

Physikalisches Praktikum Für Fortgeschrittene, Teil A

Rastertunnelmikroskopie

Versuch 2.8

Gruppe 14

W.Bender (walter.bender@rwth-aachen.de), J.Luckas (c.hihiro@gmx.de)

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel und Zweck des Versuchs:	2
2	Grundlagen	3
2.1	Theoretischer Hintergrund eines RTM	3
2.1.1	Eindimensionale Potentialbarriere	3
2.1.2	Tersoff-Hamann- Modell	4
2.2	Messmodi der Rastunnelmikroskopie	5
2.2.1	Konstant Strom-Modus	5
2.2.2	Konstant-Höhen-Modus	5
2.3	Piezoelektrischer Effekt	5
2.4	Graphitstruktur	5
3	Versuchsaufbau und Vorbereitung	6
3.1	Versuchsaufbau	6
3.2	Versuchsvorbereitung	6
4	Gold Oberfläche	8
5	Graphit	13
6	Cobaltbuffer- und Multilayer	17

1 Ziel und Zweck des Versuchs:

In diesem Versuch sollen die Oberflächen verschiedener Materialien auf atomarer Skala untersucht werden. Die zu untersuchenden Proben sind Gold, Graphit und die von uns in Versuchsteil 2.10 hergestellten Proben, ein Kobalt-Bufferlayer und ein Co/Pt-Multilayer. Verwendet wird ein Rastertunnelmikroskop der Firma Klocke Nanotechnik, Aachen.

2 Grundlagen

2.1 Theoretischer Hintergrund eines RTM

Das Rastertunnelmikroskop macht sich den quantenmechanischen Tunneleffekt zu Nutze. Aufgrund der Unschärferelation ist es Teilchen möglich, klassische Barrieren zu überwinden. Das Rastertunnelmikroskop besteht im wesentlichen aus einer Spitze, die sich im Abstand $d = 2a \sim 1\text{nm}$ über der Oberfläche bewegt (Abbildung 2.1).

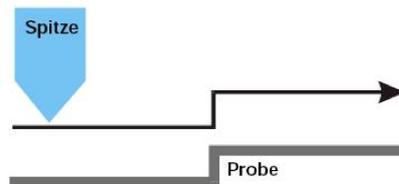


Abbildung 2.1: Tunnelspitze über Probe

2.1.1 Eindimensionale Potentialbarriere

Im einfachsten Modell kann der Bereich zwischen Spitze und Material als eindimensionale rechteckige Potentialbarriere der Höhe V_0 und Breite $2a$ angesehen werden. Dieses sehr vereinfachte Modell gibt schon entscheidende Aufschlüsse über den Tunnelstrom (siehe Abbildung 2.2).

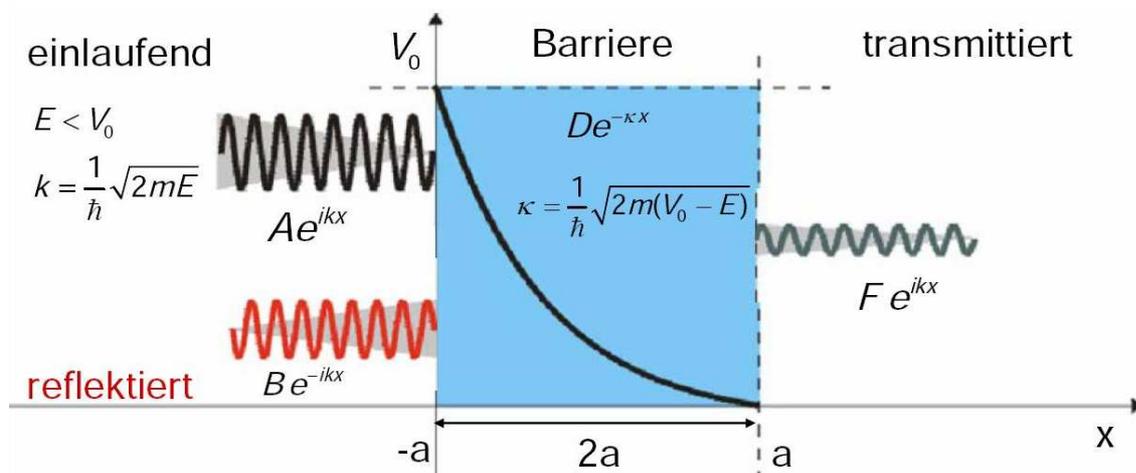


Abbildung 2.2: Tunnelbarriere

Eine von links einlaufende Teilchenwelle der Energie $E < V_0$ und Amplitude A trifft auf die Potentialbarriere. Dabei wird die Teilchenwelle zum Teil mit Amplitude B reflektiert, aber auch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit mit Amplitude F transmittiert. Diese Wahrscheinlichkeit wird Tunnelwahrscheinlichkeit genannt. Die Lösung der Schrödingergleichung liefert den Transmissionskoeffizienten $T = \frac{F}{A}$. Sie ergibt sich zu: $T = \frac{\exp(-i2\kappa a)}{\cosh(2\kappa a) + (i\varepsilon/2) \sinh(2\kappa a)}$ mit $\varepsilon = \frac{\kappa}{k} - \frac{k}{\kappa}$. Die Tunnelwahrscheinlichkeit ist $|T|^2 = \frac{1}{1 + (1 + \varepsilon^2/4) \sinh^2(2\kappa a)}$. Für einen sehr hohen und breiten Potentialpof d.h. $\kappa a \gg 1$ folgt $\sinh(\kappa a) \sim \frac{\exp 2\kappa a}{2} \gg 1$, und damit vereinfacht

sich die Tunnelwahrscheinlichkeit zu: $|T|^2 \sim \exp(-4\kappa a)$. Der durch den Tunneleffekt erzeugte Tunnelstrom I_T ist proportional zu dieser Tunnelwahrscheinlichkeit.

$$I_T \sim |T|^2 \sim \exp(-4\kappa a) = \exp\left(\frac{-8\pi a}{h} \sqrt{(V_0 - E)2m}\right) \quad (1)$$

Der Tunnelstrom hängt exponentiell vom Abstand d von Spitze und Oberfläche ab. Eine Änderung dieses Abstandes von 0,1 nm, was ungefähr einem Atomradius entspricht, bewirkt eine Erhöhung des Tunnelstroms um eine Größenordnung.

