

Versuch 1.5

Rastertunnelmikroskopie (RTM)

A. Aufgabenstellung

Es werden Oberflächen von bekannten Strukturen und einer Goldschicht mit einem RTM abgebildet und charakterisiert. Vorher wird die Goldschicht in einem Aufdampfvorgang hergestellt



B. Anleitung zur Theorie

Rastersondenmikroskopische Untersuchungen gewähren als einzige Methode direkten Einblick in atomare Strukturen der obersten Atomlagen eines Materials. Allen Rastersondenmikroskopen liegt das in Fig. 1 dargestellte Prinzip zugrunde.

Eine Sonde, die als Spitze ausgebildet ist, wird durch eine piezoelektrische Positioniereinheit sehr nahe - einige nm bis \AA - an eine Probenoberfläche gebracht. Mit Hilfe einer Steuerelektronik, welche die piezoelektrische Positioniereinheit in der Ebene senkrecht dazu ansteuert, wird eine Bewegung der Sonde ermöglicht, so dass jeder Punkt einer vorgegebenen Fläche von der Spitze erreicht werden kann. Durch die Bewegung in dieser Ebene ergibt sich der zeilenweise Aufbau eines Bildes. Die aufgezeichneten Signale werden an einen Computer weitergegeben und können online auf einem Bildschirm beobachtet werden.

