

氏 名	しづ たに ただ ひろ 濞 谷 忠 弘
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1985 号
学位授与の日付	平 成 12 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	微細構造物としての LSI 配線の破壊機構に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 北 村 隆 行	教 授 駒 井 謙 治 郎	教 授 島 進
--------	----------------------	---------------	---------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、微細な構造材料の破壊機構を解明するために、典型的な微細構造物である LSI 配線の原子輸送によるマイグレーション破壊と界面のセパレーションによるはく離破壊について解析および実験によって研究した結果をまとめたものであり、6章からなっている。

第1章は緒論であり、LSI 配線構造を示すとともに、サブミクロンの微細構造材料に特有の破壊過程について整理し、マイグレーション破壊とはく離破壊について述べている。さらに、これらを基に本研究の目的と位置づけについて述べている。

第2章では、粒界と界面がネットワークを組む多結晶材料に応力が負荷された場合における、粒界や界面に沿った原子流(ストレスマイグレーション)の数値シミュレーション方法について議論している。この手法を行いて、多結晶配線やバンブー構造配線におけるキャビティ近傍の複雑な応力分布と原子流分布を明らかにした。また、キャビティ近傍の微視組織と成長速度の関係を定量的に示すことに成功した。

第3章では、電流による原子流(エレクトロマイグレーション)と応力による原子流(ストレスマイグレーション)が共存する場合の数値シミュレーション法を開発した。とくに、粒界と界面がネットワークを組む多結晶材料における原子流が解析できることに本手法の有用性がある。本手法を用いて、多結晶配線内の競合条件下の応力分布を明らかにするとともにキャビティ成長特性を解析した。また、配線屈曲部では電流密度に特異場が生じることに着目し、それが電流・応力競合マイグレーション、および、キャビティ成長に及ぼす影響を解明した。

第4章では、体拡散クリープ下のキャビティ成長に関する解析法を提案した。本方法を用いて基礎モデルに対する解析を行って、有効性を明らかにするとともに、従来解析されている粒界拡散クリープ下のキャビティ成長解析結果と比較した。また、開発した手法を粒界拡散・体拡散競合条件下にも拡張する方法について検討した。この方法を LSI 配線に適用し、体拡散・粒界拡散・界面拡散の混合条件下におけるストレスマイグレーションによるキャビティ成長特性を明らかにした。

第5章では、薄膜の変形を治具で拘束し、はく離試験時の薄膜の塑性変形や破壊を防止した試験方法を考案した。銅配線用サブミクロン薄膜の界面端はく離試験に本方法を適用して、界面強度を定量的に評価できることを示した。また、界面端には特異応力場が発生する。境界要素法解析を併用して、界面端からのはく離開始クライテリオンとして、応力場の特異性の強さを表すパラメータを明らかにした。界面端の形状や負荷方法を変えた試験を行って、このクライテリオンの有効性および一般性を実証した。

第6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、微細な構造材料の破壊機構を解明するために、典型的な微細構造物である LSI 配線のマイグレーション破壊と界面のはく離破壊について研究した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

- (1)多結晶配線における応力に誘起された原子流（ストレスマイグレーション）の数値シミュレーションを行い、キャビティ近傍の複雑な応力分布を明らかにするとともに、キャビティの成長に及ぼす粒界ネットワークの影響を解明した。
- (2)電流による原子流（エレクトロマイグレーション）と応力による原子流が競合する場合の数値解析法を開発した。その手法を用いて、多結晶配線内の競合条件下の応力分布を明らかにするとともにキャビティ成長特性を解析した。また、配線屈曲部では電流密度に特異場が生じることに着目し、それが電流・応力競合マイグレーションに及ぼす影響を解明した。
- (3)体拡散クリープ下のキャビティ成長に関する解析法を提案した。本方法を用いて基礎モデルに対する解析を行って、有効性を明らかにした。また、開発した手法を粒界拡散・体拡散競合条件下に拡大する方法を提案した。この方法を LSI 配線に適用し、体拡散・粒界拡散・界面拡散の混合条件下におけるキャビティ成長特性を明らかにした。
- (4)薄膜を治具で拘束し、はく離試験時の薄膜の変形・破壊を防止した試験方法を考案した。銅配線用サブミクロン薄膜の界面端はく離試験に本方法を適用して、界面強度を定量的に評価できることを示した。
- (5)界面端には特異応力場が発生する。境界要素法解析を併用して、界面端からのはく離開始クライテリオンとして、応力場の特異性の強さを表すパラメータを明らかにした。界面端の形状や負荷方法を変えた試験を行って、このクライテリオンの有効性および一般性を実証した。

以上、本論文は応力や電流による粒界・界面ネットワーク上の変形・破壊や異材の変形ミスマッチによる特異応力場に起因する界面破壊について解析および実験を行ったものであり、学術上、實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12年7月26日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。