

形状記憶合金薄膜を用いたアクチュエータの作製 — マイクロシステムの開発 —

秋本恭喜・小幡睦憲・池田 哲・江田善昭・岡田正孝
生産技術部

Fabrication of actuator which uses shape-memory alloy thin film. — Development of micro system —

Yasuki AKIMOTO・Mutsunori OBATA・Tetsu IKEDA・Yoshiaki EDA・Masataka OKADA
Production Engineering Division

要旨

TiNi 形状記憶合金薄膜を用いた、カンチレバー型の TiNi/SiO₂/Si 三層構造アクチュエータを作製した。また加熱・自然冷却により可逆的駆動動作を確認し、そのときの抵抗値・変位量を計測した。併せて、マイクロシステム開発に向け、ガラス基板加工・フォトリソグラフィ・ウェハ各プロセスデータ取得を行った。

1. はじめに

形状記憶合金は、一般に、メガネフレーム、携帯電話のアンテナ、下着など広く利用されている。

また、形状記憶合金は大きな動作量と発生力を有し、単純な機構であるので、形状記憶合金をマイクロ化できれば、他のアクチュエータと比較しても将来有望なマイクロアクチュエータとなる可能性がある。

さて、Si と SiO₂ 膜の間には Fig.1 のように、膜面が凸面になって基板表面が薄膜の拡張力を受け、薄膜断面に膜の拡張を妨げる圧縮応力が作用する。このためこの内部応力により曲がる力に対し、平面等に形状記憶された TiNi 形状記憶合金膜を貼り合わせるにより形状記憶合金薄膜の復元力を利用してダイヤフラム式やカンチレバー式構造のアクチュエータを構成し、マイクロシステムへの適用を検討している。

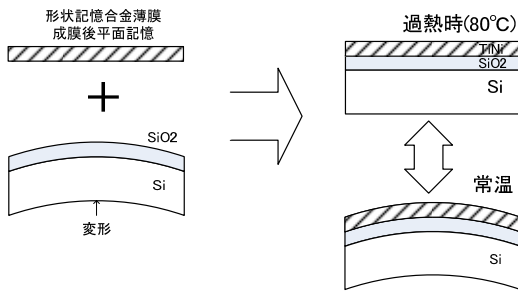


Fig.1 内部応力による変位を利用

例えば、Fig.2 のようなスイッチを想定し、過電流により形状記憶合金が過熱時所定の温度で、平面への復元力により電気回路を遮断するシステムの実現に向け試作・検討中である。

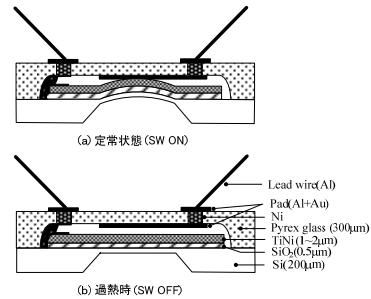


Fig.2 システム構造案

2. 作製プロセスについて

半導体製造微細加工技術を利用したパッケージ用ガラス基板加工プロセス及び、シリコンウエハからカンチレバー式アクチュエータを形成するプロセスを Fig.3~Fig.5 に示す。

