

Rastertunnelmikroskop

Cedric Riedel

Physikalisches Proseminar, 17.05.2023

- 1 Hintergrund
- 2 Funktionsweisen
- 3 Anwendungen
- 4 Quellen

Historischer Hintergrund

- 1933: erstes Elektronenmikroskop von Ernst Ruska
- 1981: RTM bzw. STM (scanning tunneling microscope) von Heinrich Rohrer und Gerd Binnig
- 1986 Nobelpreis
- Grundbaustein für mittlerweile viele verschiedene Rastersondenmikroskope



Abbildung: Ernst
Ruska



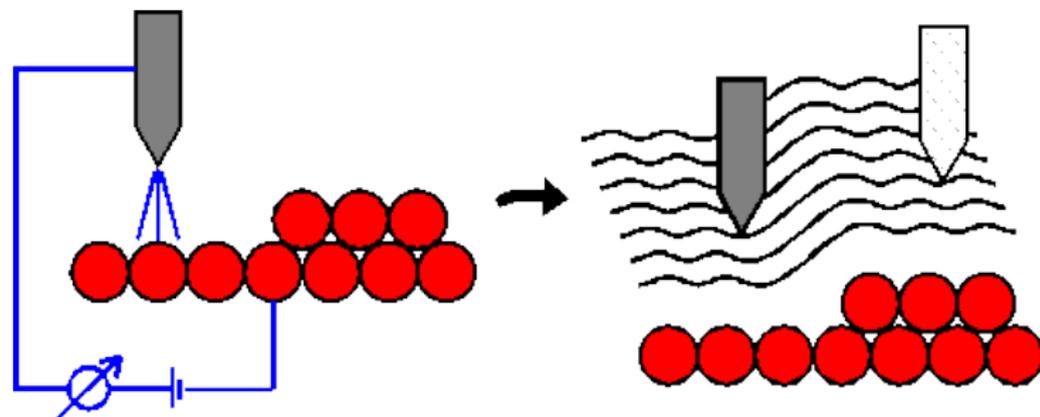
Abbildung: Gerd
Binnig



Abbildung: Heinrich
Rohrer

Was ist das Rastertunnelmikroskop?

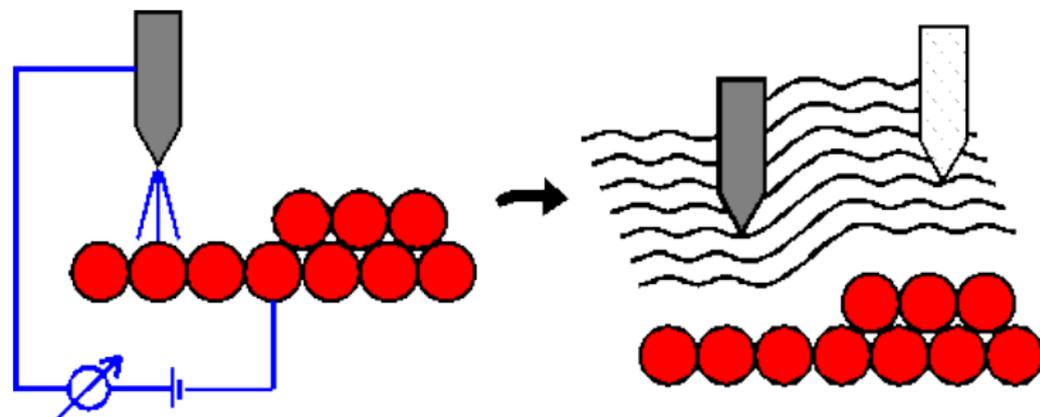
Vereinfachte Darstellung



- Spannung an Mikroskopspitze & Probe

Was ist das Rastertunnelmikroskop?

