



Doctoral Thesis

Nano- and macrotribology on gold and silicon surfaces

Author(s):

Fritz, Michaela C.

Publication Date:

2000

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-003881916> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH No. 13528

NANO- AND MACROTRIBOLOGY ON GOLD AND SILICON SURFACES

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by

MICHAELA C. FRITZ

Dipl. Werkstoff-Ing. ETH

born May 1st, 1971

citizen of Austria

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. N.D. Spencer, examiner

PD Dr. G. Hähner, co-examiner

Prof. Dr. E. Meyer, co-examiner

Zürich, 2000

Abstract

This thesis is concerned with the tribological behavior of single and multi-asperity contacts on gold and silicon surfaces—materials which are of great technological importance. Friction, although of considerable scientific and technological interest, is not yet satisfactorily understood, and no concepts other than the coefficient of friction have been established to describe it. In this work, friction is studied on both the nano- and macroscopic length scale using an atomic force microscope (SFM) and a tribometer. Atomic force microscopy allows a single asperity contact to be studied and the tribometer measurements reflect the behavior of a multi-asperity contact.

In this work, the SFM and tribometer probes were characterized using scanning electron and light microscopy. Shapes and radii of tips and beads used in the SFM were determined by scanning over the ridge of a SrTiO₃ single crystal. It was shown that SFM tips can broaden and wear-away even under relatively mild sliding conditions. We have calibrated SFM probes in order to get absolute friction forces (as for the tribometer) and directly compare nanoscopic and macroscopic coefficients of friction. Furthermore, only the preparation of ultraflat gold substrates and the use of the microcontact printing technique allowed us to separate chemical from mechanical contributions to the friction force. We investigated nanotribological phenomena by recording friction forces as a function of applied load and force-distance-curves, and by analyzing friction forces, coefficients of friction, pull-off and pull-on forces, break-free lengths and minimum applied loads before jump-off. The results have confirmed that ‘true’ interaction forces between probe and sample, i.e. those due to the chemical contributions of the two surfaces, can only reasonably be studied in liquid (in the absence of an UHV SFM). Nevertheless, the data presented have shown that interaction forces between tip and sample are mostly dominated by capillary forces under ambient conditions and have demonstrated that control of the surface chemistry, e.g. with thiol termination, and surroundings, e.g. by measuring in liquid, is crucial for SFM adhesion and friction measurements. The same is true for tribometer measurements. It could be shown in this work that the coefficient of friction is a function of humidity and medium, although

different mechanisms apply in a macroscopic contact. Adhesion plays a minor role in macrotribology, but roughness, ploughing, wear debris, and running-in processes contribute to the complexity of a multi-asperity contact.

In order to get more insight into the friction mechanism on both length scales, we studied the fluctuations of the friction force. In this work, the mechanical behavior of the SFM and tribometer was described via Fourier spectra in order to distinguish between machine- and friction-related fluctuations. From the latter one may gain information on the nature of the junctions at the interface of the two sliding bodies. Force fluctuations can be studied by means of the autocorrelation function. Model calculations and experimental results suggest that the contact diameter can be extracted from the autocorrelation length and that the chemical homogeneity of the surface influences the shape of the autocorrelation function. Therefore, the autocorrelation has the potential to give insights into the contributions to fluctuations that are due to the properties of the contact interface on both the nano- and macroscopic length scale.

Zusammenfassung

Diese Dissertation befasst sich mit dem tribologischen Verhalten von einzelnen ('single asperity') und vielen ('multi-asperity') Kontakten auf Gold und Silizium. Diese beiden Materialien sind technologisch sehr wichtig. Die Reibung ist noch nicht zufriedenstellend verstanden, trotz erheblicher wissenschaftlicher und technologischer Bedeutung, und noch ist der Reibungskoeffizient die meist benutzte Grösse, um das Reibungsverhalten zwischen zwei Körpern zu beschreiben. In dieser Arbeit wird die Reibung im nano- und makroskopischen Bereich mit Hilfe eines Rasterkraftmikroskopes (Scanning Force Microscopy, SFM) und eines Tribometers untersucht. Das Rasterkraftmikroskop erlaubt es, einen einzigen Kontaktpunkt zu untersuchen, während das Tribometer-Experiment das Verhalten von vielen Kontaktstellen widerspiegelt.

