

審査の結果の要旨

氏名 岡田 浩尚

本論文は、従来の加熱プロセスを伴う封止技術ではダメージを受けやすい圧電薄膜や有機薄膜等の材料を用いた MEMS(Microelectromechanical systems)デバイスの封止実装を可能にする、表面活性化法を用いた常温封止接合プロセスの開発と、その封止性能評価方法の開発に関するものである。特に本論文は、1) 接合表面形状のリークに与える影響の調査、2) 金属封止枠の常温封止接合への適用可能性の検討、3) 封止評価専用デバイスの開発についてまとめたものである。これらの内容について、審査では以下のような議論があった

本研究の意義と全般的な内容について

本論文の成果の具体的な意義に関しては、Au 薄膜を用いた表面活性化法による常温封止接合プロセスの開発では、PZT や有機物等の具体的な材料を示し、これらの加熱に弱い材料を用いたデバイスに対する封止プロセスの低温化の必要性から本研究で開発するプロセスの意義を説明した点が評価された。また、封止評価専用デバイスの開発では、これまで半導体実装で用いられているリークテスト法では個別にリークの有無を判断できないこと等の理由からその適用性が限定的であり、本研究で開発するような封止評価専用デバイスを取り付けたキャップ構造を用いる有意性を説明し、それを提案していることが評価された。全体的な論文の記述については、式の適用範囲の明確化や理論の導出過程等の説明も十分になされていると評価された。

1) について

接合表面形状のリークに与える影響に関しては、AFM(Atomic force microscopy)で測定した表面形状データを用いて実際の封止枠の臨界接触率やリーク率を算出しているが、AFM で測定した表面形状データは大きくても 4 μm 角程度であり、そのような微小領域から実際の封止枠(幅数十 μm 以上)の臨界接触率を算出することの妥当性について議論された。本論文では、多数の異なる 1 μm 角の表面形状データを、例えば 16 μm 角の表面形状データとなるようにランダムに敷き詰める方法により 4 μm 角以上のデータを擬似的に作り、その表面形状データを用いて臨界接触率を算出する方法を提案するとともに、例えば表面粗さが二乗平均粗さで 1.53nm の as-sputtered Au 薄膜に関しては、16 μm 角程度の大きさでは臨界接触率が収束することを示すなどの成果が示されている。提案方法

の妥当性については、 $4\mu\text{m}$ 角の大きさに対し、 $1\mu\text{m}$ 角のデータを敷き詰めたものとそうでないものの結果を比較し、それらがほぼ一致することからその妥当性を示している。このように、この手法により微小領域から封止枠の臨界接触率が算出できることを示す一方で、上記の表面の場合には、臨界接触率の収束値と 6 個の異なる $4\mu\text{m}$ 角の表面形状データから算出した平均の臨界接触率は、前述した収束した値にほぼ一致していることを見出し、臨界接触率の収束値、すなわち実際の封止枠サイズの臨界接触率を算出するためには提案したような微小領域を敷き詰める方法を行う必要はなく、適当な領域数(上記の表面に関しては 6 個)の異なる $4\mu\text{m}$ 角の表面形状データから得た結果の平均値で表せることを示した。また、封止枠サイズ(幅)を増加させると、臨界接触率のばらつきが小さくなるために、実効的な臨界接触率を小さくすることができることになるが、臨界接触率が収束するサイズよりも封止枠を大きくしても、接触率に関する接合条件を緩和する効果は無いことを示している。全体的には、本研究は常温真空封止接合に必要な表面制御条件を算出する方法を初めて提案していることが高く評価された。

2) について

金属封止枠の常温封止接合への適用可能性の検討に関しては、Au の表面粗さが二乗平均粗さで 1nm 以下の場合には、無加圧での接合実現も予測されたが、実際に荷重を変えて接合実験を行い、その結果を比較することにより適切な荷重印加の有効性を確認するとともに、真空封止接合が出来る可能性を示している点が評価された。

3) について

封止評価専用デバイスの開発に関しては、デバイスの基本形状として固定壁に隣接したカンチレバー構造を提案するとともに、その設計のために必要な分子流領域でのカンチレバーの気体減衰を見積もる式を新たに提案している。作製したカンチレバーの気体減衰量の実測値と提案した式により算出した理論値は良く一致しており、提案した式の有用性が示されている。また、これまでの研究では振動子の機械的な Q 値は分子流領域では圧力に反比例することが予測されたが、実測値では傾きが減少しておりその原因が明確になっていなかったが、本研究により、Q 値が圧力に反比例する実測値を得ることができ、その原因は構造減衰によって定まる Q 値の飽和値が小さいためであることを示していることが評価された。

以上の結果から、本論文には封止プロセスの低温化とその評価技術について工学的に有用な多くの成果がまとめられていると判断される。よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。