2.1.2 Tersoff-Hamann- Modell

Die Bandstruktur von Tunnelspitze und Probenfläche blieb bisher unbeachtet. Im Bard-Tersoff-Hamann - Modell betrachtet man zwei entkoppelte Systeme der Zustandsdichten ρ_s der Spitze und ρ_p der Probe. Dabei ist zu beachten, dass ρ_p ortsabhängig ist. Durch elastisches Tunneln gelangen Elektronen aus dem Energieband der Spitze in das Energieband der Probe oder umgekehrt. Die Richtung des Tunnelstroms wird durch die Polung der angelegten Tunnelspannung festgelegt. Ist die Probe auf positivem Potential, tunneln die Elektronen von der Spitze zur Probe. Ist sie auf negativem Potential, tunneln sie von der Probe zur Spitze. Am Tunnelprozess können nur die Elektronen nahe der Fermikanten teilnehmen. Dementsprechend hängt der Tunnelstrom von den Zustandsdichten der Spitze ρ_s und Probe ρ_p ab. Aus diesem Grund muss die Spitze metallisch und die Probe ebenfalls leitend bzw. zumindest halbleitend sein. Für den Tunnelstrom beim Tunneln von Spitze zur Probe gilt folglich:

$$I_t \sim \int_0^{eU} \rho_p(E_F - eU + \varepsilon, \vec{x}) \rho_s(E_F - \varepsilon) |T|^2 d\varepsilon \quad (2)$$

Die Integration im Intervall $\varepsilon \in [0, eU]$ berücksichtigt, dass das elastische Tunneln nicht nur in den Energiezustand des Probenbandes, der gleich der zur Fermienergie der Spitze ist, stattfindet (siehe Abbildung 2.3). Dementsprechend wird mittels der Rastertunnelmikroskopie über ein breites Energiefenster gemittelt, was bereits Aufschluss über die topografischen Eigenschaften der Probe gibt. Es ist jedoch unmöglich nur eine Energie oder zumindest ein schmales Energiefenster zu analysieren. Die Auflösung der Rastertunnelmikroskopie ist somit begrenzt.

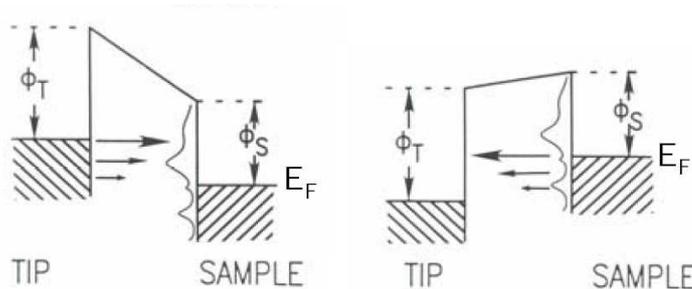


Abbildung 2.3: Tunnelströme zwischen Probe und Spitze

2.2 Messmodi der Rastunnelmikroskopie

Die Rastertunnelmikroskopie kann in zwei unterschiedlichen Messmodi durchgeführt werden.

2.2.1 Konstant Strom-Modus

Bei diesem Modus wird der Tunnelstrom durch Variation der Höhe z konstant gehalten. Die Höhe z wird durch Piezokristalle reguliert. Man erhält somit sofort eine Aussage über die Topografie der Probe. Dieses Vorgehen ist besonders für raue Proben geeignet.

2.2.2 Konstant-Höhen-Modus

Bei diesem Modus wird die Spitze bei konstanter Höhe über die Probe geführt. Dieses Vorgehen ist zwar schneller als der Konstant-Strom-Modus, setzt aber auch voraus, dass die Probe sehr glatt ist. Auf die Topografie der Probe kann über die gemessene Variation des Tunnelstroms rückgeschlossen werden.

2.3 Piezoelektrischer Effekt

Ein Kristall verformt sich, wenn an ihm eine Spannung angelegt wird. Zu Grunde liegt hierbei der piezoelektrische Effekt. Wird ein Kristall mechanisch verformt, verschieben sich die Ladungen in der Einheitszelle, so dass Polarisation entsteht. Aufgrund der regelmäßigen Struktur des Kristalls addieren sich diese Polarisationen auf und an der Oberfläche des Kristalls ist eine Spannung messbar. Bei der Rastertunnelspektroskopie kommt der umgekehrte piezoelektrische Effekt zum Einsatz. Durch Anlegen einer Spannung an den Piezokristall kann die Verformung des Kristalls präzise gesteuert werden.

