



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

FORTGESCHRITTENEN PRAKTIKUM

Rastertunnelmikroskopie

Verfasser:

Henrik JÜRGENS

Frederik STROTHMANN

Tutor:

Vitali PORSHYN

Abstract:

Mithilfe eines Rastertunnelmikroskops wird die Struktur verschiedener Materialien analysiert, indem deren Oberfläche in verschiedenen Modi abgefahren wird.

Bereich	max. %	+ / 0 / -	erreicht %
Einleitung & Theorie	15		
Durchführung	70		
Auswertung			
phys. Diskussion			
Zusammenfassung			
Formales	15		
Note			

26. September 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
2.1	Tunneleffekt	2
2.2	Oberflächenrauheit	3
3	Versuchsaufbau	4
3.1	Versuchsdurchführung	5
3.2	Verwendete Formeln	5
3.3	Messergebnisse	5
3.4	Auswertung	5
3.5	Diskussion	5
4	Fazit	5

1 Einleitung

In diesem Versuch werden Oberflächen verschiedener Proben mittels Rastertunnelmikroskopie auf deren Gitterstruktur und morphologische Eigenschaften untersucht. Elektronendichte, Oberflächenrauheit und die atomare Gitterstruktur können mit dem Rastertunnelmikroskop (RTM) analysiert werden. Der quantenmechanische Tunneleffekt wird genutzt, um leitende Materialien zu untersuchen. Indem zwischen einer einatomigen Platin-Iridium-Elektrode und der zu untersuchenden Probe eine Potentialdifferenz angelegt wird, kommt es abhängig von der Entfernung der Pt-Ir-Elektrode zur Probe und dessen Elektronendichte zu einem Tunnelstrom, welcher Rückschlüsse auf die Struktur der Probe erlaubt. Die Elektronendichte der Oberfläche kann durch systematisches Abrastern der Probe erfasst werden, sodass mithilfe verschiedener Modi (CC und CH: Constant Current und Constant Height) ein Bild der Materialoberfläche entsteht.

2 Theorie

In diesem Versuchsteil werden die für diesen Versuch wichtigen theoretischen Grundlagen erklärt.

2.1 Tunneleffekt

Der Tunneleffekt, auf dem die Funktionsweise des RTM basiert, kann nichtrelativistisch mit der stationären Schrödingergleichung für Materiewellen beschrieben werden.

$$E\psi = \hat{H}\psi \quad (1)$$

Über das Korrespondenzprinzip erhält man aus dem klassischen nichtrelativistischen Hamiltonian für ein Teilchen im Potential V die Ortsdarstellung der Schrödingergleichung:

$$E\psi = \left(\frac{-\hbar^2 \Delta}{2m} + V \right) \psi \quad (2)$$

$|\psi|^2$ gibt dabei die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Teilchens im Volumenelement $dV(\mathbf{x})$ an. Der Tunneleffekt kann anhand eines einfachen Beispiels verstanden werden, indem in einer Dimension ein Potentialwall in Form eines Kastens angenommen wird. Ein veranschaulichendes Bild ist wichtiger, als ein langer Rechenweg, weshalb es vorzuziehen ist, die Lösung mit Abbildung 1 zu veranschaulichen.