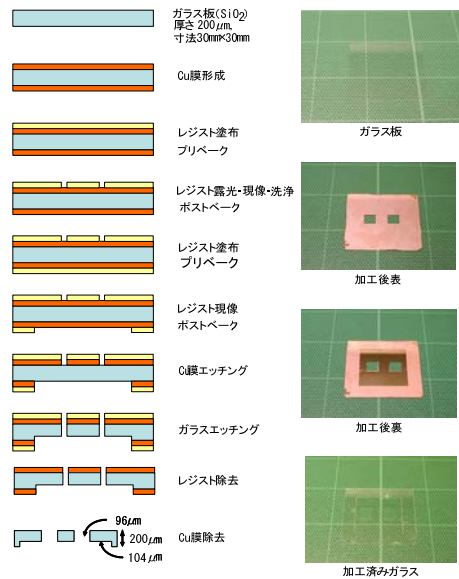


Fig.3 パッケージ用ガラス基板加工プロセス

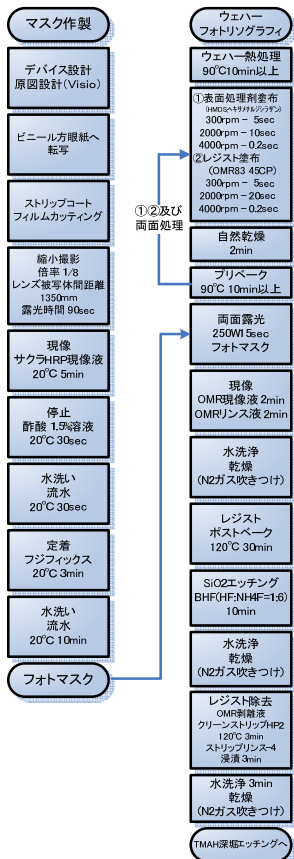


Fig.4 作製プロセス-フォトリソプロセス

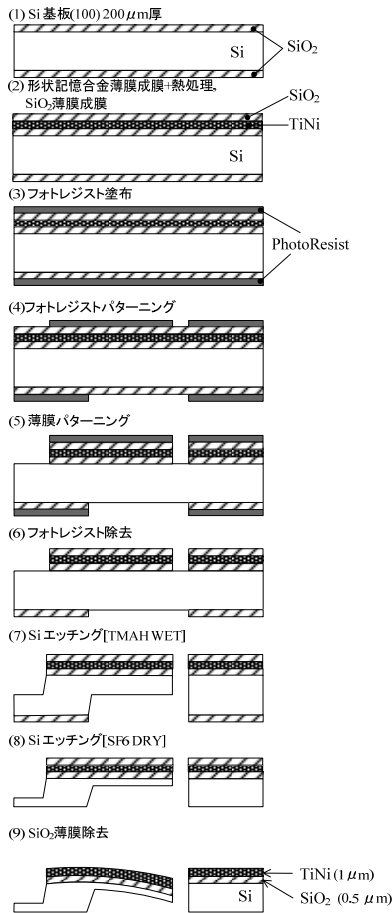


Fig.5 作製プロセス-ウエハープロセス

2.1 薄膜の成膜 [Fig.5 中(1)(2)]

主要な形状記憶合金薄膜・TiNi 薄膜の形成は、DC マグネトロンスパッタ装置を用い、基板温度 (300°C), Ar ガス圧力 (0.5Pa) にて、TiNi (60/40at.%) 合金ターゲットに DC パワー100W で 60min 印加、ターゲットから 100mm 離れた 2 インチφ 200 μm 厚の 0.5 μm 厚酸化膜付きシリコンウエハ基板上に約 0.9 μm 厚の TiNi 薄膜を形成した。その後、形状記憶のための熱処理(700°C0.5hr/500°C5hr)を行った。TiNi 薄膜の成膜レートを Fig.6 に示す。

また、TiNi 薄膜の示差走査熱量計 (DSC) 測定結果を Fig.7 に示す。マルテンサイト変態点 (59.06°C), 逆マルテンサイト変態点 (76.74°C) をそれぞれ得た。このときの薄膜の組成比は、Ti : Ni = 55.6 : 44.4 であった。