2.4 Graphitstruktur

Ein Graphitkristall ist aus ebenen Schichten aufgebaut, in denen regelmäßige Sechsecke aus Kohlenstoff-Atome ähnlich wie in einer Bienenwabe miteinander verknüpft sind. Die parallel gestapelten Schichten sind nur schwach durch London-Kräfte gebunden. Der kürzeste Abstand zweier benachbarten Lagen beträgt 335 pm. Innerhalb der Schicht beträgt der Abstand a zweier benachbarter gebundener Atome 141,5 pm.

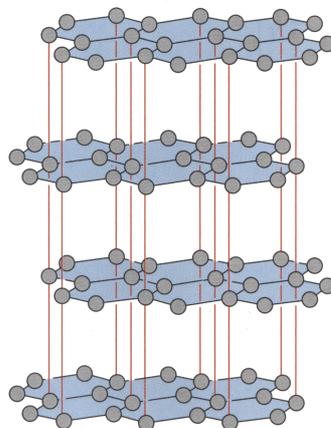


Abbildung 2.4: Graphitstruktur

3 Versuchsaufbau und Vorbereitung

3.1 Versuchsaufbau

Das Herz eines Rastertunnelmikroskops ist die Tunnelspitze. Die Tunnelspitze klemmt in einem Metallrohr, der in einen z-Piezokristall eingelagert ist. Mit dem Piezo kann die Spitze präzise bis zu einigen Angström an die zu untersuchende Probe herangeführt werden. Die Probe befindet sich auf drei Metallkugeln gelagert über der Spitze. Zur Grobannäherung der Spitze an die Probe wird ein Walker benutzt, der mit einer Sägezahnspannung betrieben wird. Durch Wahl der Polung der Sägezahnspannung kann die Spitze sowohl nach oben als nach unten bewegt werden. Um eine Abrasterung der Probe in x- und y- Richtung zu erreichen, verwendet man einen vierfach segmentierten Piezo-Hohlzylinder. Das Anlegen unterschiedlicher Spannungen an die Einzelsegmente X-, X+, Y- und Y+, führt zu unterschiedlichen Längenausdehnungen dieser Segmente, der Kristall schert aus und führt die Spitze mit sich. Da alle vier Segmente einzeln ansteuerbar sind, kann die Spitze präzise in der x-y Ebene ausgelenkt werden. Zum Schutz vor Vibrationen, während des Mesvorgangs kann das RTM verschlossen werden.

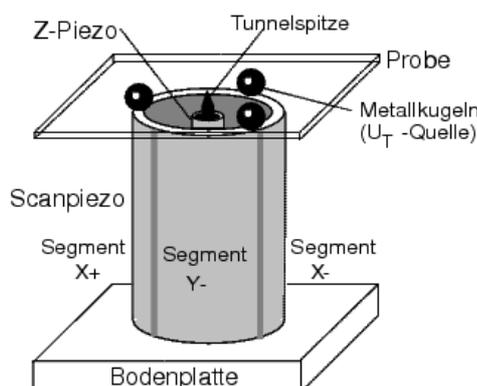


Abbildung 3.1: Versuchsaufbau

3.2 Versuchsvorbereitung

Zuerst muss eine Spitze präpariert werden. Dazu wird ein Platiniridiumdraht mit einer Kneifzange mit schräger Schnittfläche durchgeschnitten. Indem man dabei den Draht dreht und zieht werden gute Spitzen erreicht. Durch vorsichtiges Biegen mit der Pinzette kann die Spitze in ihre Metallhalterung eingeklemmt werden. Dabei darf das Metallröhrchen niemals im Inneren des Piezo verschwinden, da sonst der Grobtrieb zerstört wird und kostspielige Reparaturen notwendig sind. Dann wird die Probe vorsichtig mit der Pinzette auf die drei Kugeln des Außenscanners gesetzt. Das Rastertunnelmikroskop wird über einen PC angesteuert. Die Software läuft unter Windows 3.11. Zunächst erfolgt die Grobannäherung. Dazu wird die Option „Tip up“ aktiviert und den Motor angeschaltet. Der Praktikant beobachtet dabei die Annäherung der Spitze an die Probe. Ist nur noch ein kleiner Zwischenraum sichtbar, wird der Motor abgestellt und die Option „Tip middle“ eingestellt. Zum Schutz vor Vibrationen wird das Mikroskop nun mit einem Metallwürfel verschlossen. Zur weiteren geregelten Annäherung an die Probe wird bei der Einstellung „Tip middle“ der Motor in Betrieb genommen. Im Oszilloskop kann die z-Rampe beobachtet werden. Hat sich eine konstante Spannung U_z

zwischen 5 und 15 V eingestellt, ist ein stabiler Tunnelkontakt vorhanden. Nun kann mit der Bildaufnahme begonnen werden. Das verwendete Rasterpiezo rastert dazu eine einstellbare Anzahl von diskreten Punkten (Pixel), die immer den maximalsten Wert von 255 annehmen sollte, ab. Dabei nimmt das RTM zunächst Werte entlang der x-Achse auf und kehrt dann ohne Bildpunkte aufzunehmen an den Zeilenanfang zurück. Nach einem Schritt in y-Richtung nimmt es erneut eine Zeile auf.

4 Gold Oberfläche

Gold besitzt eine raue Oberflächenstruktur. Deshalb eignet sich die Untersuchung dieser Probe ideal, um die Eigenschaften des PID-Reglers kennenzulernen. Dazu betrachtet man eine Stufe oder einen Graben und nimmt Bilder zu unterschiedlichen Scangeschwindigkeiten und Bandbreiten (bandwith) auf. Die Bandbreite bestimmt die Regelgeschwindigkeit und mittels der Option „Delay“ kann die Scanbewegung verzögert werden. Sie bestimmt damit die Aufnahmezeit des Bildes. Im Control-Desk können diese Parameter variiert werden. Das Control-Desk besitzt aber noch weitere Optionen: die Anzahl der Pixel des gerasterten Ausschnitts, die Signalabschwächung XY, womit man den Bildausschnitt vergrößern oder verkleinern kann, den Tunnelstrom, die Tunnelspannung und ein Offset, um den Bildausschnitt zu wählen. Die Option Differ hebt Höhenunterschiede deutlicher heraus und sollte vom Praktikanten nicht genutzt werden, da hierbei die Rohdaten verloren gehen.

