



研究課題名 ナノ界面の疲労損傷と破壊

京都大学・大学院工学研究科・教授 きたむら たかゆき
北村 隆行

研究分野：機械工学 機械材料・材料力学

キーワード：ナノ界面、疲労、損傷、破壊、ナノ材料、転位、界面端、ナノメカニクス、き裂

【研究の背景・目的】

マクロな金属材料では、負荷の繰り返しに伴って数ミクロン大の転位構造が形成され、局部に疲労き裂が発生する。一方、本研究で対象とするナノ金属構造体内では、マクロ材料で見られる疲労損傷が発達するスペースがない(図1)。ところが、研究代表者は、最近の研究において、ナノ薄膜界面に沿った疲労によるき裂の進展現象を発見した。これは、ナノ材料においては、マクロ材料とは異なるメカニズムによって疲労損傷が発達し、応力集中しやすい界面において疲労破壊(き裂発生)が生じることを示唆している。他方、ナノ界面の疲労破壊試験は技術的に多くの困難を伴い、その損傷・破壊過程は知られていない。

そこで、本研究では、ナノ界面の疲労試験および詳細観察が可能である試験装置を開発し、疲労破壊過程を明らかにするとともに、ナノレベルの力学解析を行って、ナノ界面における疲労損傷・破壊のメカニズム・メカニクスを明らかにすることを目的とする。

【研究の方法】

・代表者らが行ってきたナノ構造体の静的強度試験のノウハウを応用して、ナノ界面疲労試験体の作製方法および疲労試験方法を開発する。

・疲労損傷は、表面の微妙な形状変化として現れるため、負荷装置をナノレベルの表面観察が可能な最新顕微鏡に組み込むことで応力集中部(界面端近傍)の損傷発展・き裂発生過程を明らかにする。また、表面形状変化をもたらす内部転位組織の観察を行う。

・ナノ界面試験体の応力設計・加工法を確立し、疲労損傷・破壊を支配する応力場をナノレベルで同定する。

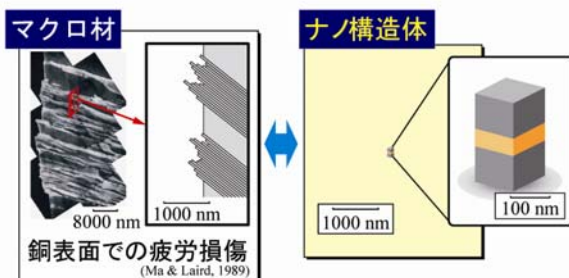


図1 マクロ材の疲労損傷とナノ構造体の寸法比較

・連続体(有限要素法)から原子(分子動力学法)までのマルチスケールの解析手法を用いて、ナノ界面の疲労損傷発展に関する計算機シミュレーションを行い、疲労損傷・破壊に関するナノメカニクスを明らかにする。

・界面破壊には、湿度等の環境の影響が大きいことが知られている。ナノ界面の疲労損傷・破壊に関する成果を基に、環境の影響についても実験・解析より明らかにする。

【期待される成果と意義】

成果と学術的意義：現在までに世界で確認されていないナノ多層金属構造体における疲労現象の存在を示すとともに、ナノ界面の損傷・破壊に関する体系的なナノメカニクスの学理を確立することができる。さらに、ナノ界面の疲労試験手法およびナノレベルでの観察技術を確立することによって、疲労現象のみならず、ナノ材料に特有な損傷・破壊現象に関する研究手段が得られる。とくに、ナノ構造体に対する応力場設計および環境制御技術の飛躍的発展が期待できる。

成果と社会的意義：ナノデバイスは、生体内を含む重要かつ多様な用途が考えられており、高い信頼性が要求される。新たな機器の思わぬ破壊には疲労現象が関与していることは歴史が示している。本研究によってナノ界面の強度特性が明らかになり、使用条件が過酷になるナノデバイスの信頼性確保に大きく貢献する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・ H. Hirakata, M. Kitazawa and T. Kitamura, Fatigue Crack Growth along Interface between Metal and Ceramics Submicron-thick Films in Inert Environment, Acta Materialia, Vol. 54, 89-97 (2006)

・ H. Hirakata, Y. Takahashi, D. V. Truong and T. Kitamura, Role of Plasticity on Interface Crack Initiation from a Free Edge and Propagation in a Nano-Component, International Journal of Fracture, 145, 261-271 (2007)

【研究期間と研究経費】

平成21年度～25年度

167,800千円

ホームページ等

<http://cyber.kues.kyoto-u.ac.jp/>