

Physikalisch-Chemisches Praktikum I

Protokoll zu Versuch 35: Tunnelmikroskop

Theorie:

Die Rastertunnelelektronenmikroskopie ermöglicht es, die Oberflächen von Materialien in atomaren Größenordnungen zu betrachten. Die Grundlage hierfür liefert der aus der Quantenmechanik bekannte Tunneleffekt. Dieses in ähnlicher Weise auch in der klassischen Mechanik bekannte Phänomen besagt, dass ein Teilchen beim Auftreffen auf einen endlich hohen Potentialwall nicht unbedingt reflektiert werden muß, sondern sich auch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf der anderen Seite des Potentialwalls wiederfinden kann. Das Teilchen, welches sich durch eine sinusförmige Wellengleichung beschreiben läßt, erfährt innerhalb dieser Potentialbarriere einen exponentiellen Abfall seiner Amplitude. Für den Transmissionskoeffizienten T (die Wahrscheinlichkeit das Teilchen jenseits der Potentialbarriere zu finden) gilt:

$$T \propto e^{-\frac{2 \cdot a \sqrt{2 \cdot m \cdot (V_0 - E)}}{\hbar}}$$

Hierbei ist a die Breite des Potentialwalls, m die Masse des tunnelnden Teilchens, V_0 die Höhe des Potentialwalls und E die Gesamtenergie des Teilchens.

Im Versuch entsprechen die Orte rechts und links des Potentialwalls einmal der zu untersuchenden Oberfläche (hier eine Graphitfolie) und zum anderen einem Platindraht, mit dem die Oberfläche berührungslos abgetastet wird. An diesem liegt eine Spannung von einigen Millivolt an, so dass zwischen der Graphitoberfläche und dem Platindraht ein Tunnelstrom fließt, der seinerseits proportional zur Tunnelwahrscheinlichkeit ist.

Die Spitze des Platindrahtes überstreicht das ausgewählte Gebiet Zeile für Zeile, wobei der Tunnelstrom elektronisch konstant gehalten wurde. Dies geschieht wiederum über eine Abstandsregelung mittels piezoelektrischer Materialien. So kann also über die am Piezokristall anliegende Spannung eine Aussage über die Elektronenverteilung auf der Oberfläche gemacht werden.

Um nun eine möglichst gute Auflösung des Bildes zu erhalten, sollte der Tunnelstrom bzw. seine Herkunft möglichst genau lokalisiert werden. Um dies zu verwirklichen wäre ein Platindraht mit einer monoatomaren Spitze zum Abtasten der Oberfläche ideal. Da das aber nur sehr schwer und im durchgeführten Versuch schon gar nicht realisierbar ist, kommt es im Bild letztendlich zu Abweichungen von der wirklich vorhandenen sechseckigen Graphitstruktur.

Weiterhin muß man sich auch darüber im Klaren sein, dass nur die Elektronen aus den höchsten besetzten energetischen Niveaus des Festkörpers (also Festkörper-MOs mit ungefähr der Fermienergie E_F) von der Oberfläche abgezogen werden, da für diese die Auslösearbeit am geringsten ist. Darüber hinaus ist zu beachten, dass wegen der stark unterschiedlichen Zustandsdichten in den Orbitalbändern des Graphit praktisch nur die Elektronen des Bandes sichtbar gemacht werden, das die β -Kohlenstoffatome (also diese ohne direkten Nachbarn in der nächsten Schicht) bilden.

Durchführung:

Das Tunnelmikroskop wurde gemäß der Anleitung bedient. Es wurden verschiedene annähernd homogene Bereiche der Oberfläche der Graphitfolie ausgewählt und vergrößert. Die Bilder mit der größten Deutlichkeit wurden gespeichert und ausgedruckt.

Auswertung:

Zur Auswertung wurden die Atomabstände und Winkel auf einem Bild vermessen, das ungefähr einen 1 nm^2 -Bereich zeigt.

Auf der Rückseite des Bildes sind die Atome mit Kreuzen markiert worden. Die vermessen Strecken sind mit arabischen, die Winkel mit römischen Zahlen numeriert worden.

Für den Mittelwert des Winkels α ergibt sich ein Wert von ca. 119° . Der Mittelwert der Atomabstände beträgt etwa $2,29 \text{ \AA}$. Vergleicht man diese Werte mit den Realwerten in der Graphitstruktur von $\alpha = 120^\circ$ und $x = 1,41 \text{ \AA}$, stellt man fest, dass sich die Abweichung des Winkels im Toleranzbereich, die des Atomabstandes jedoch nicht in diesem befindet.

Bedenkt man jedoch, dass wie oben schon erwähnt nur die β -Kohlenstoffatome im Bild erscheinen, kann man sich ein neues Sechseck konstruieren, das nur aus β -Kohlenstoffatomen besteht. Mit einfachen Überlegungen ergibt sich dessen Kantenlänge zu $x = 2,44 \text{ \AA}$, wenn man für den Atomabstand im Graphit den Wert $1,41 \text{ \AA}$ verwendet. Der relative Fehler hat somit eine Größe von etwa 6,6%, was im Rahmen der Ungenauigkeit beim Markieren der Atome auf dem Bild durchaus akzeptabel ist.