



Platin auf Pt(111)

1560 Å x 1560 Å

Übersicht über Kapitel 4

4. Schichtwachstum

4.1 Homoepitaxie

4.2 Nukleation

4.3 Inseln

4.4 Wachstumsmanipulation

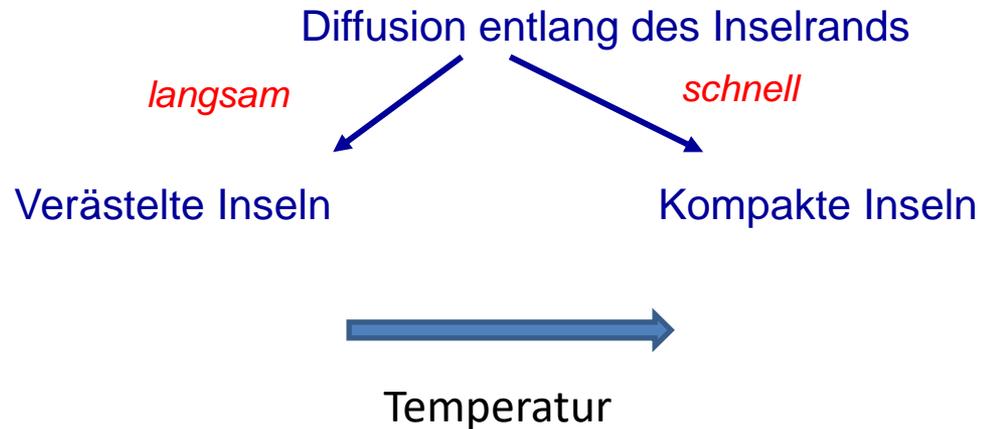
4.5 Heteroepitaxie

Lernziele

- Thermodynamische Betrachtung von Nukleation
- Ratengleichung von Nukleation
- Kritische Keimdichte

Zusätzliche Literatur

- Buch: Michely / Krug: "Islands, Mounds and Atoms",
- Buch : Markov "Crystal Growth for beginners"



Inselformen hängen von dem Verhältnissen der **Diffusionsgeschwindigkeiten** auf der Terrasse und entlang des **Inselrands** ab.

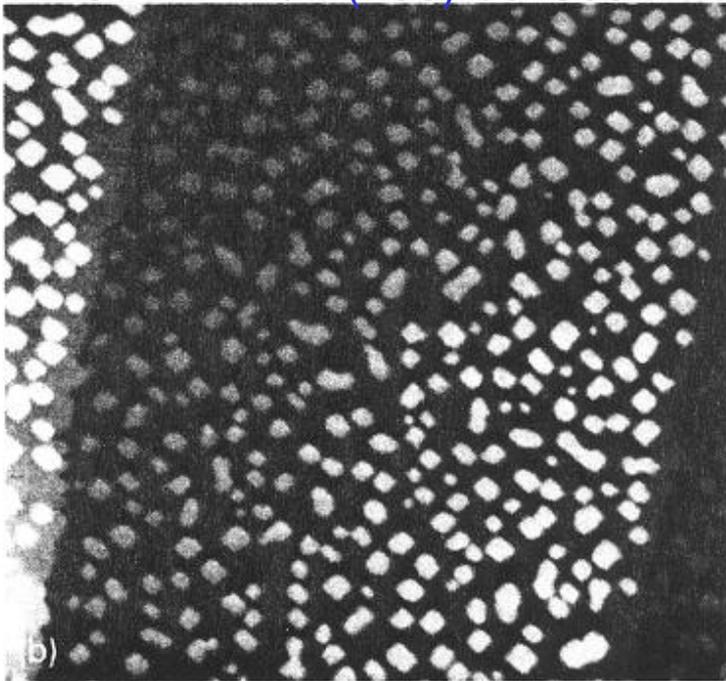
4.3 Inselformen

fcc(100), bcc(100)

z.B. : Cu(100), Ag(100), Fe(100)...

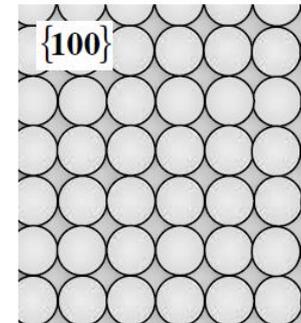
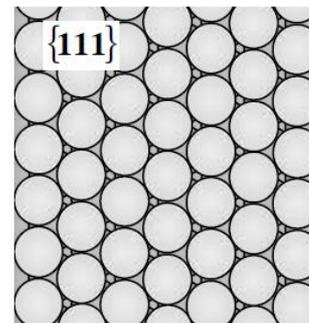
Quadratische Inseln bei allen Temperaturen

0.4 ML Ni/Ni(100) bei 300K



- Diffusion auf der Terrasse ist langsamer als Diffusion entlang der Stufenkante
- Glättung durch Randdiffusion ist schneller als Aufrauhung der Stufe durch anlagernde Adatome

