

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18540313

研究課題名（和文） ナノコンタクトの摩擦機構と超潤滑

研究課題名（英文） Mechanism of friction and superlubricity in nanometer-scale contacts

研究代表者

名取 晃子（NATORI AKIKO）

電気通信大学・電気通信学部・教授

研究者番号：50143368

研究成果の概要：

摩擦力顕微鏡（FFM）が開発されて原子スケールでの摩擦力の観測が可能となり、ナノスケールのコンタクトの摩擦に対して巨視的な接触面での摩擦則が成立しないことが明らかになっている。本研究の目的は、ナノスケールコンタクトの摩擦機構を明らかにし、摩擦が消滅する超潤滑の出現機構と出現条件を解明することである。

FFMでの単針の運動をTomlinsonモデルを用いて調べ、以下のことがらを明らかにした。

- （1）FFMで観測される摩擦力のスキャン速度飽和について、新たな機構を提唱した。
- （2）単針先端が複数個の原子で構成される場合の摩擦機構を明らかにした。
- （3）FFM単針を振動させながらスキャンしたときに観測される摩擦消失（動的超潤滑）の機構を明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,700,000	0	2,700,000
2007年度	500,000	150,000	650,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	300,000	4,000,000

研究分野：表面・界面物理、物性理論

科研費の分科・細目：物理学・物性I

キーワード：ナノトライボロジー、超潤滑、摩擦、摩擦力顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

摩擦顕微鏡 (F F M) が開発されて原子スケールでの摩擦力の観測が可能となり、ナノスケールのコンタクトでの摩擦に対して巨視的な接触面での摩擦則が成立しないことが明らかになった。F F Mは制御可能な理想的なナノスケールコンタクトとみなすことができ、F F Mの単針に振動を印加して動的な超潤滑を引き起こす実験がなされていた。他方、F F Mの単針の原子構造に依存して、摩擦力が変化することも見出されていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ナノスケールコンタクトの摩擦機構を明らかにし、振動印加により摩擦が消滅する動的超潤滑の出現機構と出現条件を解明することである。

3. 研究の方法

F F Mでの単針の運動を1次元 Tomlinson モデルを用いて調べる。単針の運動に対して有限温度での熱揺動効果を Langevin 方程式で考慮し、Ermak のアルゴリズムを用いて数値計算を行う。

4. 研究成果

摩擦力のスキャン速度依存性を調べ、以下を明らかにした。

(1) F F Mで観測される摩擦力のスキャン速度飽和機構の一つとして、単針の高次スリップを提唱した。

単針先端の有限サイズ効果を調べ、以下を明らかにした。

(2) 単針先端の原子数が増加すると、スリップ運動に要する時間も増加する。

(3) 単針先端が硬い場合は、基板との格子不整合度に依存して、摩擦が消滅するマジックサイズが現れる (図1, 2参照)。単針先端が軟らかい場合は、熱揺動効果が顕著となり、温度上昇に伴い摩擦力は大きく減少する (図3参照)。

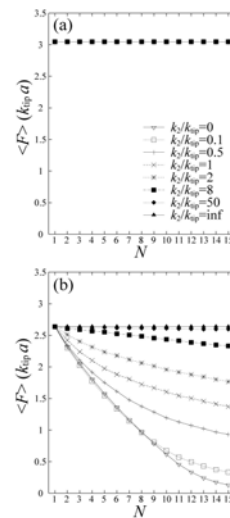


図1. F F Mティップと基板が格子整合した場合の平均摩擦力のティップサイズ依存性

(a)絶対零度、(b)室温

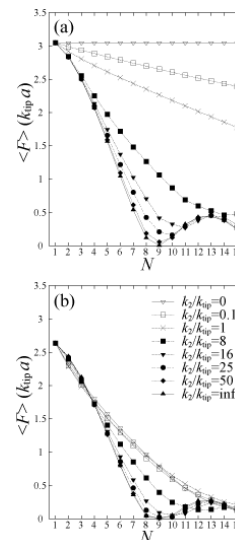


図2. F F Mティップと基板が格子不整合の場合の平均摩擦力のティップサイズ依存性

(a)絶対零度、(b)室温

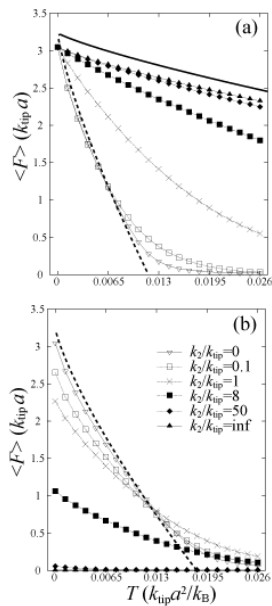


図3. 平均摩擦力の温度依存性

(a) 格子整合 (N=14)、(b) 格子不整合 (N=9)

