

令和元年5月31日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H06061

研究課題名(和文) 自立金属ナノ薄膜の繰返し塑性構成式評価とこれに基づく疲労き裂進展の支配力学の解明

研究課題名(英文) Investigation of the dominant mechanics of fatigue crack propagation in freestanding metallic nano-films considering cyclic plasticity

研究代表者

近藤 俊之 (Kondo, Toshiyuki)

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：70735042

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,300,000円

研究成果の概要(和文)：膜厚が100 nmオーダーである自立金属ナノ薄膜の疲労き裂進展の支配力学則の解明を目的として、大面積を有するナノ薄膜から切り出した微小試験片に対する引張/繰返し引張試験法および疲労き裂進展のその場電界放射走査型電子顕微鏡観察による疲労き裂周囲の変形場の定量評価法を検討・開発した。これらの手法により、高応力・高ひずみ領域までの弾塑性特性の評価および疲労き裂先端前方のひずみ場の実測を達成し、疲労き裂進展を支配する力学場を定量評価可能な技術基盤を確立した。

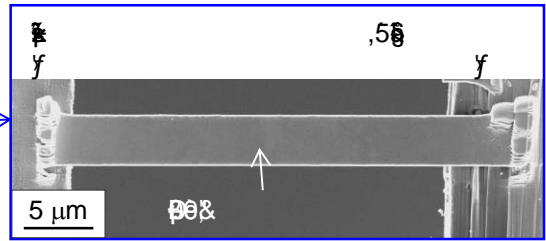
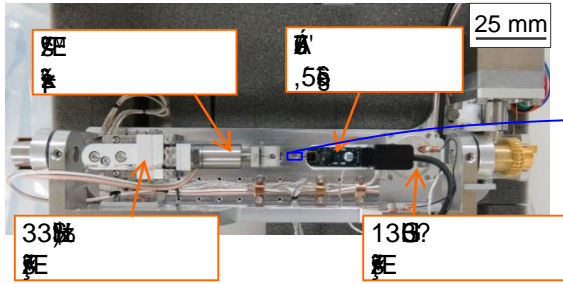
研究成果の学術的意義や社会的意義

マイクロ・ナノ材料の変形・破壊の支配力学は未解明であり、これはき裂先端などの破壊進行領域近傍の力学状態の詳細な解明が困難なことに因る。本研究で得た知見や確立した技術は、マイクロ・ナノ材料の機械的特性の高精度な評価や破壊箇所近傍の力学状態の解明を実現し、マイクロ・ナノ材料における破壊の支配力学を解明するための基盤となるものである。特に、マイクロ・ナノデバイスの長期信頼性を確保するうえで重要である疲労破壊の解明に大きく貢献するものであり、学術的・社会的意義が大きいものである。

研究成果の概要(英文)：To investigate the dominant mechanics of fatigue crack propagation in submicrometer-thick freestanding metallic nano-films, a tensile/cyclic tensile testing system for small nano-film specimen and a method for evaluating cyclic deformation field around a fatigue crack on the basis of in situ field emission scanning electron microscope observations were developed. The quantitative evaluations of the elasto-plastic properties of the nano-films in a large stress-strain range and the strain field around a fatigue crack were achieved in submicrometer-thick copper films. These methods are able to clarify the dominant mechanics of fatigue crack propagation.

