445 Ni-Ti 形状記憶合金薄膜の力学的特性評価

Evaluation of Mechanical Response of Ni-Ti Shape Memory Alloy Thin Films

○ 久保 豊和 (徳島大) 正 高木 均 (徳島大)
 学 岡野 耕次 (徳島大) 正 三澤 弘明 (徳島大)
 正 松尾 繁樹 (徳島大) 浅井 真人 (古河電工)

Toyokazu KUBO, The University of Tokushima, Under Graduate School
 Hitoshi TAKAGI, The University of Tokushima
 Koji OKANO, The University of Tokushima, Graduate School
 Hiroaki MISAWA, The University of Tokushima
 Shigeki MATSUO, The University of Tokushima
 Masato ASAI, Furukawa Electric Co., LTD

Key Words : Shape Memory Alloy, SMA, Thin film, Ni-Ti, Sputtering

1. 緒論

近年、産業界のみならず一般家電製品の小型化に伴い、それに用いる駆動源であるアクチュエータの小型化が求められている。このためこれまでに静電アクチュエータ、圧電素子、Ni-Ti 形状記憶合金などの様々なマイクロアクチュエータの研究が数多く行われてきた。

Ni-Ti 形状記憶合金は、低エネルギー効率、低応答性という短所はあるが、小型化しても出力重量比が高く、形状記憶合金自体が構造部材、駆動源、センサとしての機能を有することから、減速ギヤなどの付属機構が必要ないという多くのメリットがあるため、マイクロアクチュエータ材料として注目されている。

この形状記憶合金の小型化において有力な手段とされているのが合金の薄膜化である。薄膜化の手段としては、特にスパッタ法を用いた研究が盛んに行われている。しかしながら、微小化した形状記憶合金の特性評価が困難なこと、スパッタ装置が高価であることなどの理由から、この形状記憶合金スパッタ薄膜をアクチュエータとして用いるための具体的な特性評価はあまり行われていない。

そこで、本研究では形状記憶合金スパッタ薄膜をアクチュエータとして用いる際の、重要な因子の一つである応答性についての調査した結果を報告する。

2. 試料作製

高周波マグネトロンスパッタ装置 (MB98-5005, ULVAC 製) を用いて、銅箔上に膜厚 $5\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $12.5\mu\text{m}$ の Ni-Ti 合金薄膜を蒸着した (Table1 参照)。

銅箔に付着した膜を幅 2mm に切断後、石英ガラスにはさみ平板形に拘束し、 750°C の真空中で 15 時間の溶体化処理を行った。その後、形状を記憶させるために膜厚 $20\mu\text{m}$ の銅箔と共にステンレス棒に巻き付けて円筒形に拘束 ($\epsilon=0.5\%$) し、 400°C の真空中で 24 時間の時効処理を行い、二方向性薄膜形状記憶合金を作製した。Fig.1 にこの試料の温度と比抵抗の関係を示す。ここで、比抵抗値はスパッタ膜の 80°C の電気抵抗値を 1 とした時の各温度における電気抵抗値であり、Fig.1 よりこの試料の変態点は $A_s=53^\circ\text{C}$, $R_s=37^\circ\text{C}$, $M_s=-8^\circ\text{C}$ であった。なお、今回の実験は室温 (約 23°C) で行ったため、形状記憶合金の駆動は R 相変態 (網掛け部分) によるものである。

Table 1 Sputtering conditions

Target	Ni-Ti (50:50 at.%)
Substrate	Copper film ($20\mu\text{m}$)
Target-substrate distance	60 mm
RF power	170 W
Back pressure	$1.0\times 10^{-5}\text{ Pa}$
Ar pressure	0.278 Pa
Substrate temperature	200°C

Fig.1 Relationship between temperature and normalized resistance of reversible SMA by Sputtering

3. 実験方法

スライドガラスで薄膜をはさみ、加熱時に下向きに動くように片持はり状に固定した。はり長さは 2mm である。変位測定にはキーエンス製 CCD レーザ変位センサ (LK-030) を用いた。使用した装置の概略図を Fig.1 に示す。シャッターを定速回転させて、一定周期で試料をランプ加熱することで薄膜が変形するようになっていく。測定した変位はアンプを介してデジタルオシロスコープに記録した。

Fig.2 Schematic diagram of measurement system

4.実験結果及び考察

Fig.3 Relationship between frequency and displacement of reversible SMA film (5 μ m) made by sputtering

Fig.3 は膜厚 5 μ m のスパッタ薄膜の加熱周波数と変形との関係を示したものである。ここで注目すべき点は、周波数が高くなるにつれ、冷却側の位置(Δ 印)が急に下がり、それに対応して振幅が小さくなっていることである。つまり、この結果は十分に試料の冷却が行われていないことを示している。

Fig.4 Difference of frequency and amplitude of SMA films

Fig.4 は各膜厚における周波数と振幅の関係を横軸を対数表示にして示したものである。なお膜厚 50 μ m の薄

膜は圧延膜である。この図から振幅は周波数に対して指数関数的に減少していることがわかる。このことからより高い周波数域で応答を得るためには十分な加熱、冷却方法の確立が必要になる。そしてまた、膜厚が薄くなるに伴い振幅が大きくなり、加えて応答性が向上することも明らかである。

Fig.5 Difference of response behavior among for SMA films with three different thickness

Fig.5 は膜厚による立ち上がり応答特性の違いを示した図である。膜厚が薄くなるにつれて応答が速くなる。これは膜厚が薄くなると必要な熱量が短時間で得られるためであると考えられる。また、加熱時の応答を 1 次遅れ要素のステップ応答と仮定すると、試料の変位量が総変位量の 63.2%に到達するまでの時間(時定数)と膜厚との間には正比例が成り立つことが確認された (Fig.6 参照)。

Fig.6 Relationship between thickness and response time of reversible SMA made by sputtering

5.結言

- ・ 膜厚が薄くなるにつれて熱容量が小さくなり、熱の影響を受けやすくなるため応答振幅は大きくなり、応答速度は速くなる。
- ・ 周波数が高くなると冷却が間に合わなくなり、大きな振幅を得ることができない。そのため高周波応答を得るためには冷却が重要である。
- ・ 薄膜の応答時間は膜厚に比例する。