単針を基板表面に平行にスキャン方向、或いは、垂直方向に振動させながら掃引したときの動的超潤滑機構について調べ、以下を明らかにした。

(4) 単針をスキャン方向に振動させながら掃引したときの動的超潤滑機構として、単針のスティック位置での熱振動振幅の増強以外に単針の基板ポテンシャルとの同位相スリップ運動が考えられる (図4参照)。

(5) 単針の縦振動による動的超潤滑は、振動による基板ポテンシャルのコルゲーションの最小値が閾値を越えると生じる。絶対零度での閾値は、粘性係数増大に伴い増加する (図5参照)。室温での閾値は絶対零度の閾値よりはるかに小さく粘性係数には余り依らないが、スキャン速度が大きくなると増加する。

(5) の成果は学術論文にまとめ、現在、Phys. Rev. B に投稿中である。

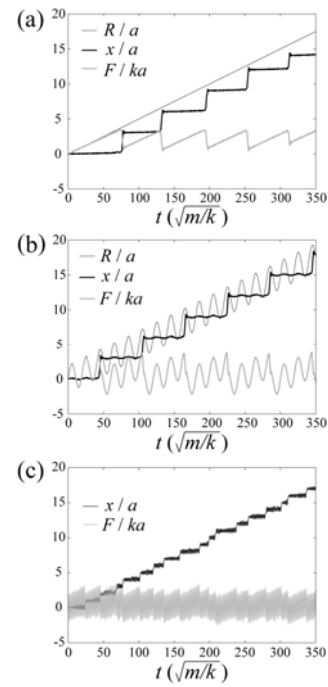


図4. 室温での FFM ティップ先端原子位置 x 、支持点 R 、摩擦力 F の時間 t 依存性

(a) 横振動なし、横振動下での (b) 同位相スリップ運動、(c) 熱振動増幅スリップ運動

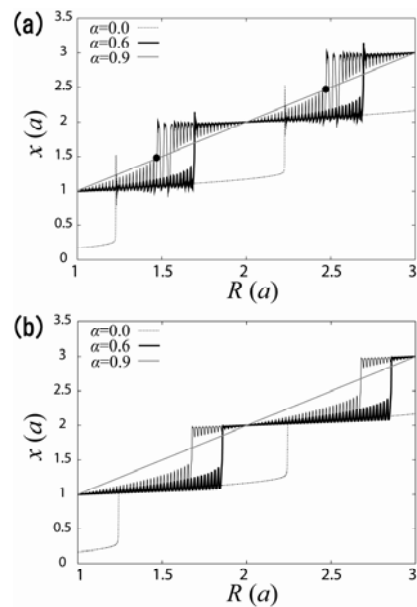


図5. 絶対零度での FFM ティップ先端原子位置 x の支持点位置 R 依存性 (α は縦振動の振幅を表す)

(a) 低粘性係数、(b) 高粘性係数

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- (1) M. Igarashi, J. Nakamura, A. Natori, “Size effects in friction of multiatomic sliding contacts”, Phys. Rev. B 78, pp. 165427-1-10, (2008), 査読有り
- (2) M. Igarashi, J. Nakamura, A. Natori, “Mechanism of velocity saturation of atomic friction”, Jpn. J. Appl. Phys. 46, pp. 5591-5594, (2007), 査読有り

[学会発表] (計 5 件)

- (1) M. Igarashi, J. Nakamura, A. Natori, “Atomic scale friction of nanometer-sized contacts”, 14th Int. Conf. on Solid Films and Surfaces, (30 June, 2008), Dublin
- (2) 五十嵐正典、中村淳、名取晃子、「ナノスケールの摩擦機構：テップサイズ効果」、日本物理学会2008年春季大会、(2008年3月25日)、近畿大学
- (3) M. Igarashi, J. Nakamura, A. Natori, “Mechanism of velocity saturation and lateral resonance in atomic-scale friction”, IVC-17/ICSS-13 and ICN+T, (4 July, 2007), Stockholm
- (4) M. Igarashi, J. Nakamura, A. Natori, “Mechanism of velocity saturation of atomic friction and the dynamical superlubricity at torsional resonance”, 14th Int. Colloqui. on Scanning Probe Microscopy, (7 Dec. 2006), Atagawa
- (5) 五十嵐正典、中村淳、名取晃子、「原子スケール摩擦力の速度飽和機構」、日本物理学会2006年秋季大会、(2006年9月23日)、千葉大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

名取 晃子 (Akiko Natori)

電気通信大学・電気通信学部・教授

研究者番号： 50143368

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者

中村 淳 (Jun Nakamura)

電気通信大学・電気通信学部・准教授

研究者番号： 50277836