

Rastertunnelmikroskopie (FP 10)

Motivation und Ziel des Versuches

Mit der Rastertunnelmikroskopie (STM, Scanning Tunneling Microscopy) lernen Sie eine Methode zur Untersuchung feinsten topographischer Strukturen kennen, die dreidimensionale Bilder von Oberflächen mit atomarer Auflösung liefern kann. Für diese bahnbrechende experimentelle Neuentwicklung wurde G. Binnig und H. Rohrer 1986, nur vier Jahre nach ihrer ersten Veröffentlichung zum STM, der Physik-Nobelpreis verliehen. Die Realisierung des Rastertunnelmikroskops hat vielfältige Anwendungen in unterschiedlichen Gebieten der Naturwissenschaften ermöglicht. Sie hat gleichzeitig den Weg für die Entwicklung weiterer Rastersondenmethoden, wie z. B. der Rasterkraftmikroskopie (AFM, Atomic Force Microscopy), bereitet, die aus der modernen Forschungslandschaft nicht mehr wegzudenken sind.

Im Rahmen des Versuchs werden mittels eines Rastertunnelmikroskops Bilder der Oberflächen einer Graphit- und einer Goldprobe erstellt. Bei der Graphitoberfläche soll dabei atomare Auflösung erreicht werden und die Atomabstände im Kristallgitter des Graphits bestimmt und mit Literaturwerten verglichen werden.

Versuchsaufbau

Zur Versuchsdurchführung steht Ihnen ein kompaktes Rastertunnelmikroskop easyScan der Firma Nanosurf zur Verfügung, das Experimente an Luft ermöglicht. Für eine genaue Beschreibung des Aufbaus, zur Versuchsdurchführung und zur Präparation der Proben und Spitzen wird auf das Skript „Atome unter der Lupe“ der ETH Zürich verwiesen:
https://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/GP_Alt/scripts/Atome_unter_der_Lupe.pdf

Hierbei sind insbesondere das Kapitel 1 und das Additum 1 von Interesse für den Versuch.

Zusätzlich zu einer Graphit- und einer Goldprobe kann eine Molybdänsulfidprobe (MoS_2) untersucht werden.

Erforderliche Vorkenntnisse

- Prinzip des Rastertunnelmikroskops: theoretische Grundlagen des Tunneleffektes, elektronische Zustandsdichte, Austrittspotential, Potentialbarriere
- Aufbau und Arbeitsweise des Rastertunnelmikroskops: Piezoelemente und Piezoeffekt, Regelkreis, Schwingungsdämpfung
- Anforderungen an die Probe und Messspitze
- Verschiedene Scan-Modi: Rastern bei konstantem Strom oder konstanter Höhe
- verwandte Raster-Sonden-Methoden: Beispiele, Prinzipien, Anwendungen
- Kristallstruktur des Graphit

Literatur

Einführung in die STM

- M. Henzler, W. Göpel, Oberflächenphysik des Festkörpers, B. G. Teubner (Stuttgart) 1994.
- H. Lüth, Surfaces and Interfaces of Solid Materials, Springer (Berlin) 1995.
- R. Wiesendanger, Physik in unserer Zeit 26, 206 (1995).

Ausführliche Werke zur STM

- S. N. Magonov, M.-H. Whangbo, Surface Analysis with STM and AFM, VCH Verlagsgesellschaft mbH (Weinheim) 1996.
- H.-J. Güntherodt, R. Wiesendanger, Scanning Tunneling Microscopy I, Springer Series in Surface Science 20, Springer (Berlin) 1992.
- R. Wiesendanger, Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Methods and Applications, Cambridge University Press (Cambridge) 1994.

Historische Artikel aus den Anfängen der STM

- G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber, E. Weibel, Appl. Phys. Lett. 40, 178 (1982); Phys. Rev. Lett. 50, 120 (1983).

Aufgaben

1. Präparieren Sie eine Spitze nach dem Verfahren, welches im Skript der ETH Zürich beschrieben wird. Sollten Sie im Verlauf des Versuches feststellen, dass Ihre Spitze nicht geeignet ist für die angestrebte Auflösung, präparieren Sie eine neue Spitze. Stellen Sie zuvor sicher, dass sich das Problem nicht auf andere Weise beheben lässt und fragen Sie Ihren Tutor. Überprüfen Sie Ihre Spitze jeweils visuell mittels einer Lupe und diskutieren Sie den Einfluss der Spitzenqualität (Form, Länge, etc.) auf die Qualität Ihrer Aufnahmen.

2. Reinigen Sie die Graphitprobe analog zu dem im Skript der ETH Zürich gezeigten Verfahren. Bilden Sie die saubere Graphitoberfläche ab.
 - (a) Fangen Sie dazu bei größeren Rasterweiten (ca. $500\text{ nm} \times 500\text{ nm}$) an, um grobe Strukturen wie Stufenkanten abzubilden und gehen Sie dann hinunter bis zur atomaren Auflösung (ca. $5\text{ nm} \times 5\text{ nm}$).
 - (b) Nehmen Sie bei atomarer Auflösung Bilder in den verschiedenen Scan-Modi CCM (constant current mode) und CHM (constant height mode) auf. Optimieren Sie jeweils die Regelparameter I und P und untersuchen Sie dann den Einfluss der Größen
 - Rastergeschwindigkeit
 - Tunnelstrom
 - angelegte Spannungauf die Bildgebung hinsichtlich Verzerrungen oder Änderungen des Kontrasts. Diskutieren Sie Ihre Beobachtungen.
 - (c) Bestimmen Sie aus den atomar aufgelösten Abbildungen der Graphitoberfläche durch sinnvolle Mittelung die Gitterkonstante des Graphits und vergleichen Sie Ihren Wert mit Literaturwerten. Beachten Sie etwaige Verzerrungen des Gitters und bestimmen und vergleichen Sie gegebenenfalls die Gitterkonstante entlang verschiedener Richtungen.
3. Bilden Sie die Goldoberfläche bei verschiedenen Rasterweiten ab und beachten Sie dabei, dass die optimalen Werte für Tunnelstrom und Spannung nicht denen bei der Graphitprobe entsprechen. Diskutieren Sie Ihre Ergebnisse. Warum ist eine atomare Auflösung wie bei der Graphitoberfläche hier nicht erreichbar?

Wichtig: Die Goldprobe darf nicht analog zur Graphitprobe gereinigt werden!
4. (optional) Reinigen Sie die MoS_2 -Probe analog zur Graphitprobe und bilden Sie die Oberfläche ab. Um atomare Auflösung zu erzielen, nutzen Sie den CHM mit etwa 1 nA Tunnelstrom und $0,5\text{ V}$ Spannung. Diskutieren Sie die Aufnahmen.