Zur Aufnahme der Bilder wird der Konstant-Strom-Modus (CCT-Modus) verwendet. Ziel dieses Versuchs ist die optimalen Einstellungen für Scangeschwindigkeit und Bandweite zu finden. Hierzu erfolgen mehrere Aufnahmen, die miteinander verglichen werden. Zum Konvertieren der Bilder wird das Bearbeitungsprogramm WSxM benutzt. Die eingestellten Parameter der einzelnen Bilder sind in Tabelle 4.1 angegeben

Bildnr.	Bild	Strom	Pixel	Amp_Z	XY	Bandbreite	I_t	U_t	Delay	Differ
1a)	Gold		252	255	255	90	95	1	20	0
1b)	Gold	X	252	255	255	90	95	1	20	0
2a)	Gold		252	255	255	90	95	1	25	0
2b)	Gold	X	252	255	255	90	95	1	25	0
3a)	Gold		252	255	255	90	95	1	30	0
3b)	Gold	X	252	255	255	90	95	1	30	0
4a)	Gold		252	255	255	30	95	1	25	0
4b)	Gold	X	252	255	255	30	95	1	25	0
5a)	Gold		252	255	255	60	95	1	25	0
5b)	Gold	X	252	255	255	60	95	1	25	0
6a)	Gold		252	255	255	90	95	1	25	0
6b)	Gold	X	252	255	255	90	95	1	25	0

Tabelle 4.1: Messparameter der durchgeführten Messungen

Die folgenden Bilder sind mit verschiedenen Scangeschwindigkeiten aufgenommen. Dabei nimmt die Scangeschwindigkeit von oben nach unten ab. Gezeigt werden immer paarweise, mit a) gekennzeichnet, das Höhenprofil der Oberfläche und der mit b) gekennzeichnete Tunnelstrom. Da im CCT-Modus gemessen wird ist das Höhenprofil umso besser wiedergegeben, je weniger der Tunnelstrom vom Ort abhängt.

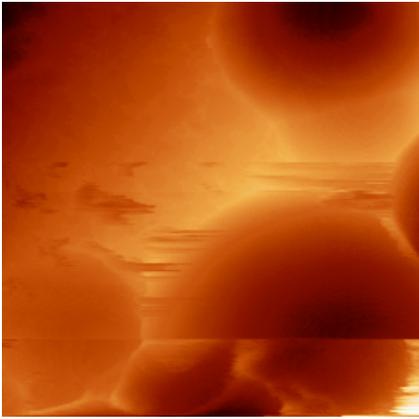


Abbildung 4.1: Goldaufnahme 1a)

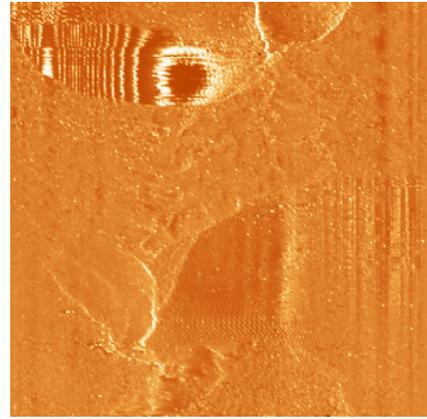


Abbildung 4.2: Goldaufnahme 1b)

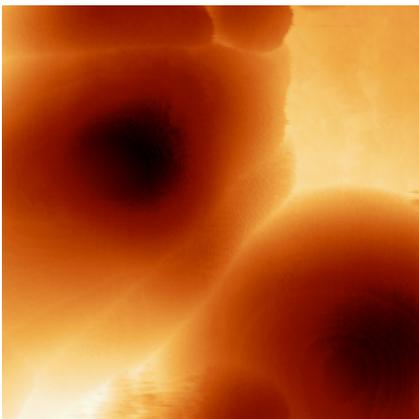


Abbildung 4.3: Goldaufnahme 2a)

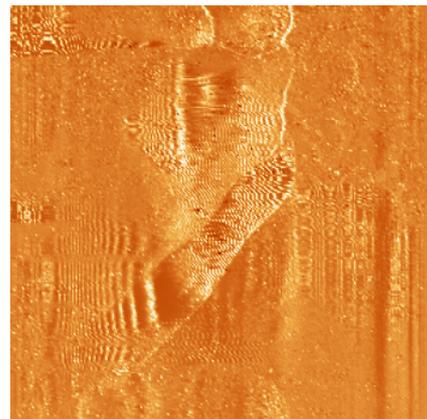


Abbildung 4.4: Goldaufnahme 2b)

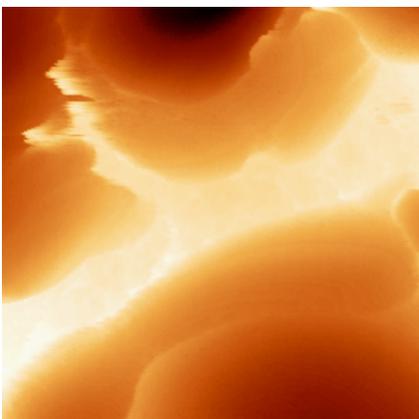


Abbildung 4.5: Goldaufnahme 3a)