Beispiel: Ag(100): $E_d=490$ meV, $E_{<110>}=260$ meV



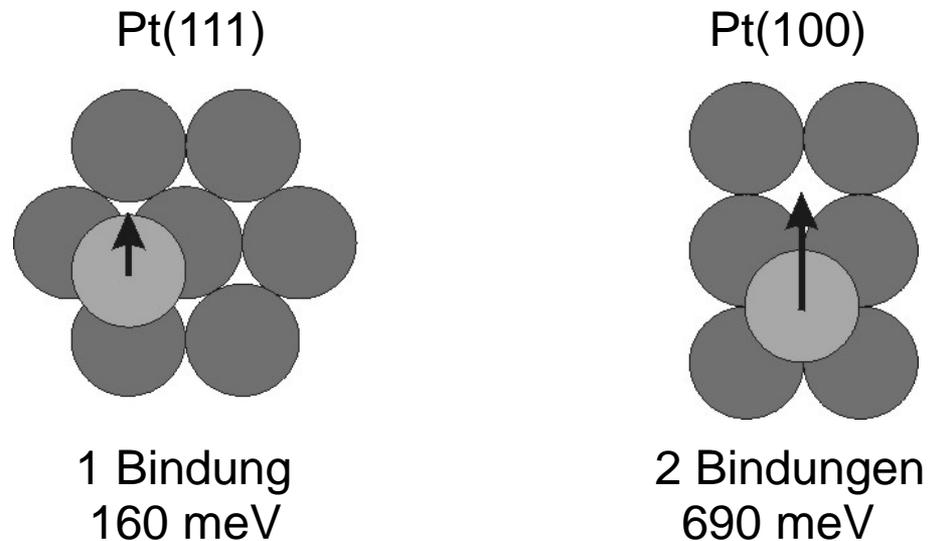
4.1 Homoepitaxie

Wiederholung

Einfache Regeln für die Diffusionsbarrieren

Daumenregel 1: Höhe der Barriere wächst mit der Anzahl von Bindungen, die bei dem Prozess gebrochen werden müssen

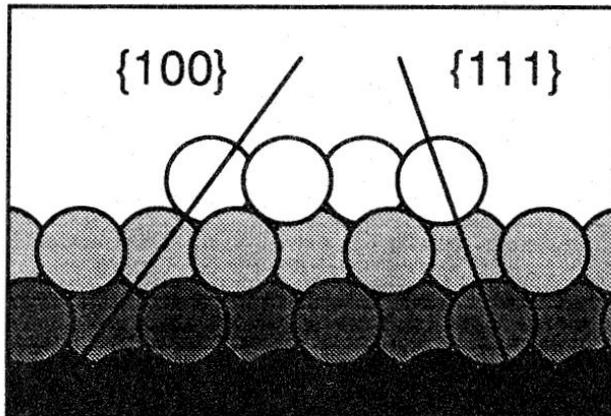
Beispiel Pt



Daumenregel 2: Barrieren skalieren mit der Schmelztemperatur

fcc(111), hcp(0001), bcc(110)

fcc(111)

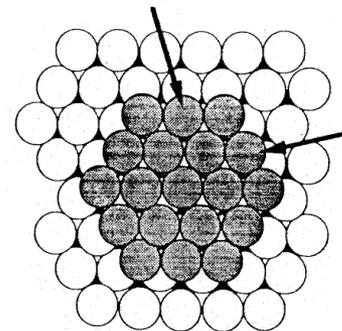
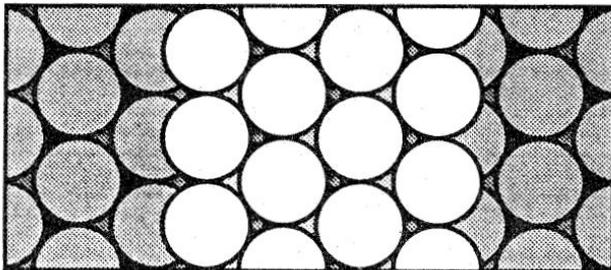


- niedrige Diffusionsbarriere auf der Terrasse
- hohe Barriere für Diffusion entlang der Stufe

Beispiel: Ag(111):

$E_d=60$ meV, $E_{<100>}=220$ meV, $E_{<111>}=300$ meV

- Inselform hängt von der Temperatur ab



4.3 Inselformen

- **Fraktale**
(Diffusion limited Aggregates, DLA)

Hwang et al., Phys. Rev. Lett. 67, 3279 (1991)

Au/Ru(0001)

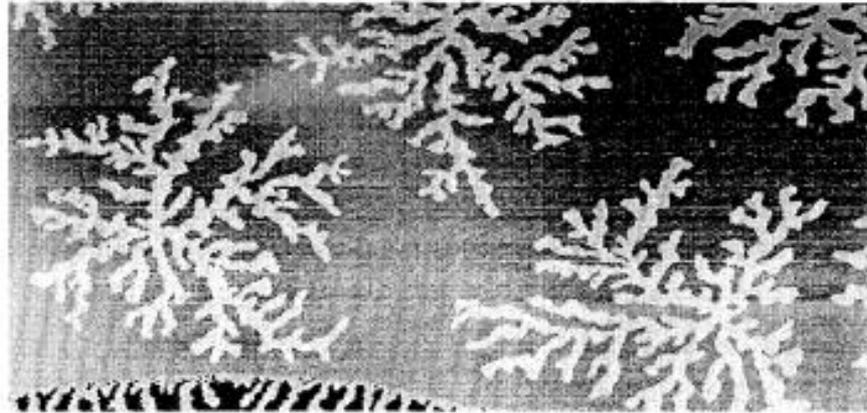
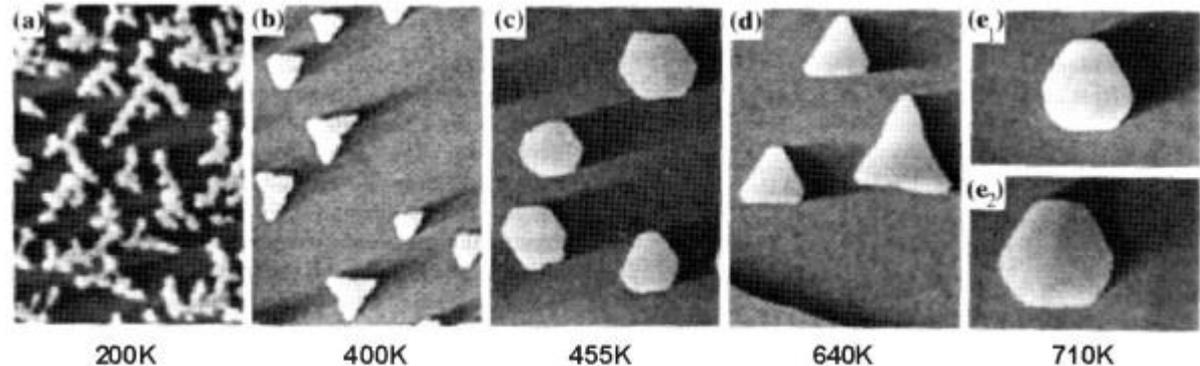


FIG. 3. Image of a film grown at room temperature with a flux of 0.2 ML/min, $\Theta = 0.3$ ML ($1.00 \mu\text{m} \times 0.65 \mu\text{m}$).