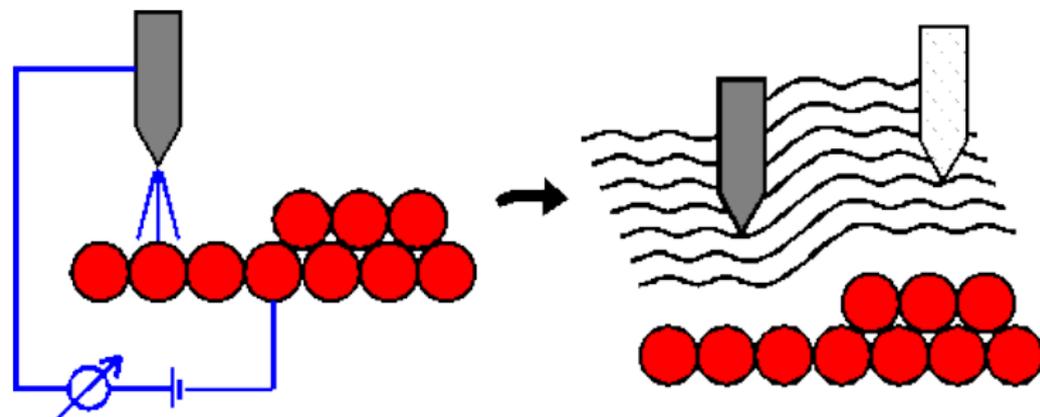
Vereinfachte Darstellung



- Spannung an Mikroskopspitze & Probe
- Raster werden abgefahren und Höhenunterschiede gemessen

Was ist das Rastertunnelmikroskop?

Vereinfachte Darstellung

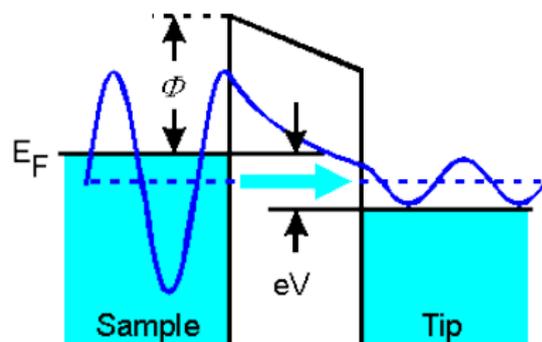


- Spannung an Mikroskopspitze & Probe
- Raster werden abgefahren und Höhenunterschiede gemessen
- Distanzen im Å Bereich

Hintergrund

Quantenmechanischer Tunneleffekt

- Quantenmechanische Betrachtung ergibt:
- $\Psi(d) = \Psi(0)e^{-\kappa d}$
mit $\kappa = \frac{\sqrt{2m(\Phi-E)}}{\hbar}$
- für $eV \ll \Phi$
(angelegte Spannung)



- Vereinfacht dargestellt: Strom \propto Tunnelwahrscheinlichkeit:

- Vereinfacht dargestellt: Strom \propto Tunnelwahrscheinlichkeit:
- **Bardeen Approach:**
Wahrscheinlichkeit $w = \frac{2\pi}{\hbar} |M|^2 \delta(E_\Psi - E_\chi)$

- Vereinfacht dargestellt: Strom \propto Tunnelwahrscheinlichkeit:
- **Bardeen Approach:**
Wahrscheinlichkeit $w = \frac{2\pi}{\hbar} |M|^2 \delta(E_\psi - E_\chi)$
- Tunnel nur wenn $E_\psi - E_\chi = 0$

- Vereinfacht dargestellt: Strom \propto Tunnelwahrscheinlichkeit:
- **Bardeen Approach:**
Wahrscheinlichkeit $w = \frac{2\pi}{\hbar} |M|^2 \delta(E_\psi - E_\chi)$
- Tunnel nur wenn $E_\psi - E_\chi = 0$
- $(I = \frac{4\pi e}{\hbar} \int_0^{eV} \rho_{sa}(E_F - eV + \epsilon) \rho_{tip}(E_F + \epsilon) |M|^2 d\epsilon)$

