

氏名(本籍)	とも ざわ まさ なり 友 澤 方 成 (東京都)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	博 甲 第 4592 号		
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	小ヒステリシス形状記憶合金薄膜の特性評価とマイクロアクチュエータへの応用		
主 査	筑波大学教授	工学博士	宮 崎 修 一
副 査	筑波大学教授	博士(工学)	鈴 木 博 章
副 査	筑波大学准教授	工学博士	木 塚 徳 志
副 査	筑波大学准教授	工学博士	谷 本 久 典
副 査	筑波大学准教授	工学博士	金 熙 榮

論 文 の 内 容 の 要 旨

Ti-Ni 形状記憶合金薄膜は高い力と大きな変位量を発生できるため、強力且つ大変形が可能なマイクロアクチュエータ素子として応用されている。しかし、Ti-Ni 合金薄膜は加熱と冷却という熱の伝達を介して駆動するため応答性が低い。このため、この材料を用いたマイクロアクチュエータは駆動周波数の上昇に伴い変位量が低下していき、1Hz 程度の駆動周波数でしか本来の変位量を利用することができない。本研究では、Ti-Ni 形状記憶合金の変態-逆変態時の温度ヒステリシスを低減させることによって、この材料の応答性を向上させ、それらを用いることによって駆動周波数が数 10Hz 以上に達するまで変位量が低下しないマイクロアクチュエータを開発した結果について記述してある。

本研究では温度ヒステリシスの小さい Ti-Ni-Cu 合金薄膜、およびマルテンサイト変態よりも温度ヒステリシスの小さい Ti-Ni 合金薄膜の R 相変態を利用したマイクロアクチュエータを作製し、仕事量に加え、応答性にも優れるマイクロアクチュエータの開発に成功した結果について記述してある。また、マイクロアクチュエータ作製時の熱処理温度がマイクロアクチュエータの内部組織と動作特性に及ぼす影響についても記述してある。このように R 相変態や Ti-Ni-Cu 形状記憶合金薄膜を用いてマイクロアクチュエータを作製することは世界で初の試みであった。

作製した各マイクロアクチュエータの動作特性を調べたところ、Ti-Ni-Cu 合金薄膜マイクロアクチュエータは、従来の Ti-Ni 合金薄膜マイクロアクチュエータに比べ変位量が僅かに小さいが、温度ヒステリシスは約 1/4 にまで低減されていた。R 相変態を利用したマイクロアクチュエータは変位量こそ Ti-Ni マイクロアクチュエータの 1/4 程度と小さいものの、温度ヒステリシスは Ti-Ni マイクロアクチュエータの 1/7 以下にまで低減された。

これらマイクロアクチュエータはパルス電流印加による通電加熱と自然冷却によって連続的に駆動させることもできる。また、パルス電流の周波数と電流値を制御することによって、異なる駆動速度で動作させることも可能である。従来の Ti-Ni マイクロアクチュエータでは、50Hz が駆動速度の限界であったが、Ti-Ni-

Cu マイクロアクチュエータおよび R 相マイクロアクチュエータは、いずれも 100Hz 以上での駆動が可能となり、熱駆動型の形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータとしては世界最高速度を達成した。Ti-Ni-Cu マイクロアクチュエータの変位量は、駆動周波数が 70Hz 以上になると駆動周波数の上昇に伴い徐々に低下する傾向を示したが、10Hz 以上の周波数では Ti-Ni 合金薄膜マイクロアクチュエータおよび R 相マイクロアクチュエータよりも高い値を示し、Ti-Ni-Cu 形状記憶合金薄膜を利用することによって仕事量に優れるマイクロアクチュエータの開発に成功した。一方で R 相マイクロアクチュエータでは駆動周波数が 100Hz まで上昇しても変位量は全く低下せず、Ti-Ni 合金薄膜の R 相変態を利用することによって、応答性に優れるマイクロアクチュエータの開発にも成功した。

作製したマイクロアクチュエータはダイアフラム部が Ti-Ni-Cu/SiO₂ 二層構造であるため、熱処理温度によっては Ti-Ni-Cu と SiO₂ との間で相互拡散が起こり、特性が劣化する可能性がある。このため、熱処理温度と Ti-Ni-Cu/SiO₂ 界面の拡散反応の程度の間関係を調べるために、873K ~ 1023K の温度範囲で熱処理を施したマイクロアクチュエータの断面を FIB (Focused Ion Beam) 加工によって切り出し、TEM によって観察した。このように形状記憶合金薄膜マイクロアクチュエータの断面を TEM により直製観察した例はなく、世界で初の試みであった。

TEM 観察の結果、いずれの熱処理温度においても界面には反応層が存在するが、熱処理温度が 973K に達すると、その厚さが急激に増加した。また、熱処理温度が 923K 以下の場合、反応層の厚さは熱処理温度に依らない。これはこれら反応層が熱処理時に形成されたものではなく、SiO₂ 上に Ti-Ni-Cu 層をスパッタ蒸着する際に形成されたものであるためである。また、これら反応層はナノビームを用いた電子線回折測定を行うにより Ti₆Ni₁₆Si₇ と Ti₄Ni₂O の混在したものであると同定された。

973K 以上の熱処理温度では Ti-Ni-Cu/SiO₂ 界面の反応層の拡大に対応して、Ti-Ni-Cu 層内の組成変動が起こることも明らかとなった。また反応層の拡大は変位量の低下につながり、組成変動は Ti-Ni-Cu 層自体の特性を劣化させることが明らかとなった。ただし、973K 以上の温度で熱処理を施したマイクロアクチュエータに関しても、加熱と冷却によって形状変化とその回復が確認され、動作の可否自体に影響は見られなかった。

審査の結果の要旨

本論文は、形状記憶合金薄膜をマイクロアクチュエータに利用する上で問題となっていた応答性の低さを、形状記憶合金薄膜の温度ヒステリシスを減少させえることによって、形状記憶合金薄膜本来の発動力や変位量を低下させずに向上させることに成功した価値のある論文である。また、マイクロアクチュエータの特性に及ぼす熱処理温度の効果を、マイクロアクチュエータの内部組織と実際の動作特性の変化の二方面から明らかにした研究は世界的にも先例がなく、非常に重要且つ高度な研究であると判断される。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。