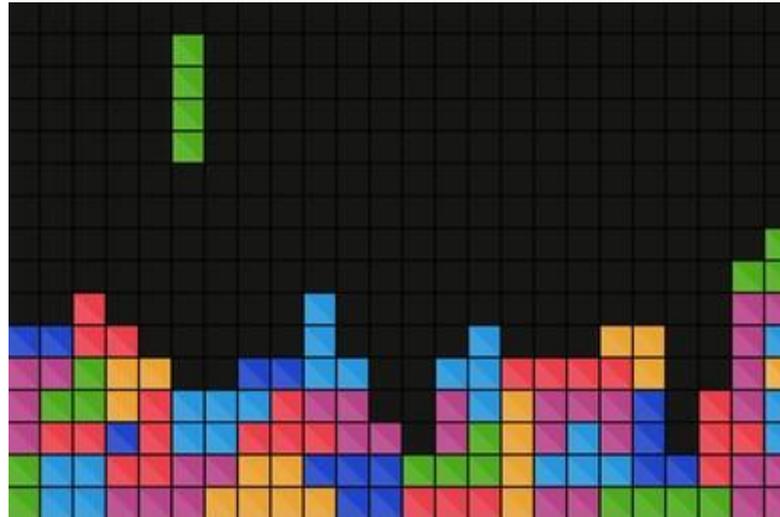
- **Übergänge unterschiedlicher Wachstumsarten**

Michely et al. Phys. Rev. Lett. 70, 3943 (1993)

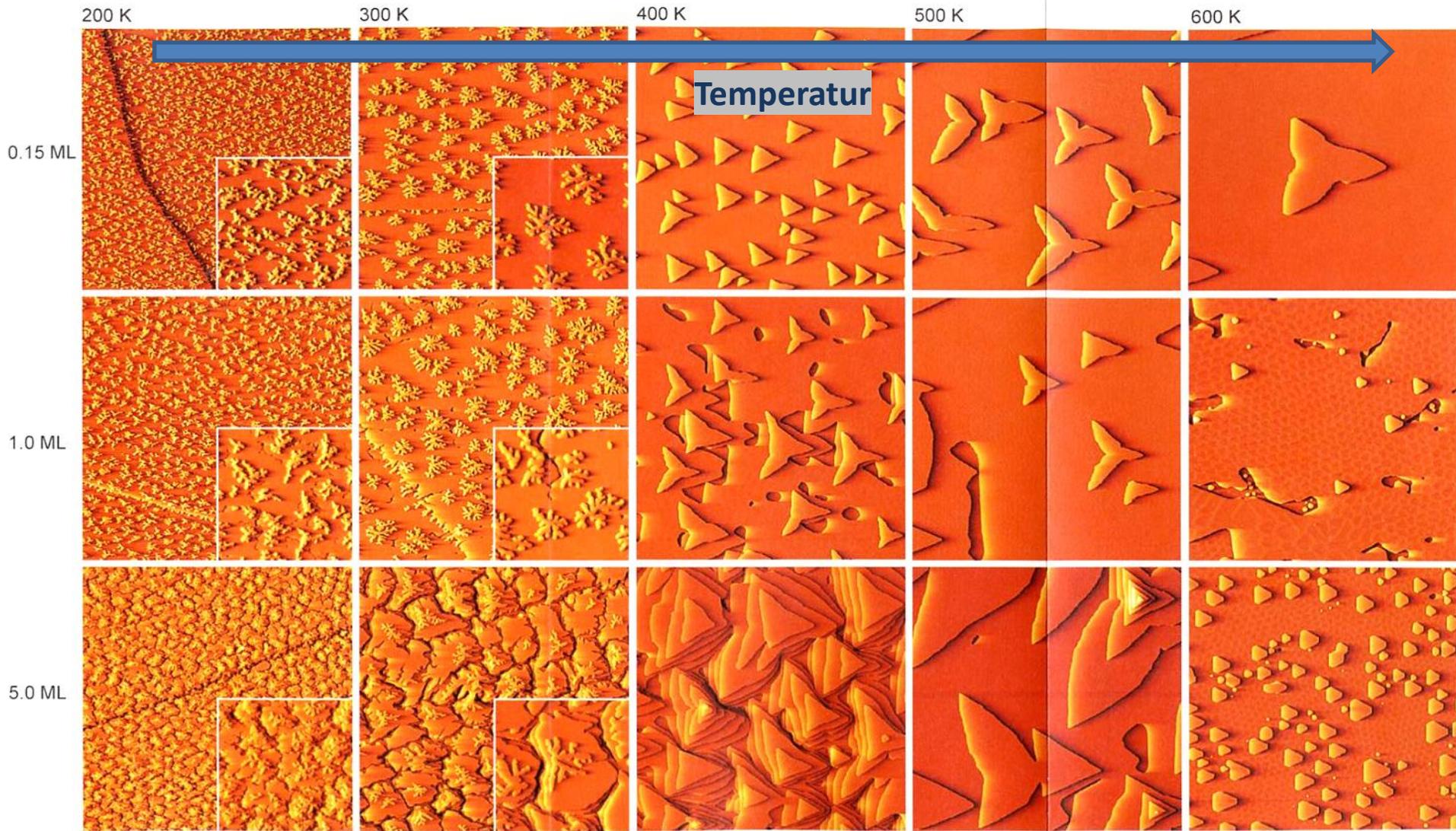
Pt/Pt(111)



Tetris auf Oberflächen



4.3 Inselformen



Beispiel: Platin auf Pt(111)