Hintergrund

Bilder von SiC Aufnahmen

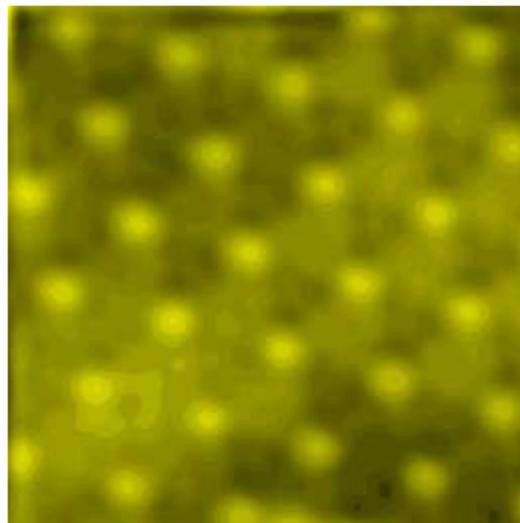
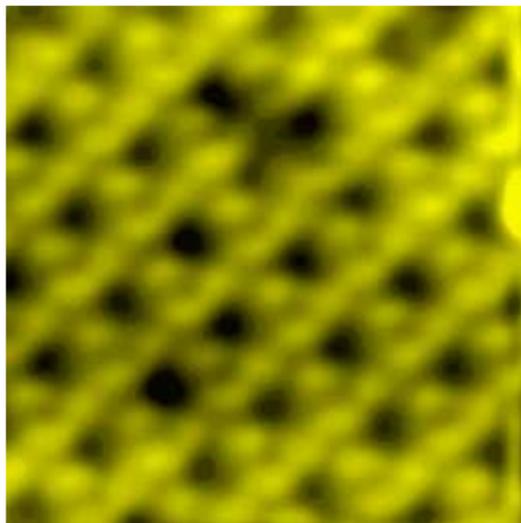


Abbildung: Bilder von SiC(0001) bei unterschiedlicher Spannung eV

Funktionsweisen

Modus konstanter Höhe

- Bewegung ohne Nachregulation der Spitze
- Hohe Abtastungsrate
- Vorteilhaft; thermisch induzierte Mobilität

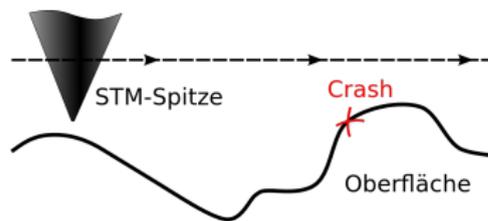


Abbildung: Graphische Darstellung

- Konstante Höhenänderung
- 3D Bild der Oberfläche
- Allerdings Bildkontrast \neq Atomare Struktur
- \Rightarrow also Messung der elektronischen Struktur

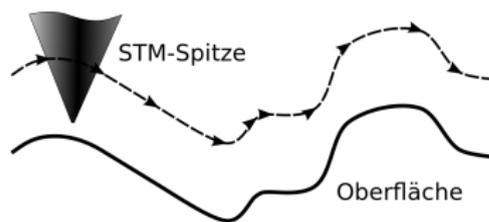


Abbildung: Graphische Darstellung

- Überlagerung der Tunnelspannung mit hochfrequenter Wechselspannung (Graphisches Beispiel)
- Strom nach Spannung ergibt die Zustandsdichte
- (Zur Messung von Diffusionsprozessen auch Video-Spektroskopie)

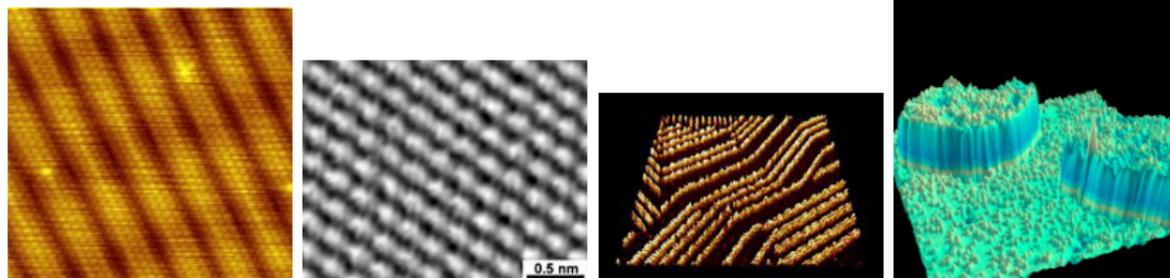


Abbildung: Beispielaufnahmen

Es gibt 2 Methoden der Manipulation:

- **Lokales Erhitzen:**
(kovalente Bindungen bevorzugt)
- Elektronen regen Schwingungsmoden an
- Akkumulation der Energie löst Bindung
- **Potentialänderung:**
- Potential wird durch Tunnelspannung beeinflusst
- Durch Potentialänderung „vertikale Manipulation“
- „Anheben“ eines Objektes von der Probe

