

## 論文審査の結果の要旨および担当者

|      |               |
|------|---------------|
| 報告番号 | ※ 甲 第 11477 号 |
|------|---------------|

氏 名 渡辺 茂高

### 論文題目

アモルファス合金厚膜構造体の製作方法とMEMSへの応用  
(Fabrication method of amorphous alloy thick film structure and  
its application to MEMS)

### 論文審査担当者

|    |       |     |       |
|----|-------|-----|-------|
| 主査 | 名古屋大学 | 教授  | 秦 誠一  |
| 委員 | 名古屋大学 | 教授  | 梅原 徳次 |
| 委員 | 名古屋大学 | 准教授 | 櫻井 淳平 |
| 委員 | 名古屋大学 | 教授  | 大岡 昌博 |

## 論文審査の結果の要旨

渡辺茂高君提出の論文「アモルファス合金厚膜構造体の製作方法とMEMSへの応用」は、良好なアモルファス相と断面形状を持つアモルファス合金厚膜構造体の新しい製作方法として、二重メタルマスク・リフトオフ法と、逆リフトオフ法を提案し、その加工特性を明らかにした上で、MEMSへの応用について述べている。各章の概要は以下の通りである。

第1章「緒論」では、本研究の背景と目的を述べている。MEMSにおける機械的構造体の厚みが増加すると、その内部応力により破断しないために、より高強度な材料が必要となる。加えて、用途に適した弾性率を有する材料も必要となる。本論文では、このような機械的構造体に、アモルファス合金材料が適していると述べている。アモルファス合金材料は、結晶金属材料と比較して、結晶粒界に起因する破壊が発生しないため高強度であり、加えて、シリコン材料と比べると、材料と弾性率の選択性に優れている。また、過冷却液体領域を有するアモルファス合金である金属ガラスは、一般的なアモルファス合金材料に比べて熱的安定性が高く、臨界冷却速度も低いので、厚みの大きい構造体の製作に適していると述べている。

更に、アモルファス合金を用いた厚膜構造体の製作方法には、スパッタ法による厚膜成膜と、リフトオフ法による形状の加工が適していると述べている。ただし、リフトオフ層として用いられるフォトレジストは、厚膜成膜で生じる熱により酸素を含む脱ガスを発生させ、アモルファス合金を酸化・結晶化させる懸念がある。また、脱ガスを発生させないメタルマスクを用いたリフトオフ法では、成膜で生じる熱や膜応力により、メタルマスクの変形を生じ基板との間に隙間が生じる。この隙間にも成膜材料が堆積するため、厚膜構造体の断面形状は悪化する。

以上の背景を踏まえ、本研究の目的を、良好なアモルファス相と断面形状を持つアモルファス合金厚膜構造体の新しい製作方法の提案と評価、及び、MEMSへの応用としている。

第2章「二重メタルマスク・リフトオフ法の提案と応用」では、二重化したメタルマスクをリフトオフ層として用いる新規リフトオフ法（二重メタルマスク・リフトオフ法）を提案している。この製作方法では、大部分の成膜粒子は、上部のメタルマスクの表面に堆積するので、成膜粒子は下部のメタルマスクの表面に堆積しにくい。このために、下部のメタルマスクでは膜応力や熱応力による変形が抑制される。その結果、下部メタルマスクは、基板への密着を維持出来るので、開口部に形成された厚膜構造体の側面形状は維持される。加えて、同方法では、脱ガスによるアモルファス合金の酸化・結晶化の懸念は生じない。

本研究では、二重メタルマスク・リフトオフ法と、従来のフォトレジストを用いたリフトオフ法にて、同形状の金属ガラスCu-Zr-Ti厚膜構造体を製作し、構造体の結晶化度と断面形状を比較し、前述した二重メタルマスク・リフトオフ法の利点を確認している。次に、二重メタルマスク・リフトオフ法を用いて、金属ガラスCu-Zr-Ti厚膜構造体を基部とした一軸走査ミラーデバイスの製作と駆動を行っている。

更に、二重メタルマスク・リフトオフ法の課題を示している。同方法では、形成する構造体の膜厚が不均一となり、その断面が曲面形状となる。これは、成膜粒子は、リフトオフ層に遮られ、リフトオフ層開口部底部の基板に、均一に堆積しないためである。加えて、構造体の幅が異なると、リフトオフ層開口部のアスペクト比（厚さ／開口幅）も異なるので、堆積する成膜粒子の数が変化し、構造体の膜厚と断面形状は変化する。そのため、構造体上面に微細加工技術を用いて電氣的要素を積層する事は困難となるという課題を明らかとしている。

第3章「逆リフトオフ法の提案と評価」では、前述の問題を解決する「逆リフトオフ法」を提案している。逆リフトオフ法は、パターンニング形状の凸部を予め形成し、成膜することで、凸部表面上に膜厚が均一な厚膜構造体のパターンを形成するプロセスである。逆リフトオフ法と従来のフォトレジストを用いたリフトオフ法、及び二重メタルマスク・リフトオフ法を比較し、アモルファス合金厚膜構造体の製作方法としての逆リフトオフ法を評価している。その結果、0.1～1.0 mmの幅を持つ金属ガラスCu-Zr-Ti厚膜構造体において、従来方法では10%を超える最大膜厚の変化率を、逆リフトオフ法では1%未満に抑制可能である事を示している。各リフトオフ法と比較すると、逆リフトオフ法では、異なる幅を持つ構造体でも膜厚は均一であり、その断面は、より矩形に近い形状となっている。加えて、構造体の上面に微細加工を用いて電氣的要素を付加する事は容易である事を示している。

更に、成膜時に熱容量が大きく脱ガスの懸念が無い材料の凸部を用いる逆リフトオフ法では、試料の温度上昇は抑制され、脱ガスは生じないので、金属ガラスCu-Zr-Ti厚膜構造体のアモルファス相を容易に維持できる事を示している。以上から、各リフトオフ法に比べて、逆リフトオフ法はMEMSの機械的構造体となるアモルファス合金厚膜構造体の製作方法として適していると結論付けている。

## 論文審査の結果の要旨

第4章「二軸走査ミラーデバイスの製作と駆動」では、逆リフトオフ法を用いたMEMSプロセスについて述べている。逆リフトオフ法では、求めるパターン形状を持つ凸部の上面に厚膜構造体が形成されるので、凸部周辺の基板にはパターン形状のネガ型の凹部が形成される。この基板形状に適合する微細加工技術を用いて、逆リフトオフ法で製作する厚膜構造体の上面に、絶縁層と電氣的配線を積層する方法について提案している。最後に、提案したMEMSプロセスの実例として、金属ガラスCu-Zr-Ti厚膜構造体を基部とした二軸走査ミラーデバイスを製作し、駆動を確認している。

第5章「結論」では、各章で得られた結果をまとめるとともに、今後の課題を述べている。

以上のように本論文では、二重メタルマスク・リフトオフ法と逆リフトオフ法における加工特性を明らかにし、MEMSへの応用とし二軸走査ミラーデバイスを製作している。これらの新しいアモルファス合金厚膜構造体の製作方法と得られた結果は、アモルファス合金厚膜構造体のMEMSへの応用を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である渡辺茂高君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。