研究分野：機械工学，機械材料・材料力学

キーワード：材料強度学 ナノ材料 薄膜 疲労 破壊 塑性/繰返し塑性



FESEM images of the device

Micrograph

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device

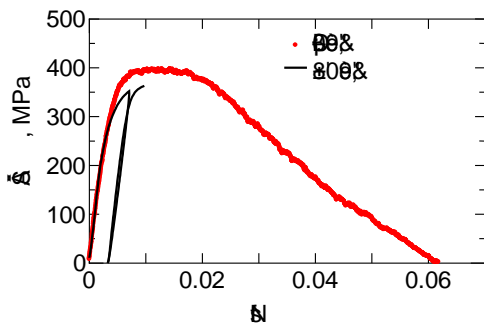
FESEM images of the device

FESEM images of the device

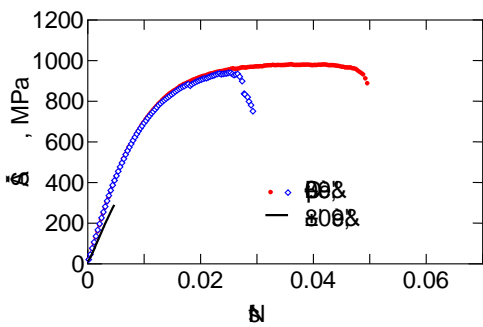
FESEM images of the device

FESEM images of the device

FESEM images of the device



(a) σ vs ϵ 500 nm



(b) σ vs ϵ 100 nm

(2) A/a /BA/S% g b506

q BA/a 4g4b0A

S bW

FESEM 09W K* %pb

400+ Q FESEM 09W K* %pb

KZKS %pbBA/47b10W

da/dN c S

S p ΔK ε % da/dN

ΔK ε %

500 nm b57bBA/a

BA/47b10W

4 gM 9ΔK

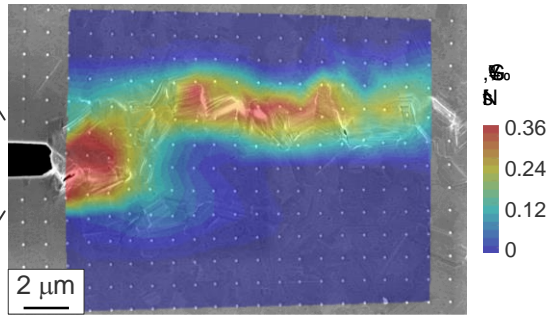
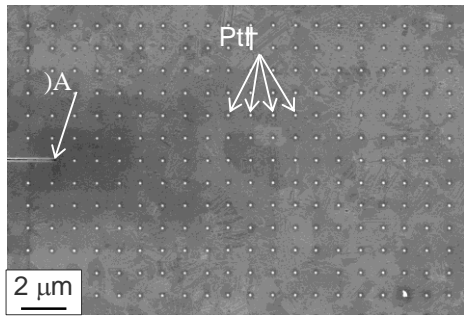
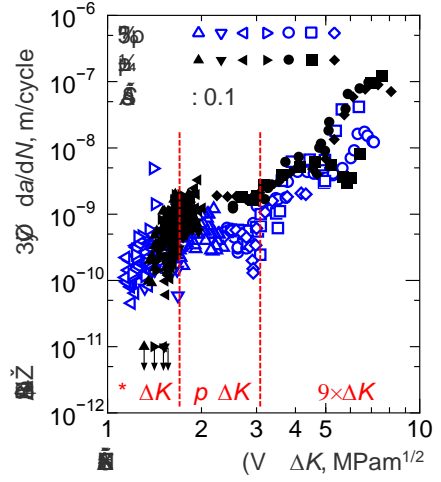
ΔK ε %

da/dN

FESEM 09

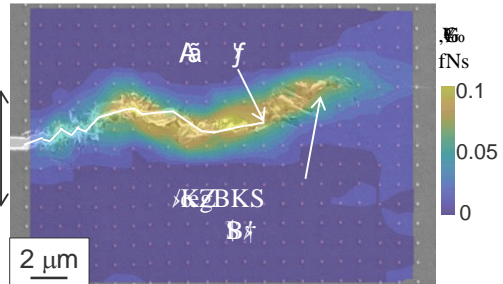
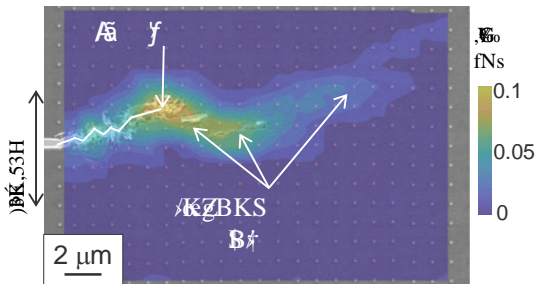
g809

\$\Delta K\$
 \$\epsilon\$
 \$Z\$ \$K\$ \$S\$ \$M\$
 \$M\$
 (ii) \$W\$ \$H\$ \$E\$
 \$g\$ \$B\$ \$I\$ \$E\$
 \$M\$
 \$r\$ \$A\$ \$/A/\tilde{a}\$ \$S\%\$ \$fNs\$ \$> b\$ \$50\tilde{b}\$
 \$EBID\$ \$2\$ \$[]\$ \$A\$ \$/A/\tilde{b}\$
 \$80K\$ \$S<\$
 \$FESEM\$ \$@ \checkmark K\$
 \$PHI\$
 \$KZ\$ \$j\$
 \$m2\$
 \$W4\$ \$5\$
 \$B A / \tilde{b}\$
 \$5\$ \$gM\$ \$FIB\$ \$K\$
 \$S\$ \$W\$ \$5(a)\$
 \$b\$ \$FESEM\$ \$AS\$
 \$W\$ \$5(b) \& gM\$
 \$AC^{\wedge}\$
 \$9(0Nsb0\tilde{U}\$
 \$500\$ \$nm\$ \$b\$ \$5\$
 \$1 \mu m\$ \$6\$
 \$(5, 2, K) A / \tilde{b}\$
 \$SfNs\$
 \$PM^{\bullet}\$
 \$500\$ \$nm\$ \$b\$ \$5\$



