

Versuch 35: Tunnelmikroskop

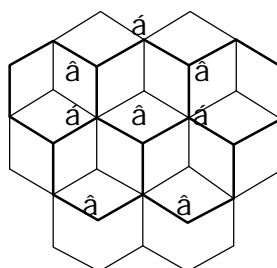
Theorie

Bei diesem Versuch geht es darum, eine glatte Kristalloberfläche, in unserem Fall ein Graphitkristall, mit Hilfe eines Raster-Tunnelmikroskops (STM= scanning tunneling microscope) abzubilden. Das funktioniert mit Hilfe des Piezoeffekts, bei dem sich die Ausdehnung des Kristalls ändert, wenn man eine Spannung anlegt. Die Längenveränderung die bei der Ausdehnung auftritt, ist meßbar. Sie liegt im Nanometer Bereich ($\text{nm}=10^{-9}\text{m}$). Der Effekt tritt aber nur bei Kristallen auf, die kein Inversionszentrum besitzen.

Um die Spannung an den Kristall anzulegen macht man sich den Tunneleffekt zu nutze. Mit Tunneleffekt wird der Effekt bezeichnet, daß eine Welle mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit (P) durch ein Hindernis (eine Barriere) hindurchtunneln kann. In der Barriere nimmt die Amplitude der Welle exponentiell ab, weshalb der Tunnelstrom auch exponentiell vom Abstand zwischen der Nadelspitze, die man benutzt, und der Oberfläche des Kristalls abhängt. Er beträgt bei einer Spannung von 0,1V und einem Nadelabstand von 1nm etwa 1nA.

$$P = 16e(1 - e)^{\frac{2L}{D}} \quad e = \frac{E}{V} \quad D = \frac{\hbar}{\sqrt{2m(V - E)}} \quad V - E > 0$$

Nachdem man alles eingestellt hat, fährt das STM computergesteuert eine Zeile nach der anderen ab, und setzt sie zu einem Bild zusammen. Es ist allerdings darauf zu achten, daß nicht alle Atome in der Kristallstruktur abgebildet werden, sondern nur die Hälfte aller Atome der obersten Schicht. Sie werden \hat{a} -Atome genannt. Die nicht sichtbaren Atome nennen wir \acute{a} -Atome. Die \acute{a} -Atome liegen genau über einem Atom der darunterliegenden Schicht, was zu einer Wechselwirkung der p_z -Orbitale der Atome aus beiden Schichten führt. Die \hat{a} -Atome wechselwirken nur mit den \acute{a} -Atomen aus der selben Schicht, was sich aber nicht auf die Messung niederschlägt, da sich die Wechselwirkungen aufheben. Daraus ergibt sich ein breiteres Band von \acute{a} - und ein schmales Band von \hat{a} -Zuständen. Da die Zahl der Zustände bei beiden gleich sind, ist die Dichte der Zustände im schmalen \hat{a} -Band viel höher, als im \acute{a} -Band.



Versuchdurchführung

Zuerst macht man sich mit dem Computer vertraut, und simuliert eine Messung mit dem STM, um danach zügiger voran zu kommen, und um die Arbeitsweise kennen zu lernen. Um mit einer Messung zu beginnen, muß man zuerst das Werkzeug (Pinzette, Zange, ...) mit Ethanol säubern, und dann eine Spitze für das STM schneiden. Dazu nimmt man einen Platindraht, den man so spitz wie möglich anschneidet. Während man schneidet, soll man den Platindraht gleichzeitig abreißen, um eine ein-atomare Spitze zu erhalten. Die Spitze setzt man in das STM ein und führt den Probenhalter mit dem Graphitkristall so nahe wie möglich an die Spitze heran, ohne die Spitze zu berühren. Nun steuert man alles nur noch über den Computer.