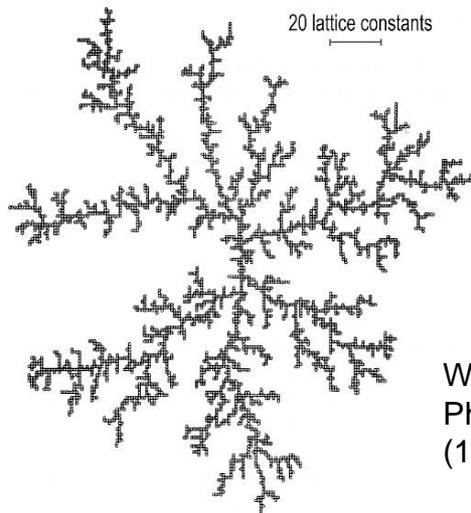
Aufdampftrate: 7×10^{-3} ML/s

Bilder: $1560 \text{ \AA} \times 1560 \text{ \AA}$ Michely S. 126

4.3 Inselformen

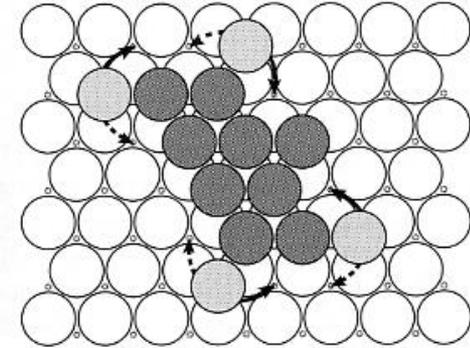
Fraktale

- Niedrige Wachstumstemperaturen
 - Kantendiffusion langsam
 - Extremfall: hit-and-stick bzw. (Diffusion-limited-aggregation)
- DLA-Modell → Fraktale Inseln ("Astbreite" 1 Atom)
- Breite der Struktur wächst mit Kantendiffusion



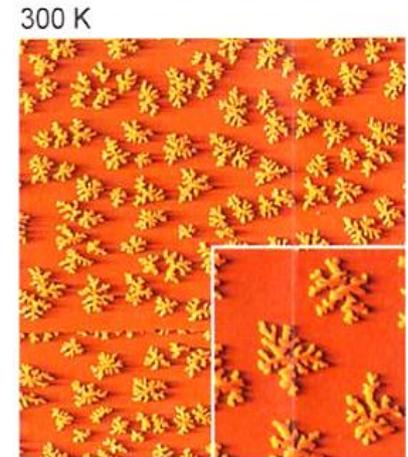
Witten und Sander,
Phys. Rev. Lett. 47
(1981) 1400

Kinetik und Thermodynamik an den Inselrändern bestimmt Form



Oura, S. 366

Bsp.: Pt auf Pt(111)
bei 200-300 K
(Breite 4 Atome bei 245 K)



→ in fraktalen Inseln trifft Adatom häufiger auf Inselrand

4.3 Inselformen

Fraktale



Schneeflocken



Spannungsdurchschlag

4.3 Inselformen

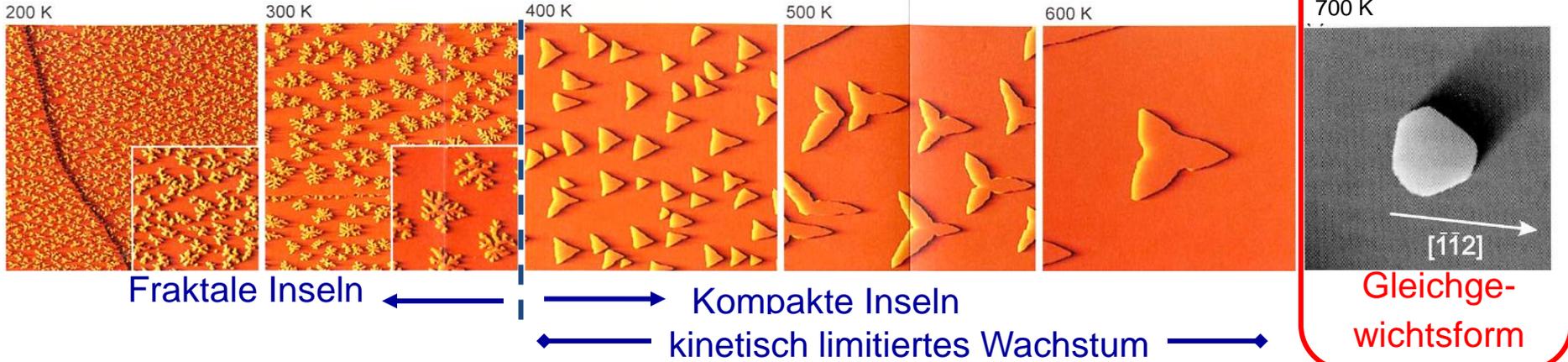
Höhere Temperaturen → Schnellere Diffusion:

Fraktale →

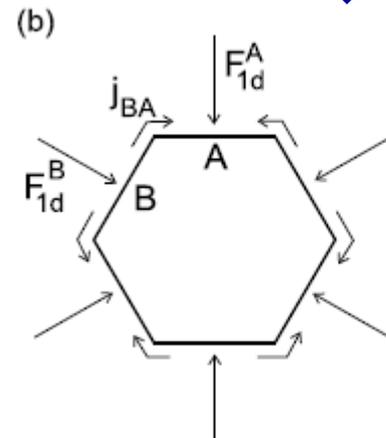
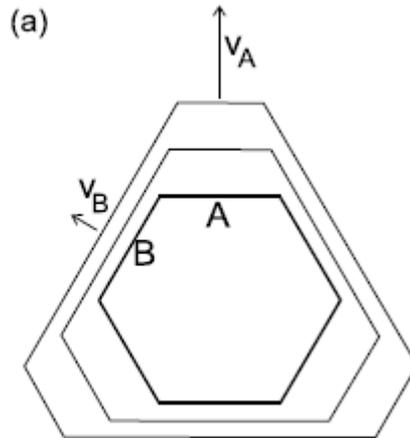
Dreiecke →