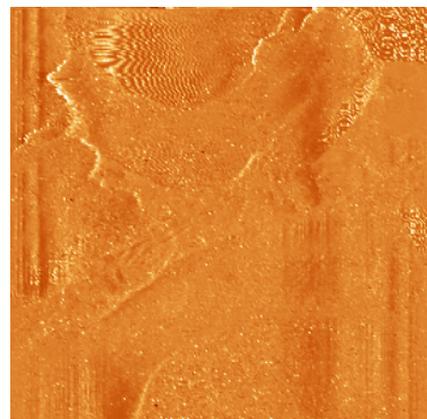


Abbildung 4.6: Goldaufnahme 3b)

Fährt die Tunnelspitze langsam über die Probe ist die Reaktionszeit des Reglers, sprich die Regelzeit, hoch. Mit steigenden Delaywerten wird die Scangeschwindigkeit erniedrigt und die Regelzeit somit erhöht. Die Bandbreite verhält sich umgekehrt proportional zur Regelzeit. Bei zu großer Bandbreite kann es zu Schwingungen des Rasterpiezos kommen, deren Resonanzfrequenz bei 2kHz liegt. Diese Schwingungen sind deutlich in Abbildung 4.1 zu erkennen und werden deutlich geringer mit steigenden Delaywerten, d.h. mit kleineren Scangeschwindigkeit, was eine Erniedrigung der Bandbreite bewirkt.

Bei konstantem Delaywert wird nun die Bandbreite variiert. Die Bandbreite nimmt von oben nach unten zu.

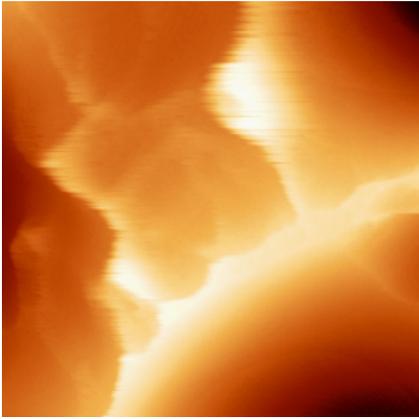


Abbildung 4.7: Goldaufnahme 4a)

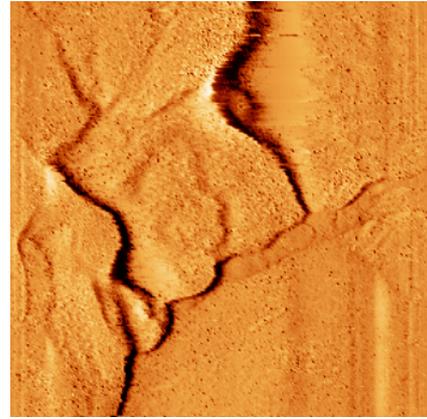


Abbildung 4.8: Goldaufnahme 4b)

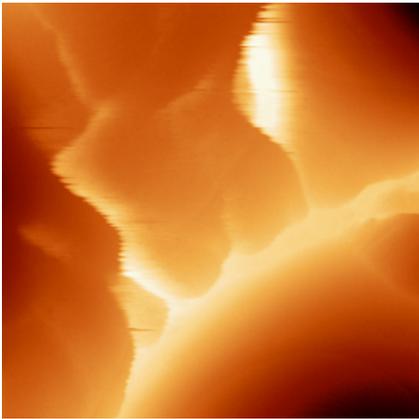


Abbildung 4.9: Goldaufnahme 5a)



Abbildung 4.10: Goldaufnahme 5b)

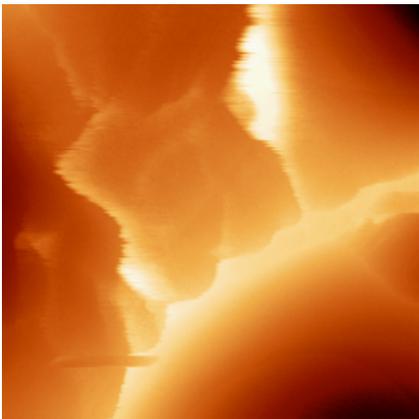


Abbildung 4.11: Goldaufnahme 6a)

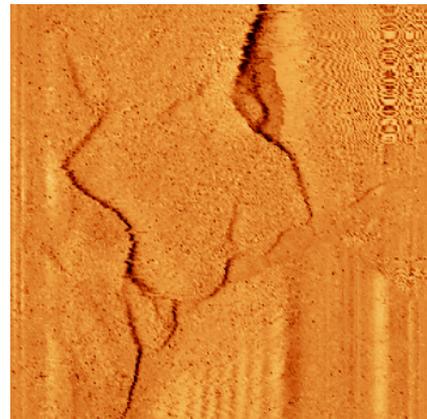


Abbildung 4.12: Goldaufnahme 6b)

Die Erhöhung der Bandbreite führt zu zwei Effekten. Natürlich werden durch die Vergrößerung der Bandbreite die Schwingungen des Rasterpiezos begünstigt. So sind in Abbildung 4.7 keine Schwingungen vorhanden und nehmen mit Erhöhung der Bandbreite zu. Eine kleine Bandbreite führt aber auch zu einer großen Regelzeit, wodurch der Regler an Empfindlichkeit verliert. Dies ist deutlich an der Schlierenbildung im Höhen- wie im Strombild in den Abbildungen 4.7 und 4.8 zu sehen. Aus diesem Grund muss ein Kompromis zwischen diesen beiden negativen Einflüssen auf die Bildqualität eingegangen werden. Die optimale Bildqualität ergibt sich somit für die mittleren Bandbreite von 60, da hier keiner der Einflüsse zu stark ausgeprägt ist.

