331 薄膜界面端のはく離じん性の破壊力学的評価

Evaluation of interface strength at edge of thin films

○正 瀧谷忠弘 (京大)

正 北村隆行 (京大)

Tadahiro SHIBUTANI, Kyoto University, Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto

Takayuki KITAMURA, Kyoto University, Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto

Key Words: Micro Testing, Thin Film, Delamination, Interface Strength, Stress Singularity

1 緒 言

LSIに代表される電子デバイスは、多層の薄膜で構成されており、界面はく離が重要な破壊機構となる。微細化に伴い、用いられる膜厚もミクロン以下となっているが、そのオーダーの薄膜に対しては試験の実施の困難さに起因して有効な評価法は確立されていない。とくに、はく離は界面端より発生するケースが多いが、力学的に詳細な検討例は少ない⁽¹⁾。著者らは、基板上の薄膜を界面端よりのはく離させる試験方法を開発し、界面端におけるはく離発生条件について検討してきた^{(2),(3)}。薄膜のはく離は、界面端の特異応力場に支配されており、界面端における破壊じん性を求めることにより定量的に評価することができる。

本研究では、薄膜の界面端強度の破壊力学的な評価を目的としている。とくに、界面端形状によって特異性指数が変化するため、それが界面端破壊じん性に及ぼす影響について検討した。

2 界面端の応力特異性

界面端近傍においては、応力 σ_{ij} と界面端からの距離 r の間に次式で示す応力特異性が現れる。

$$\sigma_{ij} = K_f \frac{1}{r^\lambda} \dots\dots\dots (1)$$

λ は応力特異性の指数、 K_f は応力特異性の強さを表す係数であり、応力特異性はこの2つのパラメータより決定される。膜厚ミクロン以下の薄膜においても、界面はく離はこの応力特異性に支配されており、界面端強度ははく離発生の抵抗値として破壊力学的に評価することができる^{(2),(3)}。すなわち、界面端は特異性指数 λ に対して固有の強度特性値 K_{fc} (はく離じん性) を有しており、負荷による破壊駆動力 K_f がそれを越えた時にはく離発生が生じる。ただし、 λ は材料の組合せと界面の形状によって決定される。このため、はく離じん性 K_{fc} は、同一組合せ界面においてもそれぞれの特異性指数に対して求める必要がある。

3 試験方法

供試材を図1(a)に示す。LSI配線に用いられる基板上に製膜された多層薄膜 (Cu(300nm) /TaN(50nm) /SiO₂(100nm) /Si 基板) である。

(a) Material tested

(b) Specimen

Fig. 1 Schematic illustration of specimen.

配線金属である Cu と Si 基板との間にバリア膜の TaN と層間絶縁膜である SiO₂ が挿入されている。図1(b)は、試験片形状と荷重方法を示す。試料の一端に、ステンレス鋼製のカンチレバーをエポキシ樹脂系接着材で接合し、それ以外の Cu 膜を除去する。カンチレバーと基板により膜の変形を拘束しており、薄膜の界面強度評価に適した形状である。試験は、図2に示す界面端の境界条件が異なる2種類の試験片について実施した。図2(a)に示すように、カンチレバー端部に、下側より上向きに垂直な荷重を加えることにより Cu/TaN 界面端 (Edge A) よりのはく離させる。このとき、界面端 (図中拡大図参照) の応力特異性指数は $\lambda = 0.08$ である。一方、図2(b)では、前者とは逆方向に荷重を負荷することによって、もう一方の界面端 (Edge B) よりのはく離させる。Edge Bは、薄膜に対して基板が突き出した

Fig. 2 Loading systems and edges of interface in delamination

形となっており、特異性指数は、 $\lambda_1 = 0.40$ 、 $\lambda_2 = 0.025$ の複数解となる。以降、前者を順負荷試験、後者を逆負荷試験とする。

試験は、微小圧縮試験機を用いて室温、大気中、荷重制御（負荷速度、0.2N/s）で実施した。

4 結果と考察

図3は、試験における荷重 (P)-荷重点変位関係 (δ) を示す。両試験共に、はく離時まで大きな塑性変形はみられない。はく離は界面端より発生し、その後膜全面が基板より分離した。破面観察および AES による元素分析の結果、はく離は Cu/TaN 界面で生じていた。はく離荷重は、順負荷で 1.5N、逆負荷で 3.8N であり、その値は大きく異なっている。

はく離じん性 K_{fc} を求めるため、2次元境界要素法による応力解析を行った。図4は、界面端近傍における応力 σ_y の両対数分布を示す。横軸は、界面端からの距離 r を表している。順負荷試験 ($\lambda = 0.08$) においては、 $r < 20\text{nm}$ において $r^{-\lambda}$ の応力特異性が認められる。このとき、はく離じん性 K_{fc} は $10\text{MPa} \cdot \text{m}^\lambda$ と求めることができる。

一方、逆負荷試験 ($\lambda_1 = 0.40$ 、 $\lambda_2 = 0.025$) においては、 $r < 100\text{nm}$ において強い特異性を示している。一般に、 λ が複数存在する場合には、界面端近傍の応力分布はそ

れらの重ね合わせとなるため、厳密には両対数線上で直線とならない⁽⁴⁾。しかし、本試験では、 $\lambda_1 \gg \lambda_2$ であり、図4中で直線近似することにより、みかけの λ を定めた。このとき、はく離じん性は $K_{fc} = 0.05\text{MPa} \cdot \text{m}^\lambda$ と評価できる。

参考文献

- (1) L. Eckertova, 薄膜物性入門, 内田老鶴圃 (1994)
- (2) 澁谷忠弘, 北村隆行, 上野貴司, 日本機械学会論文集 (A), 掲載予定
- (3) 澁谷忠弘, 北村隆行, 上野貴司, 日本材料学会第49期学術講演論文集, (2000)
- (4) 結城良治, 界面の力学, (1983) 培風館

Fig. 3 Relationship between load and displacement.

Fig. 4 Distributions of σ_y near the edge of the interface.