Sterne →

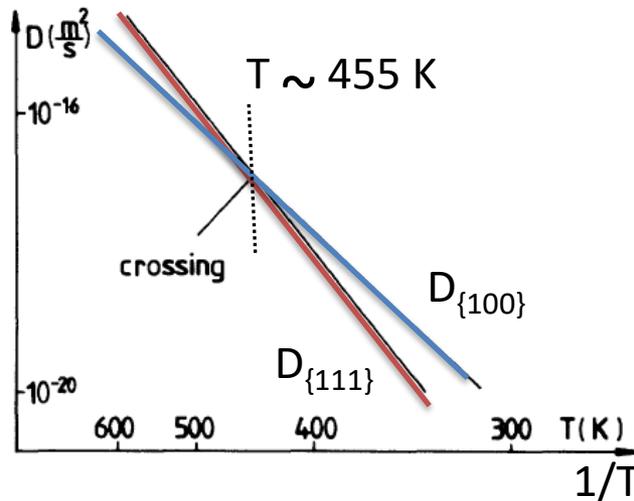
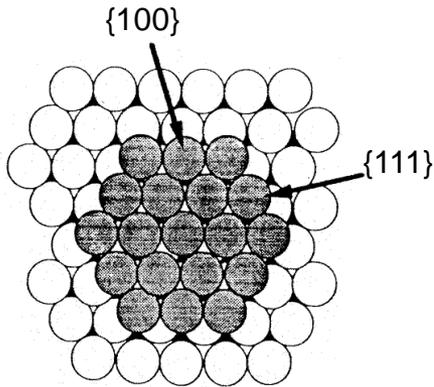
Hexagone



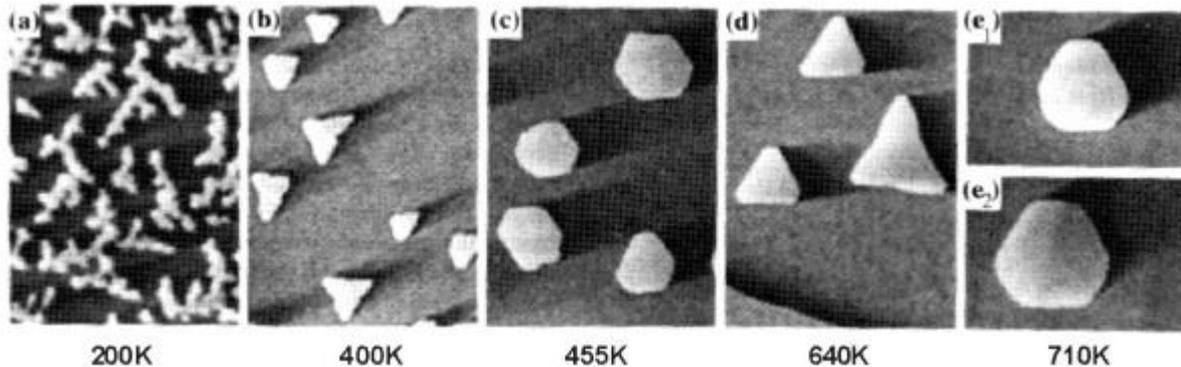
- Zwei unterschiedliche Diffusionskonstanten $D_{\{111\}}$ und $D_{\{100\}}$



4.3 Inselformen



- bei 710K Gleichgewichtsform
- unterhalb 710K Kinetik
- unterhalb 455K ist Diffusion entlang {111} langsamer
 → höhere Nukleationswahrscheinlichkeit neuer Reihen an {111} Stufen
 → mehr Anlagerung an {111} Stufen
 → {111} Stufen sterben aus
 → {100} terminierte Inseln



Übersicht über Kapitel 4

4. Schichtwachstum

4.1 Homoepitaxie

4.2 Nukleation

4.3 Inselformen

4.4 Wachstumsmanipulation

4.5 Heteroepitaxie

Motivation

- oft sind atomar scharfe Grenzflächen zwischen dünnen Schichten und Vakuum oder zwischen verschiedenen Schichten wünschenswert.

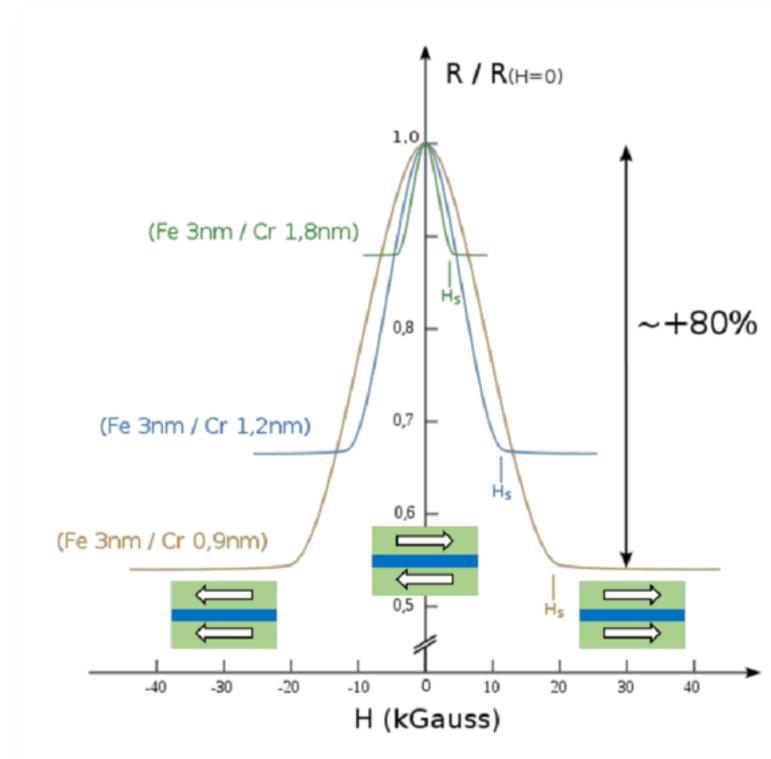
Beispiele:

1. Die magnetische Kopplung durch nichtmagnetische Schichten hängt empfindlich von der Dicke der Abstandsschicht ab (**Giant-Magnetoresistance, GMR**)

2. Devices mit **Quantum Tunneling** erfordern isolierende Abstandsschichten mit genau kontrollierter Dicke

→ Layer-by-Layer Wachstum ist hier wünschenswert!