5 Graphit

In diesem Versuchsteil sollen die Piezokonstanten in x- und y- Richtung mittels der bekannten Gitterkonstanten $g = 1,415\text{\AA}$ von Graphit bestimmt werden. Dazu müssen die Einstellungen im Control-Desk so gewählt werden, dass die Graphitatomer bestmöglich durch das RTM abgebildet werden. Durch elektronische Eigenschaften des Graphitkristalls, werden nur die drei Atome des Hexagons vom RTM abgebildet unter denen sich ein weiteres Atom befindet. Das bienenwabige Sechseck kann also nicht direkt beobachtet werden. Die von uns als bestmöglich empfundenen Einstellungen sind in Tabelle 5.1 aufgelistet.

Bildnummer	Bild	Strom	Pixel	Amp Z	XY	Bandbreite	I_T	U_T	Delay
7	Graphit	X	252	4	4	5	95	0,36	5

Tabelle 5.1: Graphit Messwerte

Mit diesen Einstellungen wurde von uns folgendes Bild aufgenommen. Die hellen Punkte entsprechen den Graphitatomern.

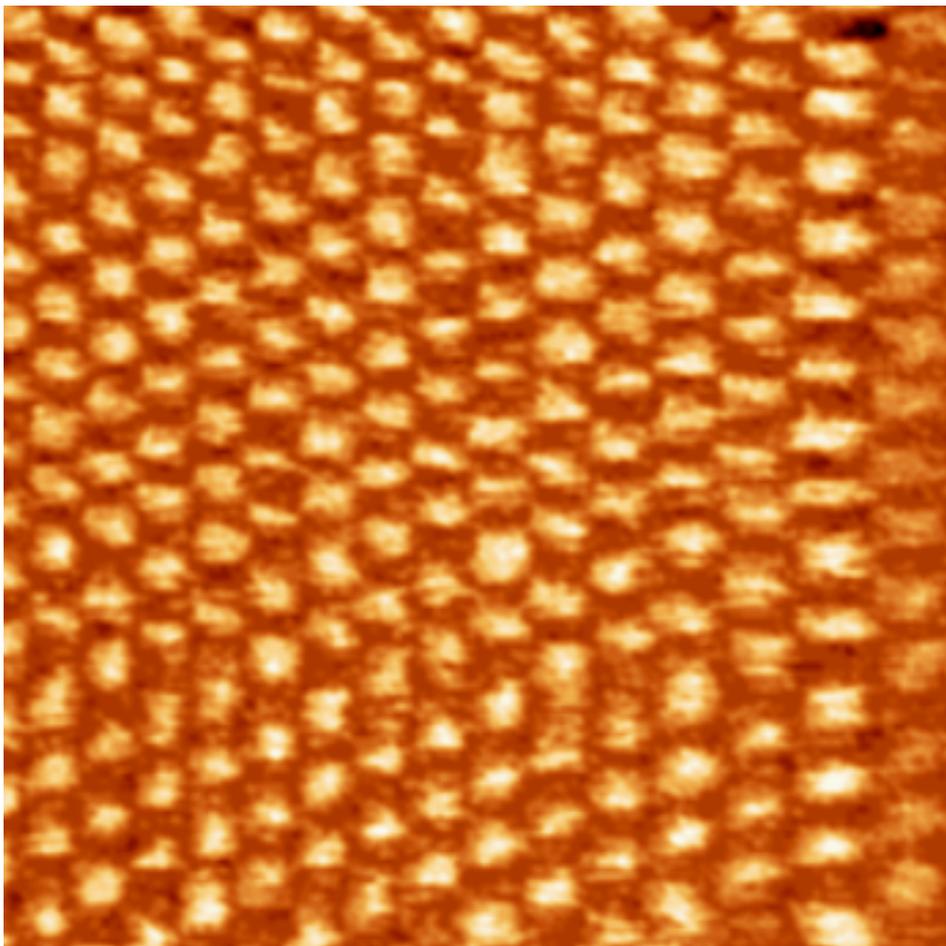


Abbildung 5.1: RTM-Bild

Unser Vorgehen zur Bestimmung der Piezokonstanten aus dieser Aufnahme soll zunächst schematisch erklärt werden.

Unsere RTM-Aufnahme entspricht der Abbildung 5.2. Die Punkte stellen dabei die messbaren Graphitatomme dar. Durch diese Punkte kann die bienenwabige Kristallstruktur nachvollzogen werden. Dies ist in Abbildung 5.3 dargestellt. Zur Bestimmung der Piezokonstanten dient die in Abbildung 5.4 gezeigte Hilfsstruktur. Dazu werden die sich gegenüberliegenden sichtbaren Atome miteinander verbunden. Auf diese Weise erhält man drei Linien, deren Schnittpunkte aufgrund der Gittersymmetrie gleichseitige Dreiecke der Länge $A = \sqrt{3}g = 2,45\text{\AA}$ bilden.