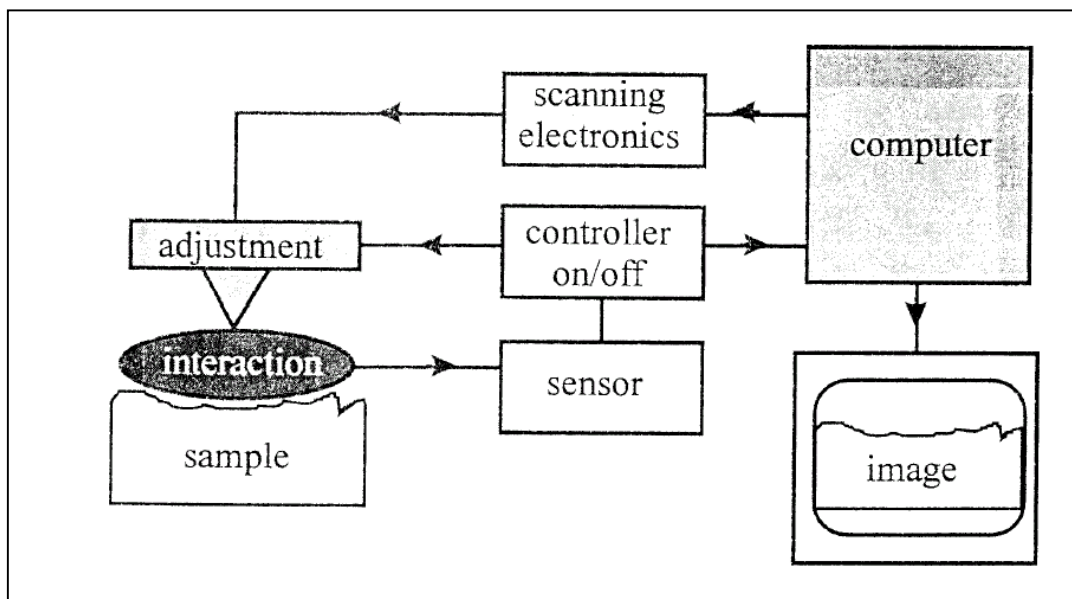


Fig. 1: Prinzip eines Rastersondenmikroskops

Im RTM ist die Sonde eine feine Drahtspitze (Tunnelspitze), die Wechselwirkungsgröße ist der Tunnelstrom. Zwischen der kontaktierten, leitenden oder halbleitenden Probe und der Tunnelspitze wird eine Tunnelspannung von einigen mV bis wenigen Volt angelegt. Verkleinert man den Abstand zwischen Spitze und Probe, setzt unterhalb von etwa 1 nm ein Tunnelstrom ein. Die Stromstärke liegt im nA-Bereich und nimmt exponentiell mit dem Abstand zur Probe ab. Der Tunnelstrom ist ein quantenmechanisches Phänomen. Klassisch gesehen ist es für ein Elektron unmöglich, eine Potentialbarriere zu überwinden, die höher ist als seine eigene Energie. Quantenmechanisch gibt es aber eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass dies stattfindet. Diese Wahrscheinlichkeit nimmt exponentiell mit dem Abstand zwischen Probe und Spitze ab. Die Amplitude der Elektronenwelle innerhalb der Potentialbarriere nimmt ebenfalls exponentiell ab und ist dann nach Durchlaufen der Barriere entsprechend gedämpft.

Fig. 2 zeigt schematisch, wie die Amplitude der von links einlaufenden Welle innerhalb der Potentialbarriere exponentiell abfällt. Es gibt eine nicht verschwindende Wahrscheinlichkeit, dass die Welle rechts von der Barriere weiterläuft.

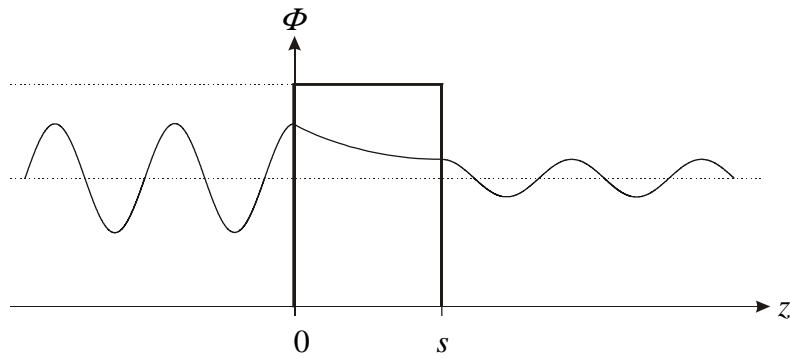


Fig. 2: Schematische Darstellung der Ortsabhängigkeit einer eindimensionalen Welle beim Auftreffen auf eine Barriere der Breite s . (links: einfallende Welle, rechts: auslaufende Welle)

Der Tunnelstrom wird durch die Übergangswahrscheinlichkeit W_{SP} eines Elektrons aus der Spitze (S) in die Probe (P) und umgekehrt geprägt. Die zeitunabhängige Störungsrechnung liefert allgemein dafür („FERMI’sche goldene Regel“)

$$I \propto W_{SP} = \frac{2\pi e}{\hbar} \cdot |M_{SP}|^2 \delta(E_P - E_S)$$

mit dem Übergangsmatrixelement M_{SP} von einem Zustand aus der Spitze $|\Psi_S\rangle$ nach einem Zustand aus der Probe $|\Psi_P\rangle$. Die Delta-Funktion beschreibt die Energieerhaltung für den Fall des elastischen Tunnelns.

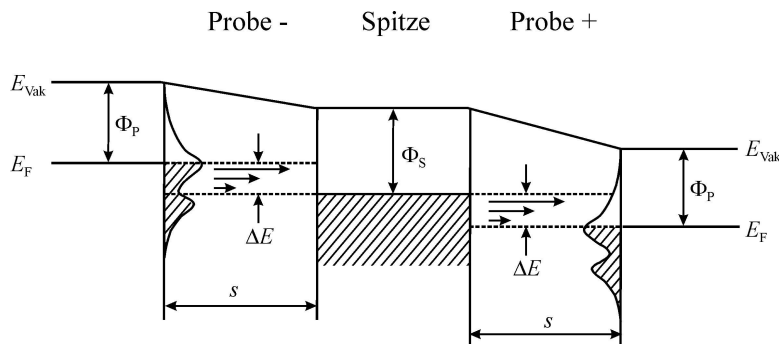


Fig. 3: Schematisches Energiediagramm zwischen einer Metallspitze und einer Adsorbatbedeckten Metalloberfläche, links: negatives Probenpotential, rechts: positives Probenpotential