(Manchmal ist aber auch eine rauhe Oberfläche wünschenswert → mehr Oberfläche)



Google-Bildersuche: GMR

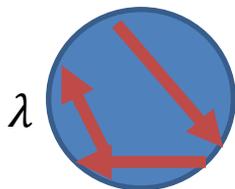
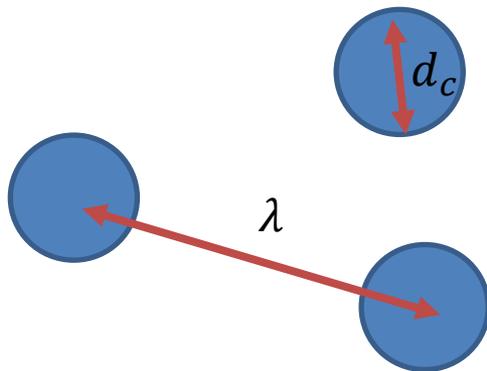
Methoden um die Morphologie von dünnen Schichten zu verändern:

1. Benutzung von Surfactans (*Surface active agents*)
2. Methoden zur Entkopplung der Nukleation auf und in vorhandenen Inseln (2nd Layer Nucleation)
 - Ionen-Bombardment
 - Temperatur-Kontrolle
 - Oberflächen-Rekonstruktionen

4.4 Wachstumsmanipulation

2D Wachstum erzwingen

Nukleation: typischer Inselabstand λ



d_c : kritischer Inseldurchmesser, bei dem die nächste Lage nukleiert

$d_c > \lambda$: Nukleation der nächsten Lage nach Zusammenwachsen der Inseln
→ 2D Wachstum

$d_c < \lambda$: Nukleation der nächsten Lage vor Zusammenwachsen der Inseln
→ 3D Wachstum

Selbst eine kleine SE-Barriere führt im Mittel zu Wegen der Adatome auf den Inseln von einer Länge größer als λ → 3D Wachstum

3D → 2D: Wir müssen $d_c > \lambda$ erzwingen

4.4 Wachstumsmanipulation

"Surfactant"-assistiertes Wachstum: O + Pt/Pt(111)

Hinzugabe eines "Katalysators",
der 2D-Wachstum bewirkt

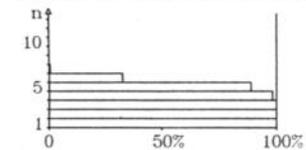
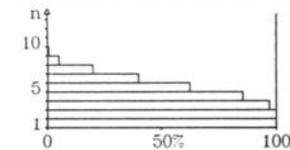
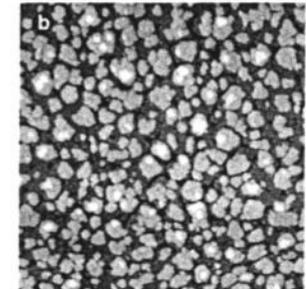
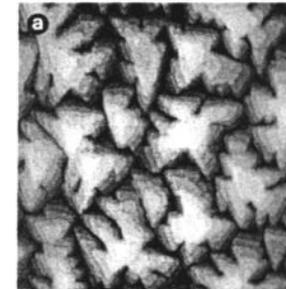
Vergrößerung von d_c durch Reduktion der
SE Barriere

1. Wachstum von Inseln
2. evtl. Dosieren von O
3. Nachdampfen von Pt

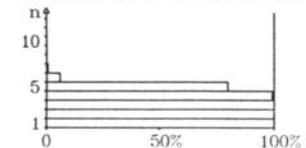
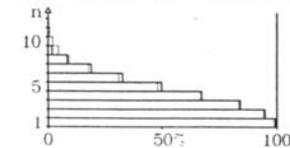
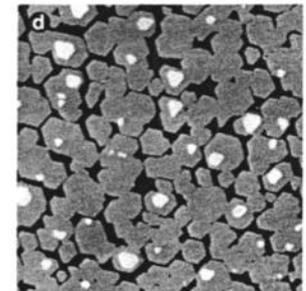
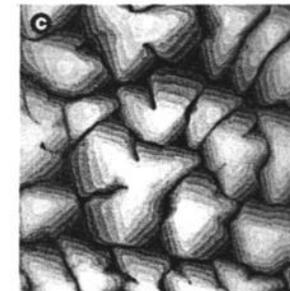
300 K

ohne O

mit O



400 K



Esch, Hohage, Michely, Comsa, Phys. Rev. Lett. 72, 518 (1994)

