

Anleitung zum Versuch FPI–12

Rastertunnelmikroskopie

1. Zielsetzung des Versuchs

Die Raster-(Scanning)-Tunnelmikroskopie (RTM bzw. STM) hat bereits bald nach der Entdeckung (1982) durch Binnig und Rohrer große Beachtung (Nobelpreis 1986) und vielseitige Anwendungen in der Oberflächenanalytik gefunden. Basierend auf dem quantenmechanischen Tunneleffekt von Leitungselektronen durch die Oberflächenpotentialbarriere von Metallen ermöglicht das RTM die Messung der Elektronendichteverteilung auf Festkörperoberflächen mit atomarer Auflösung, die bei realen Oberflächen auch durch die Oberflächenrauheit beeinflusst wird. Je nach Probenqualität kann so die Gitterstruktur der Atome und/oder die Morphologie der Metalloberfläche einschließlich Adsorbatbedeckung untersucht werden. In diesem Versuch sollen solche physikalischen Eigenschaften an mindestens 3 verschiedenen Proben (Graphit, (111)-Goldschicht und eine unbekannte Probe) mit einem kommerziellen STM bestimmt werden. Dadurch soll der Umgang mit dieser für die Nanotechnologie wichtigen vollautomatisierten Messtechnik einschließlich moderner Bildverarbeitung mittels Computer erlernt werden.

2. Vorkenntnisse

Zur Vorbereitung für diesen Versuch sollten folgende Vorkenntnisse vorhanden sein:

- Quantenmechanischer Tunneleffekt von Materiewellen
- Lokale elektronische Zustandsdichte (LDOS) von Metallen und Halbleitern
- Ursachen und Quantifizierung der Oberflächenrauheit von Festkörpern
- Funktionsprinzip eines RTM mit Piezoaktuatoren und Vibrationsdämpfung
- Betriebsmoden und Anwendungsmöglichkeiten des RTM
- Tunnelspektroskopie und Rasterkraftmikroskopie als ergänzende Rastersondenmethoden

3. Literatur

Beim Betreuer soll ca. 1 Woche vor dem Versuchstermin ein Ordner mit der Originalveröffentlichung G. Binnig, H. Rohrer, *Scanning Tunneling Microscopy*, *Helvetica Physica Acta* 55, 741 (1982). und dem Handbuch zum RTM ausgeliehen werden.

Der Tunneleffekt von Materiewellen wird in allen Textbüchern zur Quantenmechanik erklärt. Die LDOS von Metallen und Halbleitern findet man in den meisten Textbüchern zur Festkörperphysik.

Über die prinzipielle Wirkungsweise, Konstruktion, Beispielmessungen und Anwendung des RTM gibt es inzwischen zahlreiche Textbücher (folgende sind in der Bibliothek vorhanden):

D. A. Bonnell, *Scanning Tunneling Microscopy and Spectroscopy – Theory, Techniques and Applications*, VCH, 1993 (W-73UBK1832).

R. Wiesendanger, H.-J. Güntherodt, *Scanning Tunneling Microscopy*, Springer, 1993 (W-UIY1725).

Chunli Bai, *Scanning Tunneling Microscopy and its Application*, Springer, 1995 (W-UIY1864).

S. N. Maganov, M.-H. Whangbo, *Surface Analysis with STM and AFM*, VCH, 1996 (W-73UIY1945).

D. Sarid, *Exploring Scanning Probe Microscopy with Mathematica*, Wiley, 1997 (W-UFF1605).

4. Geräte

Nanosurf® easyScan 2 STM System

Vibrationsdämpfungssystem

Personal Computer mit Software zur Steuerung und Datenaufnahme

Probensatz mit Spezialwerkzeugen und Pt-Ir-Draht für Ersatzspitzen

5. Versuchsdurchführung

1. Machen Sie sich anhand des Handbuches mit der Apparatur vertraut. Eine funktionstüchtige Pt-Ir-Spitze sollte bereits eingebaut sein. Diese ist jedoch sehr empfindlich, so dass bei Einbau und Annäherung der Proben Vorsicht geboten ist. Reicht die Qualität der Spitze für die Messungen nicht aus, so sollte unter Anleitung des Betreuers eine neue Spitze hergestellt und eingesetzt werden.
2. Bauen Sie die Graphitprobe so ein, dass sich eine geeignete Stelle unter der Spitze befindet.
 - a. Nehmen Sie für den maximalen Scan-Bereich ein topographisches Bild ($I = \text{const.}$) auf und bestimmen Sie die mittlere Flächen- bzw. Linien-Rauheit der Oberfläche.
 - b. Zoomen Sie mit mehreren Schritten (ev. mit Rauschunterdrückung) in einen geeigneten Bereich, bis die Graphitatomare erkennbar sind und korrigieren Sie die Verkipfung der Probe.
 - c. Bestimmen Sie die Gitterstruktur und mittleren Atomabstände des Graphits.
 - d. Messen Sie im atomar glatten Bereich die Elektronendichteverteilung ($\Delta z = \text{const.}$).
3. Bauen Sie die spiegelnde (111)-Goldschicht ein.
 - a. Suchen Sie einen möglichst glatten Bereich der Probe und bestimmen Sie dort mittels topographischem Bild ($I = \text{const.}$) in einem möglichst kleinen Scan-Bereich die mittlere Flächen- und Linien-Rauheit der Oberfläche.
 - b. Versuchen Sie, monoatomare Stufen und eventuelle Gitterfehler aufzunehmen.
 - c. Bestimmen Sie den Gitterparameter und Stufenhöhen der Goldschicht.
4. Untersuchen Sie eine unbekannte Probe mit geeigneten Messungen Ihrer Wahl und bestimmen Sie nach Möglichkeit das Material.
5. Am Ende des Versuchstages sollten Sie die von Ihnen gemessenen Daten abspeichern (i.d. Regel auf USB-Stick) und für das Protokoll weiter auswerten. Bitte beantworten Sie darin auch folgende Fragen:
 - a. War die xy-Auslenkung des STM richtig geeicht?
 - b. Welche physikalischen Größen der Metalle bestimmen den Tunnelstrom?
 - c. Wie groß war die typische Feldstärke und Stromdichte im Bereich der Spitze?
 - d. Welchen Einfluss hat das Material der Spitze auf den Tunnelstrom?
 - e. Wie könnte man die lokale elektronische Zustandsdichte messen?