In Fig. 3 ist das Energiediagramm eines Tunnelkontaktes, jeweils für positive und negative Probenpotential, schematisch dargestellt. E_F und E_{vak} bezeichnen die Fermienergie bzw. die Energie eines freien Elektrons im Vakuum. Bei negativer Probenpotential bzgl. der Tunnelspitze tunneln die Elektronen aus besetzten Energieniveaus der Probe in unbesetzte Energieniveaus der Spitze. Bei positiver Probe ist es genau umgekehrt.

C. Anleitung zur Durchführung

Die notwendigen Schritte bis zum ersten Tunnelbild, z.B. Einbau der Probe, Herstellung und Einbau der Spitze und Bedienung der Software sind im Handbuch des Herstellers beschrieben!

Bevor Strukturuntersuchungen durchgeführt werden, muss eine Tunnelspitze, die eine ausreichende Auflösung erreicht, hergestellt werden. Dies kann man durch Abbilden des Graphitgitters nachweisen. Ist es mit der Spitze nicht möglich, rauscharm abzubilden, muss eine neue hergestellt werden (thermische Drifts verzerren zwar das Gitter, das Stromsignal muss aber rauscharm und das Topographiesignal stabil sein). Typische Parameter für Tunnelstrom und -spannung sind 0.5 ... 1 nA und +10 ... 400 mV. Die Reglereinstellungen sollten beide 9 ... 11 sein. Dadurch erhält man den Kontrast hauptsächlich im Strombild. Gelingt es nicht, ein sauberes Graphitsignal zu bekommen, muss die Tunnelspitze, ggf. auch die Graphitoberfläche neu hergestellt werden.

Aufgaben und Auswertung

- Man stelle eine Goldschicht mittels Aufdampfen her (siehe Anleitung, gleichzeitig werden Proben für die F-Praktikumsversuche 1.13 und 1.14 hergestellt).
- Man stelle eine frische Tunnelspitze und eine frische Graphitoberfläche (s. Anleitung des Herstellers) her. Nähern Sie die Probe an und beginnen Sie zu rastern. Anschließend muss anhand des Tunnelsignals entschieden werden, ob die Tunnelspitze/Oberfläche gut genug ist für die folgenden Messungen. Ansonsten muss i.d.R. eine neue Tunnelspitze eingesetzt werden, seltener auch eine frische Graphitschicht abgezogen werden.
- Man bilde eine saubere Graphitoberfläche ab. Man nutze dabei verschiedene Rasterweiten bis hinunter zu atomarer Auflösung.
- Man nehme Bilder sowohl im CGM- (als auch im CHM-Modus) auf. Welchen Einfluss haben verschiedene Rastergeschwindigkeiten bei festen I- und P-Werten auf den Kontrast im Topographie- und Stromkanal?
- Man bilde die Oberfläche der aufgedampften Au-Schicht ab und messe die Strukturen aus.

D. Literatur

I. KÖHLER, Dissertation, Universität Gießen, 2000

J. TERSOFF, D.R. HAMANN, Phys. Rev. Lett. **50**, 1998 (1983)

J. TERSOFF, D.R. HAMANN, Phys. Rev. B **31**, 805 (1985)

Deutsche Handbücher für verwendetes RTM

„Scanning Tunneling Microscopy and its Application“ by C. Bai, Springer Series in Surface Sciences **32**, Springer Verlag, 1992

“Scanning Tunneling Microscopy I”, Eds.: H.-J. GÜNTHERODT, R. WIESENDANGER, Springer Series in Surface Sciences **20**, Springer Verlag, 1994

Anleitung zur Bedienung der Aufdampfanlage