Man fährt den Probenhalter so nah wie nötig an die Spitze heran. Danach richtet man die drei Piezokristalle so aus, das sie parallel zur Oberfläche und senkrecht dazu (in z-Richtung) stehen. Nun tastet man den Kristall ab, und zoomt sich so weit hinein, bis man die Struktur erkennt. Beim zoomen ist darauf zu achten, daß man möglichst in Flächen mit gleicher grau-Schattierung hineinzoomt.

Wenn man eine Struktur erhalten hat, wartet man noch eine Weile, bis sich das Bild nicht mehr wesentlich ändert. Damit soll verhindert werden, daß die Temperatur Einfluß auf die Messung nimmt, da ein Temperaturunterschied von nur 0,1K eine Ausdehnung des Probenhalters von einigen Nanometer verursacht.

Während man hineinzoomt richtet man falls nötig die Piezokristalle nochmals aus, um wirklich parallel zur Oberfläche zu messen.

Auswertung

Da nur die \hat{a} -Atome sichtbar werden muß man danach die Position der \acute{a} -Atome konstruieren, um die vollständige Graphitstruktur zu erkennen. Dazu zeichnet man Geraden durch alle \hat{a} -Atome, die dann kleine gleichseitige Dreiecke ergeben sollten. In der Mitte jedes zweiten Dreiecks befinden sich dann die \acute{a} -Atome. Außerdem mißt man die Winkel zwischen den Geraden, und berechnet den Mittelwert (siehe Blatt). Die Berechnung der Bindungslängen ist nur beispielhaft durchgeführt, da das STW nicht kalibriert war, und man nur unzufrieden stellende Ergebnisse erhält.

Winkel [°]	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
b ₁	84	84	83	83	84
b ₂	83	83	83	83	84
b ₃	83	83	83	83	83,5
b ₄	82	82	82	82	82,5
b ₅	82	82	81,5	81	82
b ₆	83	83	83	83	84

Winkel [°]	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
c ₁	53	53	53	53	52
c ₂	52	52	53	53	52,5
c ₃	52,5	52,5	53	53	52
c ₄	53,5	53	53,5	54	53
c ₅	53,5	53,5	54	54	53
c ₆	53,5	53,5	54	54	53

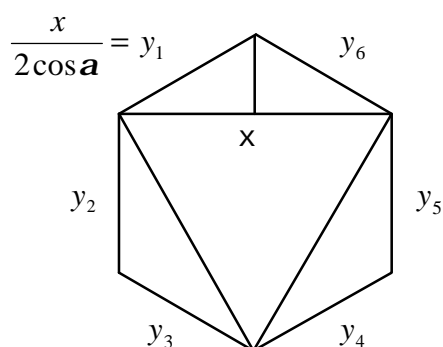
Winkel [°]	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆
b ₁	43	44	43,5	43	43	43
b ₂	43,5	44,5	44	43	43	43
b ₃	44	44,5	44	44	44	44,5
b ₄	45	45	46	45	45	45
b ₅	45	46	45	44	44	44
b ₆	44	44	44	43	43	42

Daraus folgen die Durchschnittswinkel:

ab 83°

ac 53°

bc 44°



$$\hat{a} = 30^\circ$$

$$\hat{a} = 60^\circ$$

$$\hat{a} = 120^\circ$$

$$x = d_1/4 = 0,153\text{nm}$$

$$x = d_2/5 = 0,135\text{nm}$$

Nach Berechnung mit den Gemessenen Winkeln kommen Für die sechs Bindungen folgende Bindungslängen heraus:

$$y_1 = 1,077\text{\AA}$$

$$y_2 = 1,0476\text{\AA}$$

$$y_3 = 0,946\text{\AA}$$

$$y_4 = 0,80\text{\AA}$$

$$y_5 = 0,8474\text{\AA}$$

$$y_6 = 1,049\text{\AA}$$

$$\bar{\Delta}y = 0,9612\text{\AA}$$

Man erkennt sofort, daß dieser Wert, aufgrund der falschen Kallibrierung, nicht besonders gut mit dem Literaturwert von 1,415Å übereinstimmt.