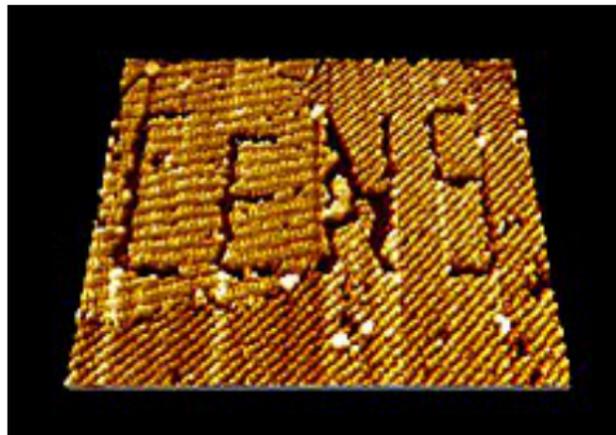


Abbildung: so g. atomares Schreiben

- Nur leitende Materialien
(andere Stoffe möglich durch Beschichtung)
- Spitze-Probe Abstand muss sehr genau einstellbar sein
=> Isolation nötig (vorallem Vibration störend)
- Piezoelektrische Materialien neigen zu Kriechen und Hysterese
sowie Temperaturdrift (Im Prinzip veränderung der Wirkung)

Seit der Erfindung ist viel passiert!

- Explosionsartige Entwicklung Nanowissenschaften und -technologie

Seit der Erfindung ist viel passiert!

- Explosionsartige Entwicklung Nanowissenschaften und -technologie
- Nanoelektronik (Nanocomputer)

Seit der Erfindung ist viel passiert!

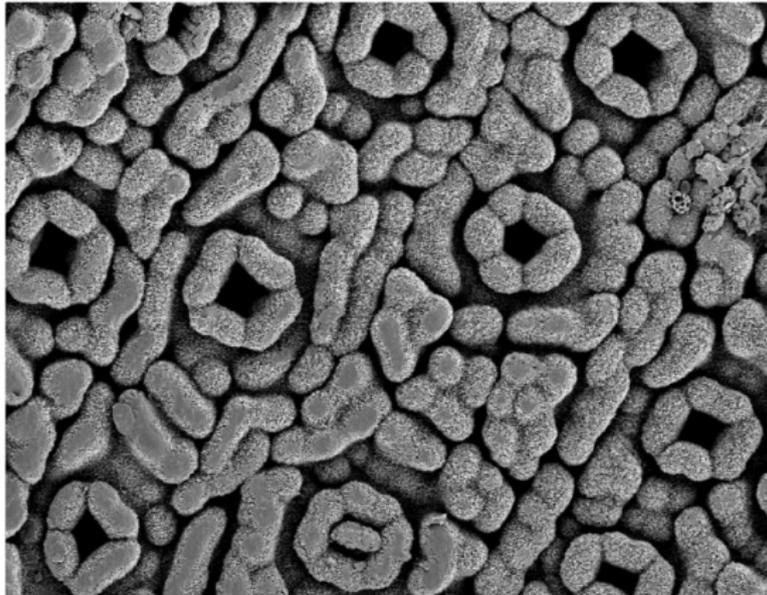
- Explosionsartige Entwicklung Nanowissenschaften und -technologie
- Nanoelektronik (Nanocomputer)
- Nanomaterialien (Schadstoffbeseitigung, Kosmetik, Lebensmittel)

Seit der Erfindung ist viel passiert!

- Explosionsartige Entwicklung Nanowissenschaften und -technologie
- Nanoelektronik (Nanocomputer)
- Nanomaterialien (Schadstoffbeseitigung, Kosmetik, Lebensmittel)
- Nanomedizin bzw. -biologie (Medikamentbeschichtung)

Seit der Erfindung ist viel passiert!

