

## 【基盤研究(S)】

理工系(工学)

### 研究課題名 金属ナノ薄膜の強度に及ぼす寸法効果の本質的理解



大阪大学・大学院工学研究科・教授

みのしま こうじ  
箕島 弘二

研究課題番号: 26220901 研究者番号: 50174107

研究分野: 機械工学、機械材料・材料力学

キーワード: マイクロ材料力学、材料強度学、破壊、疲労、クリープ、金属薄膜

#### 【研究の背景・目的】

厚さが 10 nm から 1,000 nm オーダーの金属多結晶薄膜(金属ナノ薄膜)の機械的特性や強度は膜厚に強く依存する。これは膜厚が薄くなると結晶粒微細化による転位運動の拘束、体積の縮小による転位源の枯渇に加え、変形・破壊に対する表面の影響が異なることに因る。しかも、これらの薄膜構造による効果に加え、大気環境下では薄膜表面の自然酸化層が特性に影響を与えることが考えられる。しかし、ナノ薄膜の強度に及ぼす自然酸化層の影響は未解明であり、強度に及ぼす寸法効果の本質は不明である。

本研究では、結晶粒寸法等の内部組織を調整した金属ナノ薄膜(Cu、Al、Au)を用いて、変形・破壊に及ぼす表面自然酸化層と変形・破壊を生じる時の新生面の酸化・酸化層の影響を明らかにし、これにより純粋な表面効果を分離・抽出することにより、金属ナノ薄膜の機械的特性・強度に及ぼす寸法(膜厚)効果の本質を解明することを目的とする。

#### 【研究の方法】

研究代表者らが開発した厚さが 10 nm から 1,000 nm であるにも関わらず、長さや幅が mm オーダーの大面積自立金属ナノ薄膜作製技術(図1)、および金属ナノ薄膜に対する引張・破壊じん性・クリープ・疲労強度試験技術(図2)を基礎として、①環境(酸素ガス分圧)制御下での高倍率その場観察(ナノスケール損傷・破壊機構解明)、②薄膜表面の酸化層除去・制御、および③変形・破壊現象(単純破壊、クリープ、疲労)に応じたその場観察強度実験を実現するための実験システムを開発する。本システムを用いて体系的な強度実験を実施して、ナノ薄膜の変形・破壊特性と破壊機構に及ぼす「表面酸化層の影響」を分離・抽出して、寸法(膜厚)効果の本質を明らかにする。

#### 【期待される成果と意義】

薄膜材料が用いられる微小機械は最先端の加工・製造技術で作られているにも関わらず、合理的な力学的基準による強度・信頼性設計が行われていない。これはナノ薄膜の強度に及ぼす寸法効果や環境効果が不明で支配法則が未解明のためである。

本研究は、ナノ薄膜の強度の寸法効果の本質を体系的に解明するものであり、実環境下におけるマイクロ・ナノデバイスの強度設計に合理的な基準を提供する。さらに、表面酸化皮膜の制御・表面改質によるナノ薄膜の高強度化など、デバイスの高信頼性

化に大きく貢献する。

さらに、本研究で開発する環境を制御した条件下の変形・破壊のその場観察技術は、ナノ薄膜にとどまらず、構造材料で問題となる大気中の水などで生じる水素脆化などの環境誘起破壊、大気中での変形・破壊機構解明に応用展開可能な基盤研究技術として極めて広い波及性を有している。

#### Freestanding nano-film specimen

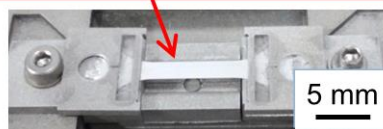


図1 大面積自立Alナノ薄膜強度試験片

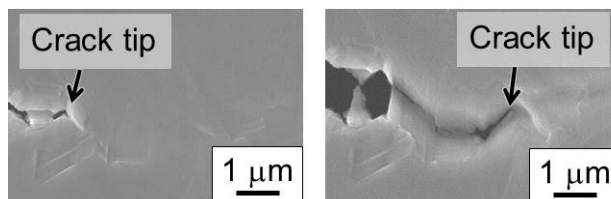


図2 Cuナノ薄膜のその場観察破壊じん性試験

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ H. Hirakata, N. Fukuhara, S. Ajioka, A. Yonezu, M. Sakihara, and K. Minoshima, The Effect of Thickness on The Steady-State Creep Properties of Freestanding Aluminum Nano-Films, Acta Materialia, Vol.60, 2012, pp. 4438 - 4447.
- ・ T. Kondo, T. Imaoka, H. Hirakata, M. Sakihara, and K. Minoshima, Effects of Stress Ratio on Fatigue Crack Propagation Properties of Submicron-Thick Freestanding Copper Films, Acta Materialia, Vol.61, 2013, pp.6310-6327.

#### 【研究期間と研究経費】

平成 26 年度 - 30 年度  
149,900 千円

#### 【ホームページ等】

<http://www-micro.mech.eng.osaka-u.ac.jp/home.html>