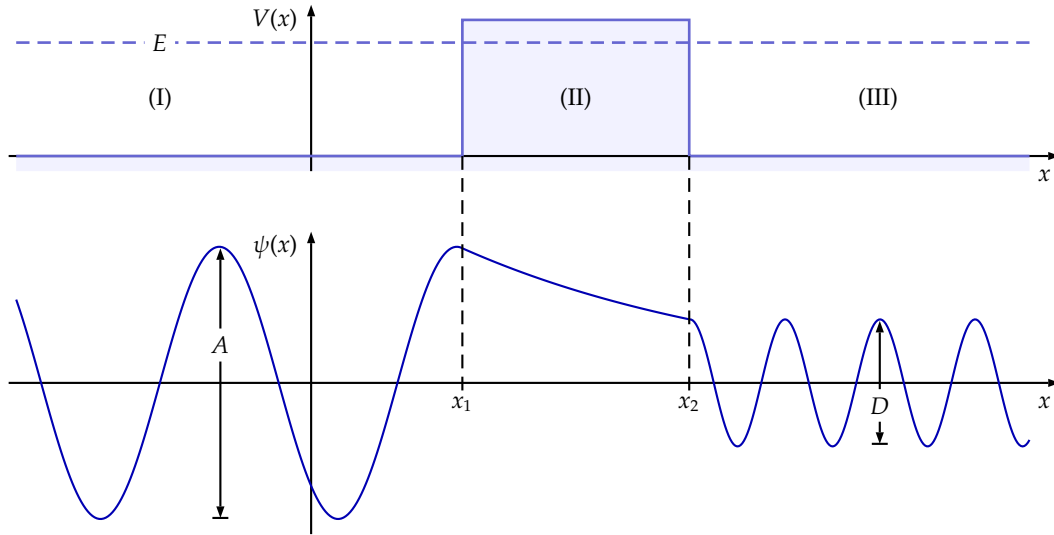


Abbildung 1: Eindimensionale Schrödigergleichung mit Potentialwall in der Mitte. Zu sehen ist der exponentielle Abfall der Amplitude der Wellenfunktion, wodurch die Aufenthaltswahrscheinlichkeit hinter dem Potentialwall D^2 kleiner als A^2 ist. (vgl. [2])

Die Herleitung kann ohne Probleme auf der Seite [1] nachvollzogen werden. Die Lösung der Schrödigergleichung innerhalb der Potentialbarriere ergibt einen exponentiellen Abfall der Aufenthaltswahrscheinlichkeit mit zunehmender Eindringtiefe, wobei die Wellenlänge gleich bleibt. Damit die Elektronen während des Versuches nicht in beide Richtungen gleich stark tunneln, wird eine Potentialdifferenz zwischen Bereich (I) und Bereich (III) erzeugt, wodurch die Elektronen eine Vorzugsrichtung bekommen. Der Tunnelstrom I_{Tunnel} , die entscheidende Messgröße, ist proportional zur Tunnelwahrscheinlichkeit multipliziert mit der angelegten Spannung V_{bias} und der Zustandsdichte ρ_s bei der Fermienergie E_f . Die Differenz der Austrittsarbeiten der Materialien wird mit Φ bezeichnet, wobei z der Abstand der Sonde zum Material ist:

$$I_{Tunnel} \propto V_{bias} \rho_s(E_f) \exp \left[-2 \frac{\sqrt{2m(\Phi - E)} z}{\hbar} \right] \approx V_{bias} \rho_s(E_f) \exp \left[-1,025 \sqrt{\Phi} z \right] \quad (3)$$

Die zweite Näherung gilt, falls die Potentialbarriere $\Phi \gg E$ ist und die erste Proportionalität gilt. Die erste Proportionalität ist dabei selber eine Näherung für $2 \frac{\sqrt{2m(\Phi - E)} z}{\hbar} \gg 1$, da die nicht genäherte Tunnelwahrscheinlichkeit

$$W_{Tunnel} = \frac{1}{1 + \frac{\Phi^2}{4E(\Phi - E)} \sinh^2 \left(\frac{\sqrt{2m(\Phi - E)} z}{\hbar} \right)} \quad (4)$$

entspricht. Die starke z -Abhängigkeit wird in diesem Versuch ausgenutzt.

2.2 Oberflächenrauheit

Die Oberflächenrauheit oder kurz Rauheit ist in der Oberflächenphysik eine Größe zur Charakterisierung der Unebenheit der Oberflächenhöhe.

3 Versuchsaufbau

In diesem Abschnitt wird der Aufbau des Rastertunnelmikroskops beschrieben. Das Rastertunnelmikroskop basiert auf dem in Abschnitt ?? beschriebenem Tunneleffekt. Die leitende Spitze des Rastertunnelmikroskops wird hinreichend nah an die Oberfläche des zu untersuchenden Material geführt, berührt diese jedoch nicht. Wird eine Spannung angelegt, so kann ein “Tunnelstrom” fließen. Bewegt man nun die Spitze nun Parallel zur Oberfläche, so erhält über den Tunnelstroms ortal aufgelöste Informationen über die Oberfläche.