- Explosionsartige Entwicklung Nanowissenschaften und -technologie
- Nanoelektronik (Nanocomputer)
- Nanomaterialien (Schadstoffbeseitigung, Kosmetik, Lebensmittel)
- Nanomedizin bzw. -biologie (Medikamentbeschichtung)
- (Umwelttechnischer Nutzen (Allerdings mit Gefahren behaftet))



Eibennadel Botanischer Garten

70 μm

Abbildung: Zellen einer Eibennadel

- Annahme 6-zähliger Symmetrie wurde widerlegt (tatsächlich 3-zählig)
- (Komplette Auflösung wurde später mit „high resolution transmission electron microscopy“ erzieht)

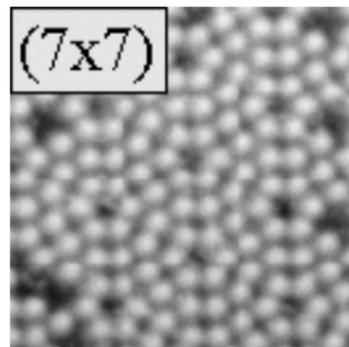


Abbildung: Si(111) 7x7

- Erkenntnis über aperiodisches Verhalten
- => Herringbone Struktur
- Empfindlich für Defekte wie Stufenkanten

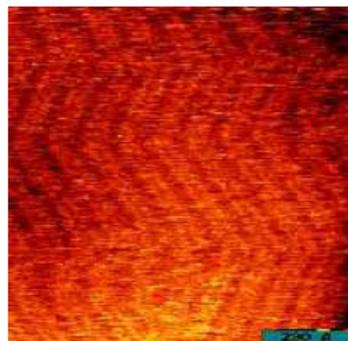


Abbildung: Gold mit Herringbone Struktur

Anwendung

Atombewegungen

- Einzelnes Atom kann beobachtet werden
- Sogar Wellenfunktionen sind abbildbar!
- In der Abbildung erkennt man ein(!) Elektron

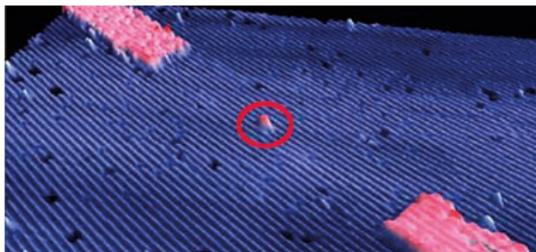


Abbildung: Einzelnes Atom in Bewegung

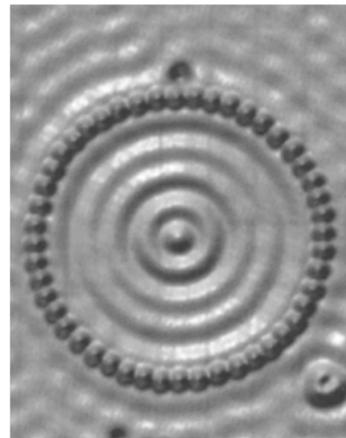


Abbildung:
Wellenfunktion Atome im Kreis

Anwendung

Konstruktion Wellenfunktion

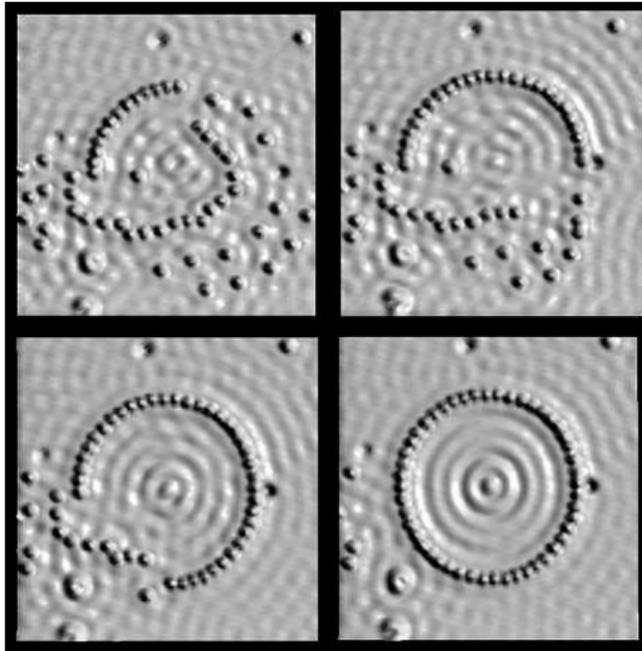


Abbildung: Erstellung der Messung

Archive fkp (Link 6 Proseminar)
Uni Frankfurt Bio
Wiki RTM Abbildungsfehler
Wiki scanning tunneling microscope
Nobelpreise
Uni Wien einzelnes Atom
Uni Kiel