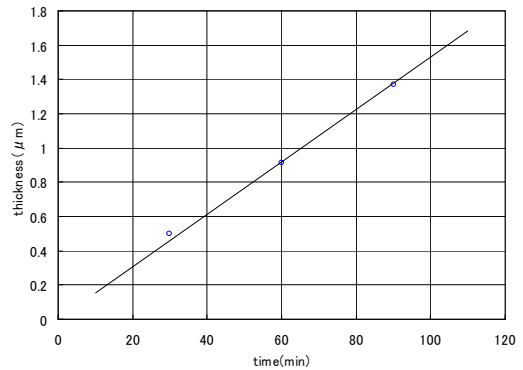


Fig.6 TiNi 成膜レート

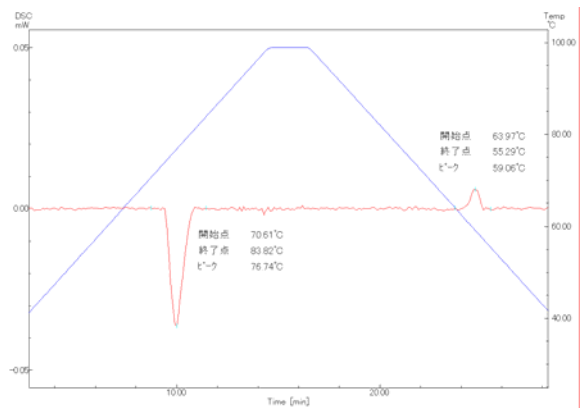


Fig.7 TiNi 薄膜の DSC 結果

SiO₂ 薄膜の形成は、RF マグネトロンスパッタ装置を用い、常温で Ar ガス圧力 (0.1Pa), SiO₂ ターゲットに RF パワー100W で 300min 印加、ターゲットから 150mm 離れた TiNi 成膜後の基板上に約 0.5 μm 膜厚の SiO₂ 薄膜を形成した。SiO₂ 膜は Si 層エッチング時、TiNi 薄膜を保護するために使用する。SiO₂ 薄膜の成膜レートを Fig.8 に示す。

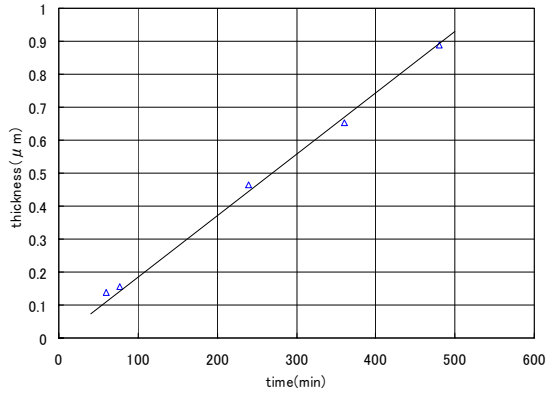


Fig.8 SiO₂ 成膜レート

2.2 フォトレジスト塗布・パターニング [Fig.5 中(3)(4)]

フォトレジストには、ネガ型レジスト(OMR85,25cp), 前処理剤に HDMS(ヘキサメチルジシラザン)をスピンコータで塗布¹⁾, バーク後両面露光機で露光後, 現像した. 各装置を Fig.9 に示す.

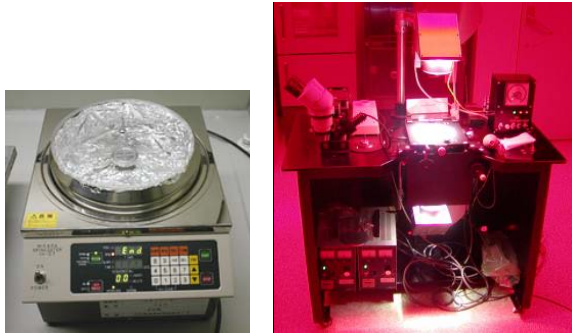


Fig.9 スピンコータ・両面露光機

2.3 薄膜のパターニング [Fig.5 中(5), (9)]

SiO₂ 薄膜は, 緩衝フッ酸 BHF (HF+NH₄F=1:5 (体積比)) 溶液で 8min, TiNi 薄膜は HF+HNO₃+H₂O (=1:1:2(体積比)) 溶液 10sec 浸せきによりパターニングを行った. 特に, パターニング中フォトレジストが HF+HNO₃ 液に対して剥がれやすくなるため, 処理時間の短縮化, 浸せき処理前後のレジストのベークン及び, レジスト塗布前の前処理剤(HDMS)コートが必要不可欠である.

2.4 Si 層のエッチング²⁾ [Fig.5 中(7)(8)]

Si エッチャントとして 25%水酸化テトラメチルアンモニウム水溶液(TMAH)によるウェット及び, 六フッ化硫黄(SF₆)によるドライエッチングを併用した. それぞれのエッチングレートを Fig.10 に示す.