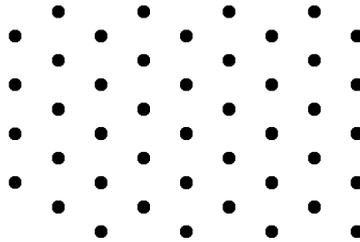


Abbildung 5.2: Atomaufnahme

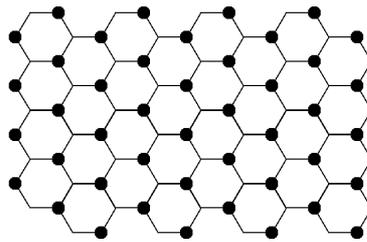


Abbildung 5.3: Kristallstruktur

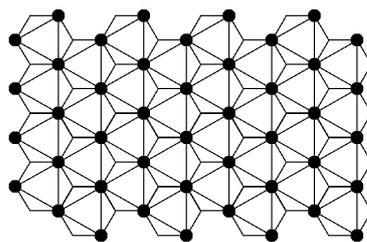


Abbildung 5.4: Hilfsstruktur

Diese Täler sind ein geeignetes Maß zur Längenbestimmung in \AA , denn ein Tal in der RTM-Aufnahme entlang dieser Linien entspricht gerade $2,45\text{\AA}$. Um nun die Piezokonstanten zu bestimmen bildet man ein Dreieck, wobei die zwei Seiten a und b genau auf zwei der Linien liegen und die dritte Seite c parallel zur x - bzw. y -Achse liegt. Die Seitenlängen a und b können durch Abzählen der Täler bestimmt werden. Durch den Kosinussatz kann die Seitenlänge c des Dreiecks bestimmt werden.

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos(\gamma)}$$

Dabei ist, wie aus Abbildung 5.4 ersichtlich, $\gamma = 120^\circ$. Der Seitenlänge c entsprechen dann 252 Pixel. Dieses Vorgehen ist schematisch für die x -Richtung in Abbildung 5.5 und für die

y-Richtung in Abbildung 5.6 gezeigt. Allerdings sind Ablesefehler sind bei diesem Verfahren nicht zu vermeiden, da die Strecke c nicht unbedingt stets parallel zur x oder y -Achse liegen muss, was in Abbildung 5.6 zu erkennen ist. Dieser systematische Fehler aufgrund des gewählten Auswertungsverfahrens wird zu einer halben Lochbreite A pro Strecke abgeschätzt.

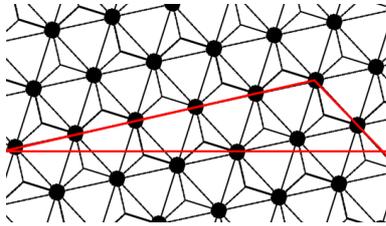


Abbildung 5.5: Schematische Kantenlängenbestimmung in x -Richtung

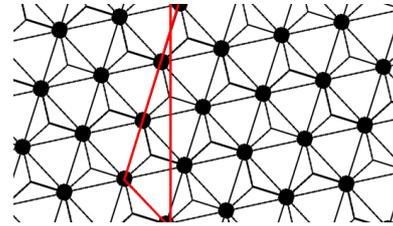


Abbildung 5.6: Schematische Kantenlängenbestimmung in y -Richtung

Auf gleiche Weise verfährt man mit der RTM-Aufnahme, wie in den Abbildungen 5.7 und 5.8 ersichtlich. Durch unterschiedliche Skalierungen in x - und y Richtung wird der Winkel γ verzerrt und beträgt $122,06^\circ$ statt 120° . Zur Berechnung von c wird der Wert $\gamma = 120^\circ$ verwendet, da dieser der Gitterstruktur entspricht. Zufälligerweise fällt eine der drei Linien in unserer Aufnahme sofort mit der y -Achse zusammen, so dass hier die Täler sofort abgelesen werden können.

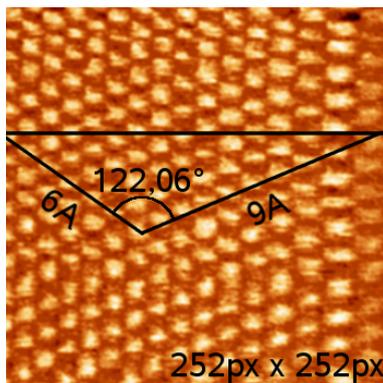


Abbildung 5.7: Kantenlängenbestimmung in x -Richtung

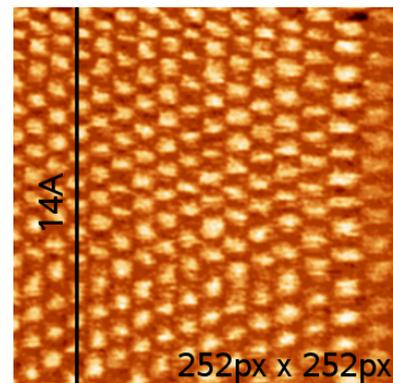


Abbildung 5.8: Kantenlängenbestimmung in y -Richtung

Die Strecken x bzw. y ergeben sich hiermit mit zugehörigen Fehlern zu $x = (55,49 \pm 1,00) \text{ \AA}$ und $y = (59,41 \pm 2,12) \text{ \AA}$. Dazu wird auf die Strecken a , b jeweils ein Fehler von $0,5 \text{ \AA}$ und der Winkel γ als fehlerlos betrachtet.

x in \AA	y in \AA	σ_x in \AA	σ_y in \AA
55,49	59,41	1,0035	2,12

Tabelle 5.2: Auflösung

Die Piezokonstanten k_x bzw. k_y ergeben sich gemäß der Gleichungen :

$$k_x = \frac{x}{\Delta U} = \frac{x}{\frac{34V \text{PixelanzahlXY}}{256 \cdot 255}} \quad (3)$$

bzw.

$$k_y = \frac{y}{\Delta U} = \frac{y}{\frac{34V \cdot \text{PixelanzahlXY}}{256 \cdot 255}} \quad (4)$$

Damit wurden die Piezokonstanten k_x, k_y zu $k_x = (105,70 \pm 1,91) \frac{\text{Å}}{\text{V}}$ und $k_y = (113,16 \pm 4,04) \frac{\text{Å}}{\text{V}}$ ermittelt. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 2 nochmals übersichtlich wiedergegeben.