(a) \$5, 2, S\$ (b) \$A\$

\$W5\$ \$5\$
 \$fNs\$ \$b\$
 \$500\$ \$nm\$ \$b\$ \$5\$
 \$500K\$ \$)K, 5, 2, S_)AS\%\$ \$1 \mu m\$ \$6\$
 \$80K\$ \$120\$ \$MPa\$ \$0.1\$
 \$fNs\$ \$FESEM\$ \$@ \checkmark K\$ \$W\$ \$6\$ \$\& gM\$ \$0.8\$
 \$sKS\$ \$FESEM\$ \$@ \checkmark K\$ \$N = 8.4^{TM} 10^4\$ \$a = \$
 \$106 \mu m\$ \$E\$ \$W\$ \$6(a)\$ \$Pt\$
 \$Z\$ \$8e\$ \$gBI\$ \$B A / \tilde{b}\$ \$N = 1.19\$
 \$TM10^5\$ \$a = 113 \mu m\$ \$W\$ \$6(b)\$
 \$W\$ \$6(a)\$ \$Pt\$



(a) \$N = 8.4^{TM} 10^4, a = 106 \mu m\$ (b) \$N = 1.19^{TM} 10^5, a = 113 \mu m\$

\$W6\$ \$5\$ \$B A / \tilde{b}\$ \$fNs\$ \$b\$

o Mm2† &gKS 6)6
P/ŕ S%o belŦ

FESEM

b500

3 # ...
7§1=&0f 4 6

q Toshiyuki Kondo, Akihiro Shin, Masaya Akasaka, Hiroyuki Hirakata and Kohji Minoshima, “Vacuum effects on fatigue crack growth in submicrometre-thick freestanding copper films”, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, Vol. 42 (2019), pp. 1118-1129, 1w , DOI: 10.1111/ffe.12976

r 3Aŕ., V6... , %o.. , Œ§ , “ FESEM 09 /EBSD 0Z ”, *q* , Vol. 67 No. 12 (2018), pp. 1050-1057, 1w , DOI: 10.2472/jsms.67.1050

s Toshiyuki Kondo, Kazuki Hiramine, Hiroyuki Hirakata and Kohji Minoshima, “Fracture toughness of freestanding copper films with a thickness of 39 nm”, *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 200 (2018), pp. 521-531, 1w , DOI: 10.1016/j.engfracmech.2018.08.019

t Toshiyuki Kondo, Akihiro Shin, Hiroyuki Hirakata and Kohji Minoshima, “Fatigue crack propagation properties of submicron-thick freestanding copper films in vacuum environment”, *Procedia Structural Integrity*, Vol. 2 (2016), pp. 1359-1366, 1 w , DOI: 10.1016/j.prostr.2016.06.173

Œ0f 16 6

q 9Œ , 3Aŕ. , %o.. , Œ§ , “ ”, *60YŠ* “ 94 Ŧr1n ‡ (2019-3).

r 0Œ , 3Aŕ. , %o.. , Œ§ , “ ”, *60YŠ* “ 94 Ŧr1n ‡ (2019-3).

s Œv , 3Aŕ. , Œ§ , “ ”, *60YŠ* “ 94 Ŧr1n ‡ (2019-3).

t Œ , 3Aŕ. , Œ§ , “ ”, *M&M2018* (2018-12).

u 3Aŕ. , “ ”, *M&M2018* (2018-12).

v Œv , 3Aŕ. , Œ§ , “ ”, *60YŠ* “ 13 ŦnŒ (2018-12).

w 9Œ , 3Aŕ. , %o.. , Œ§ , “ ”, *60YŠ* “ 13 ŦnŒ (2018-12).

x Œv , 3Aŕ. , Œ§ , “ ”, 2018 *Œ* (2018-9).

y 2eÀ , 3Aŕ. , %o.. , Œ§ , “ ”, *//84B48j* , *60YŠ* “ 93 Ŧr1n ‡ (2018-3).

z 3Aŕ. , Mž , %o.. , Œ§ , “10 nm FESEM 0900, ”, *9xŒ* 55 0x *Œ* , “ 18 0Œ (2017-12).

{ 3Aŕ. , %o.. , Œ§ , “ ”, *M&M2017* (2017-10> .

| Toshiyuki Kondo, Masaya Akasaka, Hiroyuki Hirakata and Kohji Minoshima, “Effects of vacuum on fatigue crack propagation in freestanding copper submicron films”, 14th International Conference on Fracture (ICF14) (2017-6).

} 2eÀ , 3Aŕ. , %o.. , Œ§ , “ ”, *66 Ŧn ‡ (2017-5).*

~ 3Aŕ. , &ŦŦ , 2eÀ , %o.. , Œ§ , “ ”, *M&M2016* (2016-10).

• Toshiyuki Kondo, Akihiro Shin, Hiroyuki Hirakata and Kohji Minoshima, “Fatigue crack propagation properties of submicron-thick freestanding copper films in vacuum environment”, 21st European Conference on Fracture (ECF21) (2016-6).

€ 3Aŕ. , &ŦŦ , %o.. , Œ§ , “ ”, *Œ* “ 65 Ŧn ‡ (2016-5).

Œ0f 0 6

- 0 6
- 0 6

6U
7

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

4> 6)E

(1) 6*.

(2) 6S.