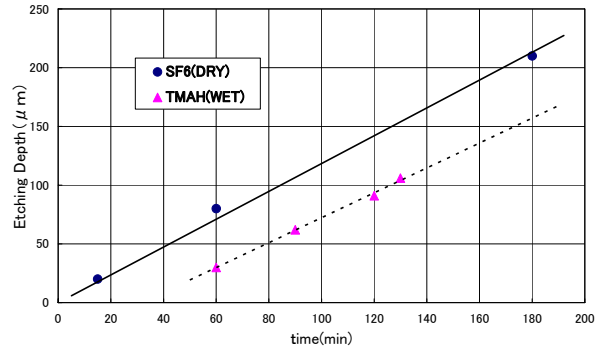


Fig.10 Si エッチングレート

3. 試作・評価

3.1 カンチレバーの試作

四対のカンチレバーが電極パッドを介して電流導入できるように配置, 試作した試料外観を Fig.11 に示す.

なお, カンチレバーサイズは, 長さ 7mm×幅 3.5mm, 最小電流経路幅 1.5mm とした.

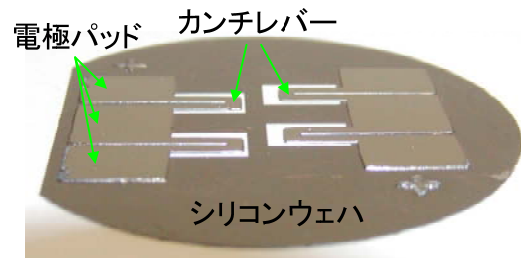
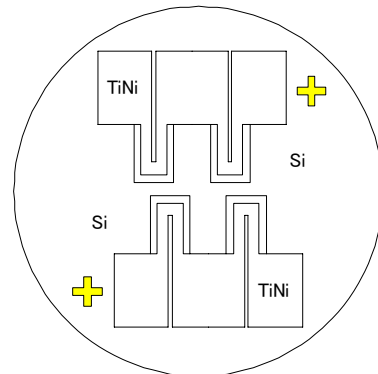


Fig.11 試作試料の外観

3.2 加熱試験

試作試料をホットプレートにより加熱・自然冷却を行い, そのときの変位をビデオ及びレーザー顕微鏡により観測した. 室温~加熱昇温時~降温時のカンチレバーの変位の様子を Fig.12 に示す.

約 50°Cを超えたあたりから徐々にカンチレバー先端が上昇し始め, 80°Cでほぼピーク位置となった. 降温側では, 80°Cから徐々に下降しはじめ 40°Cにかけてゆっくりと下降したが昇温前の状態までは, 完全復帰しなかった.

変位量は、カンチレバー毎にバラツキが見られたが、レーザー顕微鏡計測により、加熱昇温時に約 260~450 μm 上昇し、降温時に約 180~440 μm の下降が確認された。

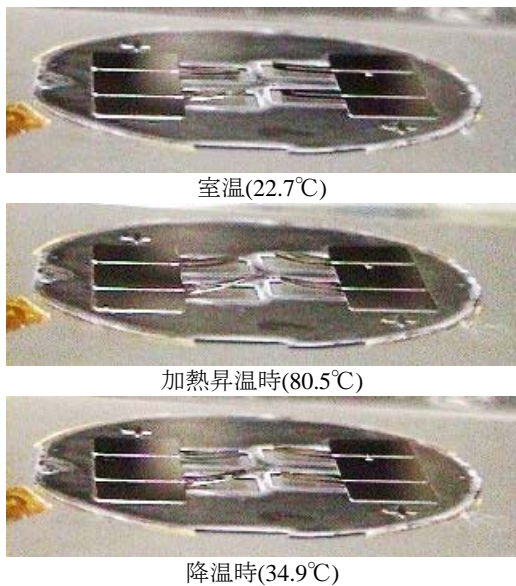


Fig.12 加熱昇温・降温時の変位状況

3.3 電気抵抗値評価

四端針プローバにホットプレートを設置し、試料を加熱昇温~降温させる際に、四端子抵抗法により電極パッド間の抵抗値を評価した。評価状況を Fig.13 に示す。また、温度による抵抗値の変化を Fig.14 に示す。