Die SFM-Spitzen und Tribometer-Kugeln wurden mit Licht- und Elektronenmikroskopie charakterisiert. Die Form und der Radius der SFM-Spitzen wurde bestimmt, indem sie über eine scharfe Kante eines SrTiO_3 Einkristalles gerastert wurden. So konnte gezeigt werden, dass die Spitzen schon unter relativ milden Reibungsbedingungen verschleissen. Wir haben einige SFM Spitzen kalibriert, damit (wie im Tribometer) absolute Reibungskraftwerte bestimmt werden können, und somit die nano- und makroskopischen Reibungskoeffizienten miteinander verglichen werden können. Ausserdem konnte mit dem Herstellen von ultraflachen Goldoberflächen der chemische und mechanische Anteil der Reibungskraft voneinander getrennt werden. Wir haben die nanotribologischen Eigenschaften untersucht, indem die Reibungskraft als Funktion der aufgebrachten Normalkraft und Kraft-Distanz-Kurven aufgezeichnet wurden. Des weiteren wurden Reibungskräfte, Reibungskoeffizienten, 'pull-on' und 'pull-off' Kräfte, Abrisslängen und minimale Normalkräfte vor dem Losreissen der Spitze von der Oberfläche gemessen. Die Resultate zeigten eindrücklich, dass 'wahre' Wechselwirkungskräfte zwischen Spitze und Oberfläche, die nur von der chemischen Beschaffenheit der Oberflächen abhängen, ohne UHV-SFM nur in Flüssigkeiten gut bestimmt werden konnten. Die Daten bestätigten zudem, dass unter normalen Luftbedingungen die Wechselwirkungskräfte von den Kapillarkräften dominiert werden,

und dass die Kontrolle der Oberflächenchemie, z.B. mittels organischer Dünnschichtbeschichtungen, und der Laborbedingungen, z.B. mit dem Messen in Flüssigkeiten, sehr entscheidend für präzise Reibungs- und Adhäsionsmessungen ist. Das gleiche gilt für die Tribometer-Messungen. Auch hier konnte gezeigt werden, dass der Reibungskoeffizient eine Funktion der Luftfeuchtigkeit und der Messflüssigkeit ist, obwohl ganz andere Reibungsmechanismen in makroskopischen Kontakten auftreten. Die Adhäsion spielt hier eine kleinere Rolle als im nanoskopischen Bereich, aber Rauigkeit, 'Furchung', Verschleisspartikel, und Anlaufeffekte tragen zur Komplexität des 'multi-asperity' Kontaktes bei.

Um mehr über die Reibungsmechanismen auf beiden Grössenskalen zu erfahren, haben wir auch die Fluktuationen in der Reibungskraft untersucht. In dieser Arbeit wurde das mechanische Verhalten der beiden Messinstrumente, des Rasterkraftmikroskopes und des Tribometers, mittels einer Fourier-Analyse bestimmt, um zwischen den Fluktuationen, die von der Reibungskraft herrühren, und jenen, die von den Messinstrumenten kommen, unterscheiden zu können. Fluktuationen können mit Hilfe der Autokorrelation untersucht werden. Die Fluktuationen in der Reibungskraft sollten Informationen über die Beschaffenheit der Kontaktstellen zwischen zwei Körpern beinhalten. Simulationen mit Hilfe eines einfachen Modells und experimentelle Resultate deuten darauf hin, dass der Durchmesser der Kontaktfläche aus der Autokorrelationslänge bestimmt werden kann, und dass die chemische Homogenität der Oberflächen die Form der Autokorrelationsfunktion beeinflusst. Deshalb bietet die Autokorrelation die Möglichkeit, auf der nano- und makroskopischen Ebene Beiträge zu den Kraftfluktuationen, die durch die Eigenschaften des Kontaktes zustande kommen, zu untersuchen.