

異材界面に挿入したナノ要素集合薄膜の破壊基準

Fracture Criterion at Dissimilar Interface with Thin Film consisting of Nano-elements

○澄川 貴志¹、北村 隆行¹ (1. 京大工)

○Takashi Sumigawa¹, Takayuki Kitamura¹ (1.Kyoto Univ.)

E-mail: sumigawa@cyber.kues.kyoto-u.ac.jp

【緒言】動的斜め蒸着 (Dynamic oblique deposition: DOD) 法を用いて、ナノサイズの微小要素で構成された薄膜 (以下、ナノ要素集合薄膜と記す) を作製できる。この薄膜は、均質薄膜とは異なる機械特性が期待されている。例えば、電子デバイス中で優先的な破壊起点となる異材界面に界面層として挿入した場合、薄膜中の微小要素の離散的配置と幾何学形状に起因して界面上の力学状態に影響を及ぼし、特異な破壊挙動を示すことが予想される。しかし、その破壊基準はこれまで議論されていない。本研究では、ナノ要素集合薄膜を異材界面に挿入した試験片を作製し、界面端からのき裂発生基準、および、界面き裂伝ば基準を実験的に検討する。

【実験方法】 DOD 法を用いて、シリコン (Si) 基板上に酸化タンタル (Ta_2O_5) らせん型ナノ要素集合薄膜を作製し、続いて、その上に Ta_2O_5 の均質層 (厚さ 500 nm) を形成する。図 1 は、作製した供試材の断面 SEM (Scanning electron microscope) 写真を示す。図 2 は、(a) 界面端き裂発生試験、および、(b) 界面き裂伝ば試験の試験片および負荷手法を模式的に示す。き裂発生試験においては、供試材上部にステンレス製のカンチレバーを取り付けてある。き裂伝ば試験では、ガラス基板のカンチレバーを用いることで、直接観察により界面上に導入された予き裂先端の位置を特定できる。予き裂は、四点曲げ試験法により導入する。負荷は、カンチレバーに対して鉛直上向きあるいは下向きに与える。

【結果および考察】負荷点への荷重 P の増加に伴い負荷点変位 u_y が増加し、荷重が特定の臨界値 $P = P_c$ に達したときにナノ要素集合薄膜は界面端およびき裂先端を起点として界面に平行に破壊した。その時の負荷点変位を用いて、有限要素法 (Finite Element Method: FEM) 解析を実施する。図 3 は、FEM 解析より得られた破壊時のナノ要素のみかけの公称応力について、界面端もしくはき裂先端からの距離との関係を示す。き裂発生およびき裂伝ば試験で端部の応力はほぼ一致している。すなわち、異材界面に挿入したナノ要素集合薄膜の破壊は、端部に位置する要素の破断応力によって規定されていることがわかる。このときのみかけの破断ひずみは $\epsilon_c = 5.1 \times 10^{-2}$ と評価され、均質薄膜の破断ひずみに比べて約 1.7 倍大きい。

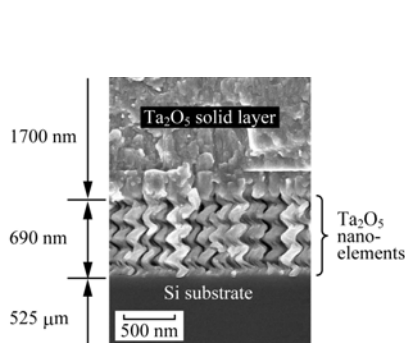


Fig. 1 Cross-sectional SEM image of thin film consisting of helical nano-elements.

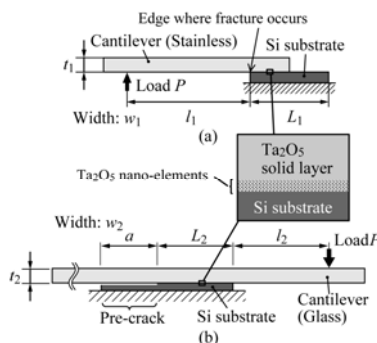


Fig. 2 Specimen and loading style: (a) crack initiation experiment, and (b) crack propagation experiment.

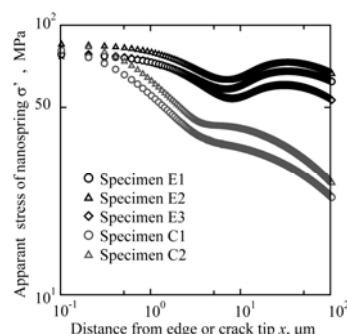


Fig. 3 Stress distribution along interface at breaking.