Fig.12 で示すカンチレバーの変位の開始と終了の温度が抵抗値の変化状況と良く一致していることが判った。

ただ、TiNi 薄膜の抵抗変化(相転移)温度幅がパターンニング加工前と比較すると+5°C程ブロードになっている事が確認され、フォトリソプロセス、ウェハープロセスを経て膜の劣化が進んでいると想定される。

また、各端子間の電気抵抗は、TiNi 薄膜の膜厚とパターン幅に依存するが、24 Ω 程であった。

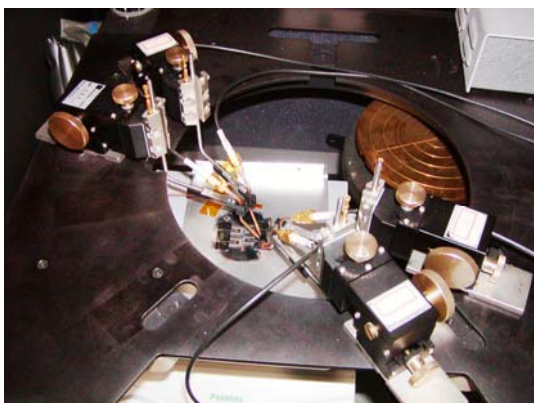


Fig.13 電気抵抗の評価

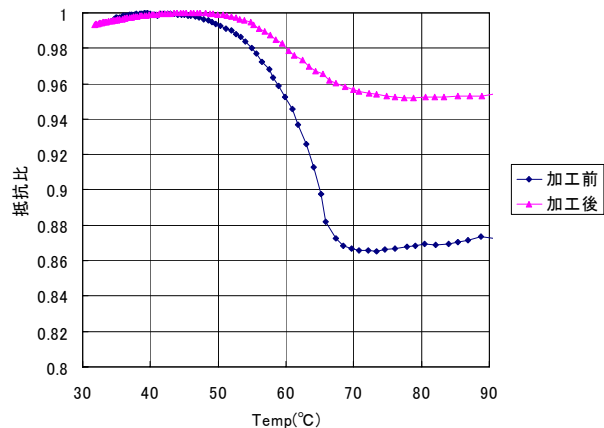


Fig.14 温度-抵抗特性

4. むすび

以上、TiNi 形状記憶合金薄膜を用いた、カンチレバー型の TiNi/SiO₂/Si 三層構造アクチュエータ作製の取り組みを報告した。

今回試作により TiNi/SiO₂/Si の三層サンドイッチ構造において加熱・冷却により可逆的駆動動作を確認できた。また併せてマイクロシステム開発に向け必要となるガラス基板加工・フォトリソグラフィ・ウェハープロセスデータを取得した。

現状、Si 層のエッチングにおいて、TMAH エッチング及び、SF₆ ドライエッチング時のエッチング量にムラがあり、カンチレバーの角度・位置にバラツキがみられた。このことから位置決めには Si 層の厚み制御に工夫が必要であること及び、各薄膜・Si 層それぞれの最適な厚みを求める必要がある。

これらを踏まえ、今後形状記憶合金薄膜をアクチュエータに適用する試みを進展させ、電子回路に組み込めるマイクロブレーカーや、情報機器分野へ向けたスイッチなど新規なマイクロシステム開発へ取り組む。

参考文献

- 1) 難波康典, "Si 光導波路の作製", 高知工科大学卒業研究報告, 平成 17 年 2 月 22 日
- 2) 江田善昭, 関慶福, "TMAH による Si のウェットエッチング", 平成 16 年度大分県産業科学技術センター研究報告, pp.42-44

本実験に使用した DC マグネトロンスパッタリング装置 (i-sputter) は、日本自転車振興会の補助金を受けて平成 15 年度設置したものの。