Vorlesung 7



Beugungsmethoden



Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

3. Methoden der Oberflächenphysik

. . . .

Übersicht über Kapitel 3

- 3. Methoden der Oberflächenphysik
- 3.1 Kristallpräparation
- 3.2 Chemische Oberflächenanalyse

3.3 Beugungsmethoden

- 3.4 Frühe Realraumabbildung
- 3.5 Transmissionselektronenmikroskopie
- 3.6 Rasterelektronenmikroskopie
- 3.7 Rastertunnelmikroskopie
- 3.8 Rasterkraftmikroskopie



Lernziele

- Beugungsgitteranalyse mittels LEED
- Verständnis von RHEED, TEAS und LEED-IV





Photoelektronenbeugung

Röntgenabsorptionfeinstruktur



LEED



Die de Broglie Wellenlänge





Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

Typische Reichweite von Elektronen in Festkörpern



• Inelastische Streuung verhindert weiteres Eindringen



Henzler, S. 100













2D-Oberfläche: Im k-Raum ist die z-Richtung zu Stäben ausgedehnt





11

Karlsruhe Institute of Technolog

Beugung niederenergietischer Elektronen (LEED)



ightarrow Wir sehen direkt den reziproken Raum der Oberfläche

Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

SS 2022 13







14

Pb sqrt-3xsqrt3 LEED Pattern



https://www.youtube.com/sh orts/CTW9kBTTQgc

Low Energy Electron Diffraction of clean Ni(111)



https://www.youtube.com/watc h?v=Hd48rn39Bnk







Beispiel: Wachstum von Graphen auf SiC



Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

SS 2022 17



https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/43/37/374009 /pdf

Erinnerung: LEED mittelt über unterschiedliche Bildbereiche





Review von Vorlesung 2 und 3

Überstrukturen im reziproken Raum



Fig.1.7. Diffraction pattern of two domains of a (1×2) superlattice and a $c(2\times 2)$ superlattice on a (100) surface of a cubic material.

Low Energy Electron Diffraction (LEED) pattern einer Si(100) Oberfläche



Stufen auf Si(100)







Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

SS 2022 19

Ibach, S. 38

Beispiel: Sauerstoff auf Nickel



Ni (110) (1x1)





Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

SS 2022 20

http://www.caiciss.co.uk/chapter7.pdf

Beugung niederenergietischer Elektronen (LEED)





Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

http://www.caiciss.co.uk/chapter7.pdf



Cu(001) E= 78 eV







Cu(001) E= 78 eV



SPA LEED (Spot Profile Analysis)Man erhält Informationenüber die genaueBeschaffenheit der Oberfläche



Cu(1,1,13)





Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik" <u>https://www.researchgate.net/publication/306284856_The_role_of_electron_confinement_in_Pd_film</u> s for the oscillatory magnetic anisotropy in an adjacent Co_layer/figures?lo=1

SPA LEED (Spot Profile Analysis)

• Man erhält Informationen über die genaue Beschaffenheit der Oberfläche

Beispiel Stufen und Inseln



Henzler S. 162 und 174

Karlsruhe Institute of Technology

Dimen- sion	Beispiele An	Einfluß auf Reflexprofil		
0	Punktfehler thermische Bewegung statische Unordnung	Anordnung: statistisch korreliert		L Abhängigkeit keine
1	Stufenkanten Domänen (Größe, Grenzen)	statistisch regelmäßig oder	A +	eriodisch (Stufen) eine (Domänen)
2	Überstruktur Facetten			eine veriodisch
3	Volumendefekte (Mosaik, Verspannung)	M	A	nonoton
ideale Oberflächen		1 1	٨	keine

Abb. 3.8.10 Zusammenstellung der Meßmöglichkeit von Defekten mit der Beugung



Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

LEED-IV





LEED-IV

- Benutzt den Strukturfaktor F
- Annahme von Einfachstreuung

Streuvektor

 $\underline{K} = 2 \cdot \underline{k} \cdot \cos \varphi$

Bragg-Bedingung:

$$\underline{K} \cdot \underline{d} = n \cdot 2 \cdot \pi$$



$$V = \frac{M \cdot n^2}{4d^2 \cdot \cos^2 \varphi}$$
(3.7.1)
mit $M = \frac{h^2}{2e \cdot m} = 150 \text{ VÅ}^2 = 1,5 \cdot 10^{-18} \text{ Vm}^2 = 1,5 \text{ Vnm}^2$

Karlsruhe Institute of Technology

Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

SS 2022 27

Henzler, S. 151-152

LEED-IV

 Intensität der Reflexe hängt von der Energie ab, da Elektronen etwas in den Kristall eindringen





- Eindringtiefe **senkrecht** zur Oberfläche beträgt einige Atomlagen
- \rightarrow "schwache" Laue Bedingung in 3D

 \rightarrow Dynamic scattering theory





Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

Dynamic scattering theory

- Durch Berücksichtigung aller Streumöglichkeiten und der korrekten Geometrie, kann die Profilintensität von LEED-IV quantitativ vorausgesagt werden
- Vielfachstreuung und die Abnahme der Amplitude beim Durchgang in tiefere Schichten.





Abb. 3.7.4

Intensität eines Reflexes als Funktionder Beschleunigungsspannung V (schematisch) a) Einfachstes kinematisches Modell

b) Einfachste Berücksichtigung der Vielfach-Streuung (verbotene Zonen)

c) Berücksichtigung von Dämpfung

d) Berücksichtigung von innerem Potential und Phasenverschiebung

e) Berücksichtigung aller Vielfachstreuungen

Abb. 3.7.3 Streuprozesse für die Intensitätsberechnung

- a) Einfachstreuung
- b) Zweifachstreuung in einer Schicht
- c) Mehrfachstreuung



Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

SS 2022 29

Henzler, S. 151-152

Beispiel: 5x1 Rekonstruktion von Ir(001) → Über mehrere Lagen veränderte Struktur











Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

SS 2022 31

https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0953-8984/14/47/310/pdf

Beispiel: 5x1 Rekonstruktion von Ir(001) → Über mehrere Lagen veränderte Struktur



- Abstände können gut quantitativ von LEED-IV vorausgesagt werden.
- Oft sind zusätzliche Informationen wie STM Aufnahmen hilfreich

Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0953-8984/14/47/310/pdf



Reflection High Energy Electron Diffraction (RHEED)



Reflection High Energy Electron Diffraction (RHEED)



Kleine Impulsänderung q trotz hoher Elektronenenergie durch flachen Einfall ٠



35

 streifender Einfall: eine hohe Oberflächenempfindlichkeit bei geringer Eindringtiefe





RHEED-Beugungsbilder von GaAs(110)- Flächen





Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

^{SS 2022} Henzler, S. 138 + 175³⁷

Reflection High Energy Electron Diffraction (RHEED)





Khalil Zakeri-Lori und Philip Willke, Vorlesung "Oberflächenphysik"

https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection highenergy electron diffraction





Henzler

LEED S. 81-82; Beugungsbilder S. 131-159

Fauster

Methoden zur Bestimmung der geometrischen Struktur S. 74-78

