

氏 名	ドオ ヴァン チュン DO VAN TRUONG
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2715 号
学位授与の日付	平 成 18 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 機 械 物 理 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Interface strength between submicron - thick films under monotonic and cyclic loads (単調負荷および繰返し負荷下のサブミクロン薄膜界面強度に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 北 村 隆 行 教 授 宮 崎 則 幸 教 授 北 條 正 樹

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、電子デバイスや MEMS の微小要素間の異材界面におけるはく離き裂発生・成長実験法の開発とともに、それに基づく微小材料界面強度の力学的解析および評価を行ったもののものであって、5 章からなっている。

第 1 章は緒論であり、従来の薄膜と基板の界面強度評価法の力学的問題点について整理し、本研究の目的と位置付けについて述べている。

第 2 章は、応力特異性が弱い界面端からの界面き裂発生に関する研究結果をまとめている。界面端には、両材料の変形ミスマッチが集中するフリーエッジ効果によって特異応力場が生じることがある。その特異場の様相は材料の組み合わせと端部形状に依存しているため、同部におけるき裂発生は複雑な様相を呈する。とりわけ、材料の組み合わせによって同形状の界面端近傍においても応力特異場の指数が異なるため、従来の破壊力学概念による応力拡大係数を用いた評価では、材料界面の強弱を判定することができなかった。そこで、微小材料の界面端からはく離き裂発生臨界条件に関して、サンドイッチ型試験片を用いて系統的实验を行った。とくに、電子デバイスで用いられる材料の組み合わせにおいては特異性が弱い応力場であることが多いことに着目し、はく離き裂発生臨界条件として界面端近傍の臨界平均応力を提案した。これによって、界面端からはく離き裂発生が統一的に評価できることを示すとともに、異材料組み合わせ間の強弱を直接比較できることを明らかにした。さらに、この提案方法に基づいて、弱い特異性を有する 8 種類の材料の組み合わせに関して各々複数回の界面端からのき裂発生実験を行い、各因子 (a)膜金属、(b)製膜法、(c)酸化層) が界面はく離き裂発生臨界強度に与える影響について検証し、定量的に差異を比較評価できることを明らかにした。

第 3 章は、一般の特異応力場に関する臨界条件について検討している。界面におけるはく離解析を行う有力な方法のひとつにはく離発生部の局所エネルギーをモデル化した Cohesive Zone Model がある。同モデルは、原理的には強い特異性を持つ界面端を含む一般の場合の解析が可能であるが、微小要素における界面端やき裂先端近傍における吸収エネルギー等のパラメータの決定方法や有効性に対する体系的な研究は行われていない。そこで、界面に沿った薄膜界面はく離き裂成長試験および界面端からはく離き裂発生試験を行うとともに、それらに対する Cohesive Zone Model と組み合わせた有限要素法解析を実施した。簡単な試行錯誤的評価によって、同 Model の統一パラメータを合理的に決定することが可能であることを示した。これによって、汎用性の高いはく離き裂発生・成長のクライテリオンを導出することができる。

第 4 章は、繰返し負荷による基板上の多層薄膜界面におけるき裂成長についての実験より得られた成果をまとめている。大気中の実験観察より、疲労き裂は界面を安定的に伝ばし、そのき裂成長速度は特異場の強さを代表する応力拡大係数範囲と良い対応関係を示した。ただし、き裂伝ばには上下限応力拡大係数範囲が存在する。また、それらの上下限比が小さいことから脆性的き裂伝ばであることが判明した。負荷周期のみが大きく異なる実験を行い、同一応力拡大係数範囲値に対して時間基準のき裂成長速度が負荷周期によらず同一であることを見出した。これは、このき裂成長が環境に支配されていることを示している。

第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、電子デバイスやMEMSの微小要素間の異材界面のはく離強度評価法の確立を目的に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) 界面端にはフリーエッジ効果によって特異応力場が生じることがある。その特異場の様相は材料の組み合わせと端部形状に依存しているため、同部におけるき裂発生は複雑な様相を呈する。とりわけ、応力特異場の指数が異なるため、複数の材料組み合わせの強弱を判定することができなかった。そこで、今まで体系的な研究がなかった微小材料の界面端からはく離き裂発生臨界条件に関して系統的实验を行った。とくに、電子デバイスで用いられる材料の組み合わせにおいては特異性が弱い応力場であることに着目し、はく離き裂発生臨界条件が界面端近傍の平均応力で評価できることを示すとともに、異材料組み合わせ間の強弱を直接比較できることを明らかにした。
- 2) 1) で提案した方法に基づいて、各因子 (a)膜金属、(b)製膜法、(c)酸化膜) が界面はく離き裂発生臨界強度に与える影響について定量的に明らかにした。
- 3) 1) の方法を特異性の強い一般の場合に拡張適用するために、Cohesive Zone Model に基づく有限要素法解析を実施した。界面端形状の異なる試験片に関する実験の結果より Model のパラメータを合理的に決定することが可能であり、汎用性の高い臨界き裂発生・成長条件を導出することができることを示した。
- 4) 薄膜と基板の界面における大気中のき裂伝ぱについて実験的検討を行った。き裂は安定的に伝ぱし、応力拡大係数範囲と良い対応関係を示した。き裂伝ぱの上下限が存在し、それらの比が小さく脆性的き裂伝ぱである。また、き裂は環境の影響が強く時間依存性伝ぱ特性を示すことを明らかにした。

本論文は、微小構造材料の界面はく離強度に新たな知見を与えるものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年8月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。