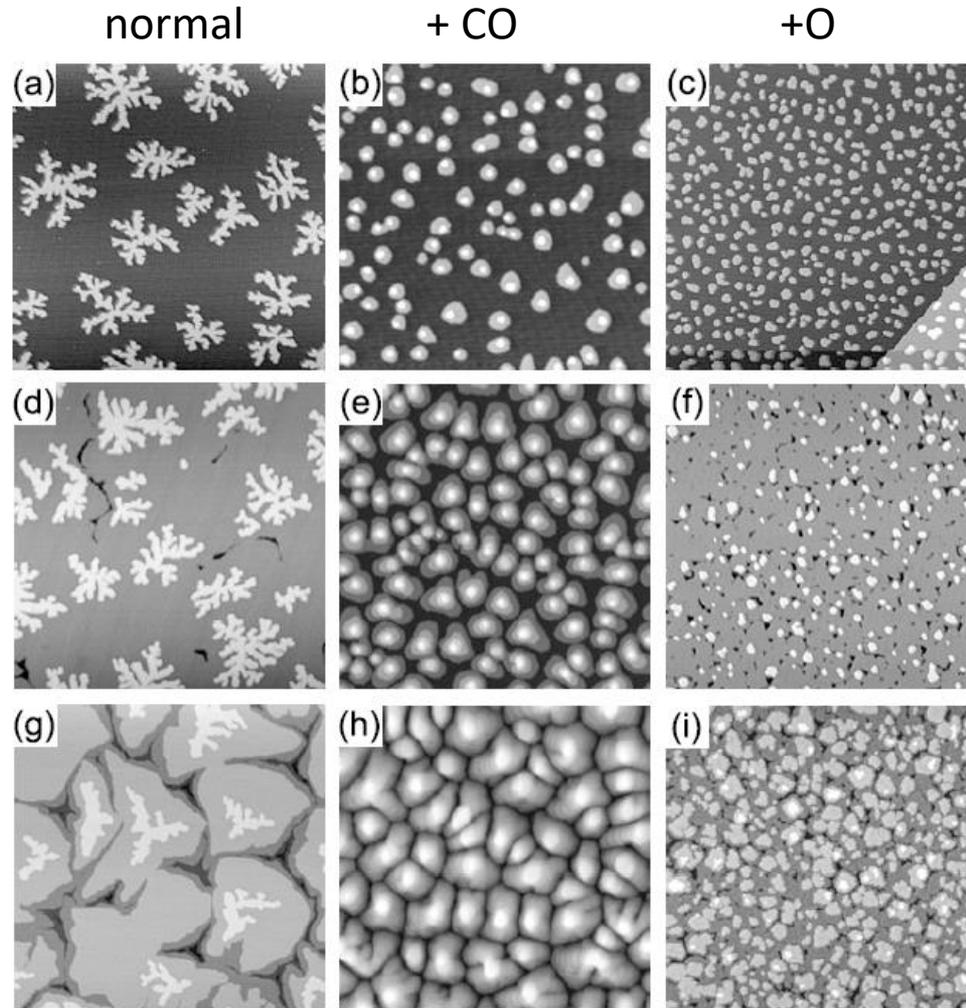
4.4 Wachstumsmanipulation

Pt/Pt(111)

0.2 ML

1 ML

5 ML

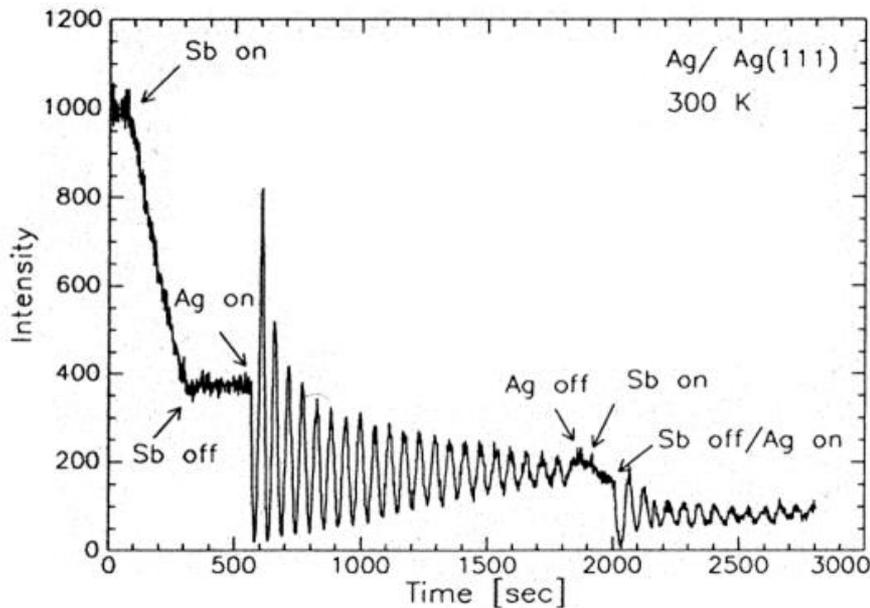
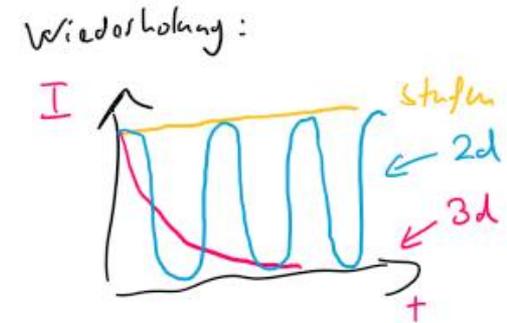


Höhere
SE-B

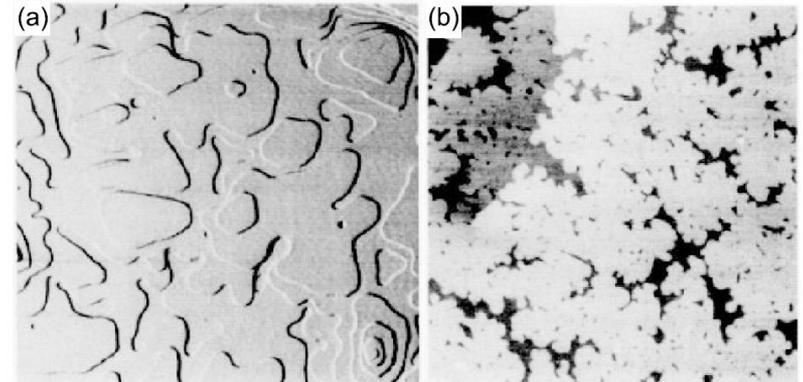
Kleinere
SE-B

2. "Surfactant"-assistiertes Wachstum

- 2D-Wachstum von Ag/Ag(111) mit Sb als Surfactant
- Augerelektronenspektroskopie: Sb schwimmt auf wachsendem Film auf
- Erklärungsversuch: erhöhte effective Diffusionsbarriere E_D
- Erhöht möglicherweise die Barriere für die Stufenkantendiffusion (erklären Sie den Übergang von kompakten zu verzweigten Inseln)



1.7ML Ag on Ag(111)
precovered with
0.08ML Sb

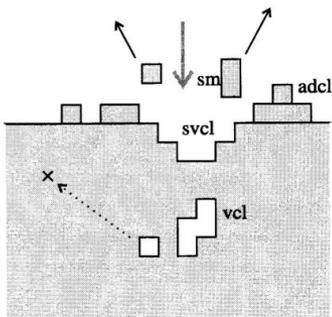
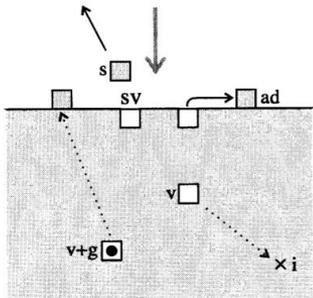


