mW.

Key Words: SMA, infrared radiation laser, optical adhesive, RIE

1. 緒言

形状記憶合金 (SMA) アクチュエータは単純な機構で大きな変位量、発生力を発生する。一般に SMA アクチュエータの駆動には通電加熱が用いられるが、磁場の影響や漏電の可能性がある。

本研究は、駆動源に光エネルギーを用いた光駆動 SMA アクチュエータの開発を目的としている。従来の光加熱方式 SMA アクチュエータでは光ファイバの搭載が必要となり、構造が複雑となって、小型化が困難であった[1][2]。これに対し光源からのエネルギー伝達にペースト状有機材料である光学接着剤を使用し、光導波路を形成することにより、単純な構造で小型化が可能となる[3][4]。また光駆動方式を用いることにより、非接触でのエネルギー供給も可能である[5][6]。

本研究では、スパッタリング法を用いて Ti-Ni の薄膜を成膜し、熱処理を行うことにより SMA の薄膜を作製した。さらに RIE(Reactive Ion Etching)を用いた光導波路加工プロセスを確立し、光導波路一体型の光駆動 SMA 薄膜アクチュエータを作製した。薄膜化した SMA を用いることにより、SMA の問題点である応答速度の改善が見込まれる。

2. 光導波路と RIE を用いた加工

2.1 光導波路について

光導波路とは、光エネルギー伝達のための伝送路のことである。伝送路となるコア層と、コア層を覆うクラッド層から形成され、屈折率の異なる材料を用いることで境界面において反射を繰り返し、光を伝達する。本研究では図 1 に示すようにペースト状の光接着剤を用いて、光導波路を形成した。

Fig.1 Optical adhesive

2.2 RIE による光導波路のエッチング

本研究では均一な境界面を形成するために光接着剤の塗布にスピコートを用いた。紫外光により光接着剤を硬化させ、光導波路を形成した。光導波路を加工するために RIE 装置を用い、ドライエッチングを行った。RIE を用いることにより微細加工が可能となり、光導波路を任意の形状に加工することが容易となる。単結晶 Si 基板上の光導波路を RIE により加工した様子を図 2 に示す。

Fig.2 Processed Optical waveguide by using RIE

3. アクチュエータの構造と駆動原理

3.1 入射部の構造

非接触で光を入射するために、アクチュエータ上部から照射した光を 90° 屈曲させる。入射された光は光導波路内で伝達され、任意の場所が加熱される。図 3 に SMA アクチュエータ入射部の様子を示す。ダイシング加工により光導波路末端を 45° に加工し、上部から入射した光の反射面を形成した。

Fig.3 Cross sectional view of incidence part

3.2 SMA 薄膜の成膜

スパッタリング装置を用いて Ti-Ni の薄膜を厚さ 0.02mm の SUS304 の箔上に成膜した。表 1 に示す条件で行った。

EDX(Energy Dispersive X-ray spectrometry)を用いた測定の結果、この薄膜の原子量比での組成比は Ti:Ni=47.83:52.17 であった。さらに表 2 に示す条件において熱処理を行った[7]。

Table1 Sputtering condition	
Degree of vacuum [Pa]	379
Discharge power [W]	20
Sputtering time [min]	30
Count	5

Table2 Heat treatment condition for SMA thin film	
Heat treatment temperature [°C]	379
Heating rate [°C/min]	20
Treating time [min]	30
Atmosphere	Ar
Cooling method	water-cooling

3.3 アクチュエータの構造

図 4 に SMA アクチュエータの全体図を示す。アクチュエータは、SMA を成膜した基板、光導波路から構成されている。光導波路の厚さは 10 μ m である。また SMA 薄膜の膜厚は 5 μ m である。

Fig.4 Schematic of the actuator

SMA を加熱するために波長 830nm の赤外光を用いた。コア層に入射された光はコア層とクラッド層では全反射されるが、コア層と SMA との表面では反射、または熱として吸収される。加熱された SMA は熱処理時の形状に駆動し、アクチュエータとして下に凸の湾曲した状態に変形する。光照射を停止すると、アクチュエータは基板のバイアス力により元の形状に戻る。

4. アクチュエータの作製と駆動評価

4.1 アクチュエータの作製

基板上に Ti-Ni 薄膜を成膜後、高温炉で熱処理を行った。スピコートを用いて SMA 上に光導波路を形成後、ガラスマスクを用いて RIE を行い、光導波路のエッチングを行った。図 5 に製作した SMA アクチュエータを示す。

Fig.5 Fabricated actuator

4.2 SMA アクチュエータの駆動評価

作製したアクチュエータに関し、アクチュエータ先端の変位測定実験を行った。赤外光源出力で 20s 照射した際の先端の変位量と時間の関係を図 6 に示す。光源と入射部の距離は 12mm である。また変位の測定にはレーザ変位計を用いた。

測定の結果、光源出力が 766mW のとき、最大変位は 1.2 μ m であった。

Fig.6 Relationship between tip displacement and time

5. 結言

本研究では SMA 薄膜アクチュエータの試作、駆動実験を行った。光エネルギー伝達には、任意の形状に形成可能なペースト状有機材料である光接着剤を用い、光導波路の RIE を用いた加工プロセスを確立した。

作製したアクチュエータに対し、駆動実験を行った結果、光源出力が 766mW のとき、最大変位 1.2 μ m であった。また非接触駆動が可能であることを確認した。

謝辞

本研究の一部は平成 16～20 年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究 438「ブレイクスルーを生み出す次世代アクチュエータ研究」「局所狭隙作業機器への応用可能なマイクロアクチュエータ構造体システムの研究」の助成を受けて行われました。

参考文献

- [1] 中村仁彦, 清水和利: “低侵襲外科手術用光駆動 SMA 能動鉗子”, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.73, pp.439~448, 1999.
- [2] 遠山修, 前田重雄, 阿部一博, 村山学: “環境認識デバイスの開発”, 三菱電線工業時報, Vol98, pp.79-87, 2001.
- [3] 八木祐樹, 榎野旭洋, 神田岳文, 鈴森康一: “ペースト状有機材料のパターニングを用いた光駆動形状記憶合金アクチュエータ”, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1A1-B18, 2008.
- [4] 八木祐樹, 榎野旭洋, 神田岳文, 鈴森康一: “光導波路一体型多自由度光駆動 SMA アクチュエータの開発”, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3H4-2, 2008.
- [5] 榎野旭洋, 岸隆志, 神田岳文, 鈴森康一: “ペースト状有機材料を利用した光駆動形状記憶合金アクチュエータ”, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会, 3I17, 2007.
- [6] 八木祐樹, 榎野旭洋, 神田岳文, 鈴森康一: “ペースト状有機材料を用いた光導波路一体型光駆動 SMA アクチュエータ”, 日本機械学会岡山講演会, C06, 2008.
- [7] T. Matsunaga, S. Kajiwar, K. Ogawa, T. Kikuchi, S. Miyazaki: “High strength Ti-Ni-based shape memory thin film”, Materials Science and Engineering A273-275, pp.745-748, 1999.