Pixelanzahl	XY	ΔU in V	k_x in $\frac{\text{Å}}{\text{V}}$	k_y	σ_{k_x} in $\frac{\text{Å}}{\text{V}}$	σ_{k_y} in $\frac{\text{Å}}{\text{V}}$
252	4	0,53	105,7	113,16	1,91	4,04

Tabelle 5.3: Piezokonstanten

6 Cobaltbuffer- und Multilayer

Zum Abschluß wird noch die Oberflächenbeschaffenheit der in Versuch 2.10 hergestellten Dünnschichtsysteme, der Cobaltbufferlayer und der Cobalt/Platin -Multilayer, analysiert. Es wird hierzu der Konstant-Strom-Modus verwendet. Die verwendeten Einstellungen mit welchen eine optimale Bildqualität erreicht wurde sind in der Tabelle 6.1 zusammengefasst.

Bildnummer	Bild	I_T	Pixel	Amp Z	XY	Bandbreite	I.t	U_t	Delay
8a)	Kobalt		252	100	255	85	95	-1,02	25
8b)	Kobalt	X	252	100	255	85	95	-1,02	25
9a)	Multilayer		252	100	255	85	95	-1,02	25
9b)	Multilayer	X	252	100	255	85	95	-1,02	25

Tabelle 6.1: Graphit Messwerte

Mit diesen Einstellungen wurde folgende Oberflächenstrukturen aufgenommen. Gezeigt werden immer paarweise mit a) gekennzeichnet das Höhenprofil der Oberfläche und der mit b) gekennzeichnete aufgenommene Tunnelstrom. Die Oberfläche ist umso besser wiedergegeben desto weniger der Tunnelstrom vom Ort abhängt.

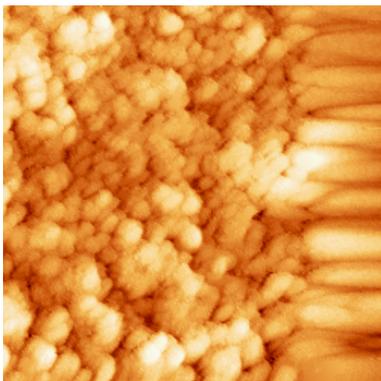


Abbildung 6.1: Kobalt- Höhenprofil

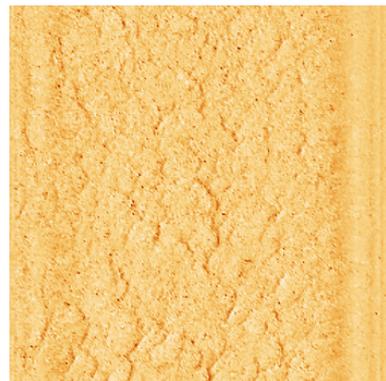


Abbildung 6.2: Kobalt- Stromprofil

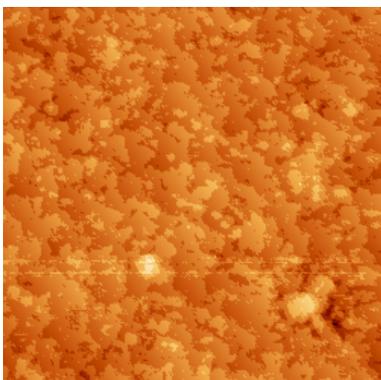


Abbildung 6.3: Multilayer-Höhenprofil



Abbildung 6.4: Multilayer-Stromprofil

Hell sind die Erhebungen und die Täler sind dunkel hervorgehoben. Deutlich ist zu erkennen, im Höhenbild wie auch im Stromprofil, dass die Oberfläche des Multilayers sehr glatt und die des Cobaltbufferlayers sehr strukturiert ist. Die ungefähr 30 nm dicke Kobaltschicht entstand folglich durch Inselwachstum und der Multilayer entstand durch Schichtwachstum. Im Inselwachstum bilden die Atome Cluster, die bevor sie eine Ebene vollständig füllen, eine neue beginnen. Die so entstehenden Inseln wachsen dann zu einem Kristall zusammen. Im Schichtwachstum wird eine Ebene zuerst völlig gefüllt, bevor eine neue begonnen wird. Durch Schichtwachstum werden also äußerst glatte Oberflächen erreicht. Je glatter die Oberflächen sind, desto größer ist der Beitrag der Grenzflächenanisotropie, die die gewünschte out-of-plane Magnetisierungsrichtung hervorruft. Eine Maximierung der Grenzflächenanisotropie begünstigt also die Ausrichtung der magnetischen Momente senkrecht zur Oberfläche. Weiterhin eine interessante Tatsache ist in der Kobaltaufnahme zu beobachten. Am rechten Bildrand ist das Bild verschmiert. Am Anfang der Messung zieht die Tunnelspitze wahrscheinlich ein Fremdatom an, welches sie einige Zeit mit sich führt. Im Laufe des Rasterprozesses fällt es jedoch wieder von der Spitze ab. Dieser Effekt ist nur am rechten Bildrand beobachtbar, weil wie weiter oben erläutert nur auf dem Hinweg von rechts nach links Messdaten vom RTM erfasst werden.