

サブ 10nm スケールにおける金ナノ接点の定量的弾性評価

Quantitative Elasticity Evaluation of Gold Nano-Contacts on Sub-10 nm Scale

北陸先端大先端¹, 金沢大院自然²○石塚 慧介¹, 小堀 雄稀¹, 見寺 悠伽², 富取 正彦¹, 新井 豊子², 大島 義文¹School of Advanced Sci. and Tech., JAIST¹, Natural Sci. and Tech., Kanazawa Univ.²,○Keisuke Ishizuka¹, Yuki Kobori¹, Haruka Mitera²,Masahiko Tomitori¹, Toyoko Arai², Yoshifumi Oshima¹

E-mail: s1530003@jaist.ac.jp

金属のヤング率は、マクロスケール（バルク多結晶）では金属種固有の値である。一方、ナノスケールでは、結晶方位や試料サイズに依存した値を取ることが理論計算から指摘されている[1-3]。しかし、ナノスケール金属のヤング率について統一見解は未だ得られていない。解決には、理論計算で取り扱われる寸法 10nm 程度で清浄表面を持つ試料に対する実験評価が不可欠である。そこで、超高真空下で清浄な表面を持つ金ナノ接点を作製し、接点部のヤング率評価を行った。

ヤング率を得るには試料の弾性及び形状情報が必要である。我々は超高真空透過型電子顕微鏡（UHV-TEM）内でナノ接点形状の観察と同時に弾性を測定する手法を構築した。弾性測定には周波数変調原子間力顕微鏡法（FM-AFM）を利用した。通常の FM-AFM では、非接触状態にあるセンサー端の探針と試料表面の間に働く力の勾配をセンサーの共振周波数変化量として検出する。本研究では、センサー端と対向板にそれぞれ金ワイヤーを固定し、それらの端を接触させてナノ接点を作製した。測定から得られる力勾配は、ワイヤーとナノ接点をバネと見なし直列接続した系の等価バネ定数となる。センサーは、等価バネ定数の目標測定範囲（ $< 1000 \text{ N/m}$ ）より十分に高い剛性を持つ長辺振動水晶振動子を用いた（有効バネ定数： $1.4 \times 10^6 \text{ N/m}$ 、共振周波数： 1 MHz ）。

ワイヤーを引き離し、接点の形状を変化させながら測定を行った。接点が細くなるにつれて等価ばね定数は減少した（図 1）。等価バネ定数の絶対値はワイヤーと接点の結合系の値である。しかし、変化量は接点近傍の変形した領域のバネ定数変化を反映している。そこで、TEM 像から一連の接点変形における変形領域を推量した。この領域のバネ定数は、領域を成す微小要素として測定方向に垂直なスライスを考え、これらの直列接続により表現できると仮定した。仮定に基づき、等価バネ定数と領域形状の変化の関係からヤング率を算出した。直径 2-5 nm の金接点のヤング率には明瞭な寸法依存性はなく、その値（ $84 \pm 6 \text{ GPa}$ ）は、バルク値とほぼ同じであった。

[1] J. Diao *et al.*, *J. Mech. Phys. Solids* **52**, 1935 (2004).

[2] L. G. Zhou and H. Huang, *App. Phys. Lett.* **84**, 1940 (2004).

[3] M. T. McDowell *et al.*, *Nano Lett.* **8**, 3613 (2008).

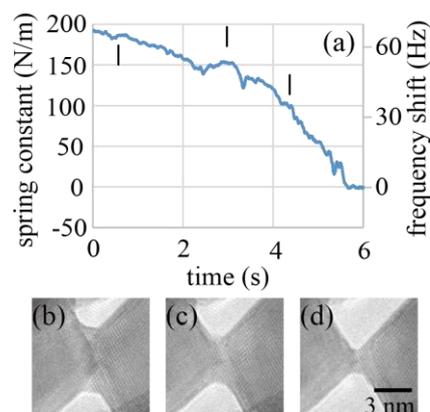


Figure 1.

(a) Time evolution of the measured spring constant and frequency shift.

(b) - (d) TEM images at the time indicated by the bars in (a).