Grundlegend ist das Rastertunnelmikroskop aus drei Elementen aufgebaut, einem Tastkopf, einem Piezosteuererelement und einer Probe. Der Tastkopf besteht aus einem Draht, mit einer Spitze, die möglichst einatomig sein soll. Durch die Dicke der Spitze wird das Auflösungsvermögen des Mikroskops festgelegt. In diesem Versuch wird ein Platin-Iridium-Draht als Tastkopf verwendet. Das Piezosteuererelement dient zur Positionierung der Spitze. Dabei kann der Tastkopf im nm-Bereich verschoben werden. Für die Untersuchung einer Oberfläche mit einem Rastertunnelmikroskops muss die Probe bestimmte Eigenschaften erfüllen. Die Probe muss ein Leiter oder ein Halbleiter sein. Da beschichten der Oberfläche mit einem leitendem Material ist nicht möglich, da die Oberflächenstruktur durch die Beschichtung die Oberflächen verdeckt wird.

Ein schematischer Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 zu sehen.

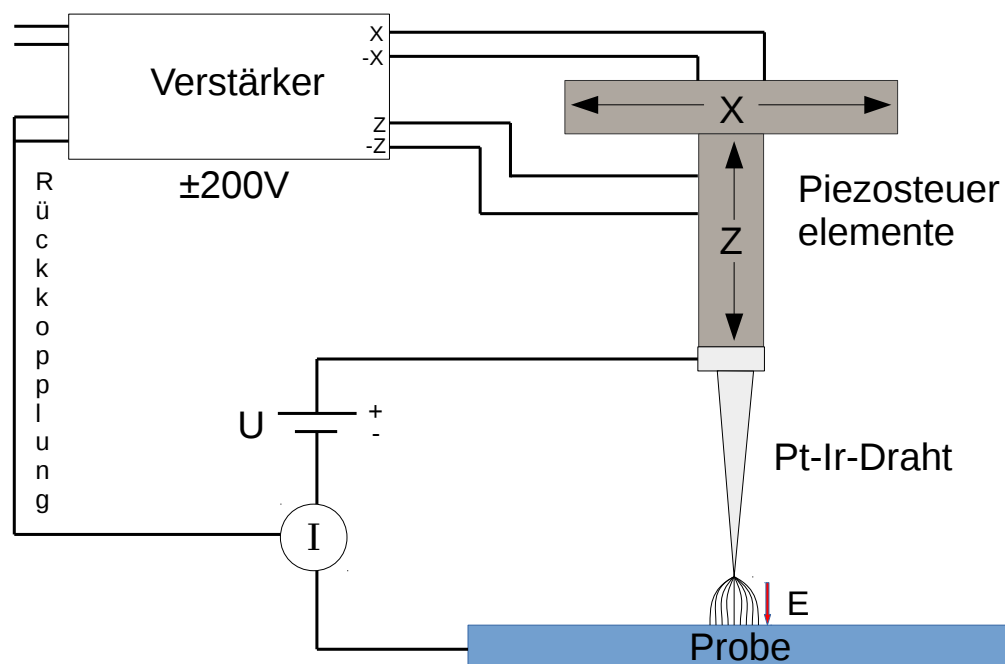


Abbildung 2: Schematische Skizze des Versuchsaufbaus. Die Positionierung der Platin-Iridium-Tastkopes wird über die Piezoelemente im nm-Bereich gesteuert. Die Rückkopplung dient zur Steuerung der Höhe des Tastkopfes.

3.1 Versuchsdurchführung

3.2 Verwendete Formeln

3.3 Messergebnisse

3.4 Auswertung

3.5 Diskussion

4 Fazit

Literatur

[1] <https://de.wikipedia.org/wiki/tunneleffekt>.

[2] <http://www.semibyte.de/wp/graphicslibrary/gl-physics/tunneleffekt>.