Van der Vegt et al., Phys. Rev. Lett. 68, 3335 (1992)
Michely, S. 234

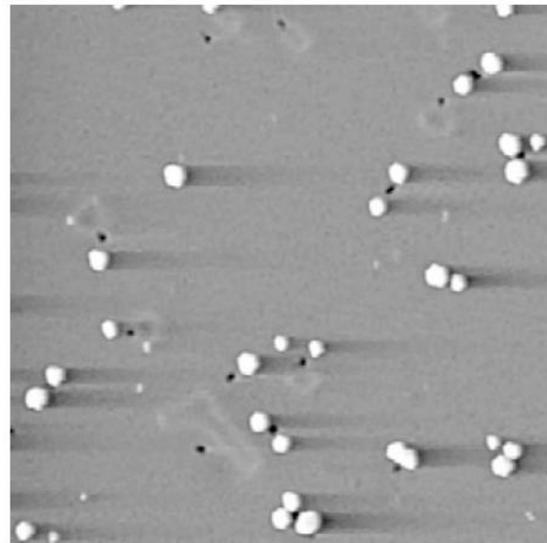
"Surfactants"

- "Schwimmen" beim Wachstum oben auf
 - Nicht jedes Adsorbat ist ein Surfactant: Die Suche nach einem guten Surfactant ist mehr oder weniger eine Frage von Trial and Error
 - Generell 3 Effekte:
 - (i) Erhöhung von E_D ,
 - (ii) Erniedrigung von E_{SE}
 - (iii) Übergang von kompakten zu verästelten Inseln
- Erhöht die Inseldichte
- Verschiebt das System in Richtung Layer-by-Layer Growth (2D Wachstum)

1. Probenoberfläche nach Ionen-Bombardment:



Ar - Pt(111)



- Erzeugung verschiedener Defekte durch Ionenbeschuss
- pro Ion bei 1 keV wird 1-5 Atome abgetragen und die selbe Menge von Adatomen erzeugt
- Ionenbeschuss führt zu hoher Keimdichte

Fig. 5.6. Pt(111) after 5 keV Xe⁺ ion bombardment at 300 K with a fluence of 4.1×10^{15} ions/m². The fluence corresponds to an average of 14 impacts in the surface area shown (see text). Topograph size is 590 Å × 590 Å

Michely, S. 237

1. Probenoberfläche nach Ionen-Bombardment:

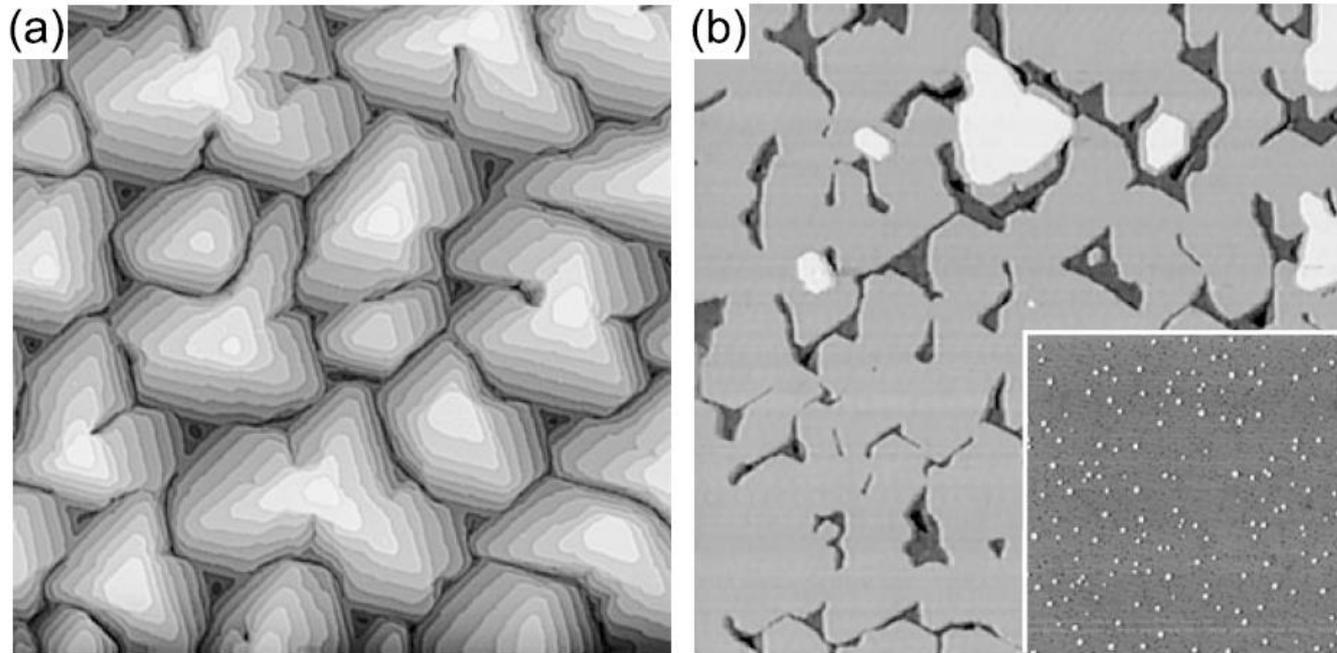


Fig. 5.7. Pt(111) after deposition of 5 ML Pt at 400 K in a CO background pressure of $p_{\text{CO}} \approx 5 \times 10^{-10}$ mbar with $F = 5 \times 10^{-3}$ ML/s $^{-1}$ (a) without and (b) with 4 keV Ar $^{+}$ ion pulses with a fluence of 2×10^{16} ions/m 2 at the beginning of each deposited layer. Topograph size is 2130 Å \times 2130 Å. The inset in (b) shows the Pt(111) surface after the initial ion pulse on the same scale (Figs. 8a and 8d of [536])

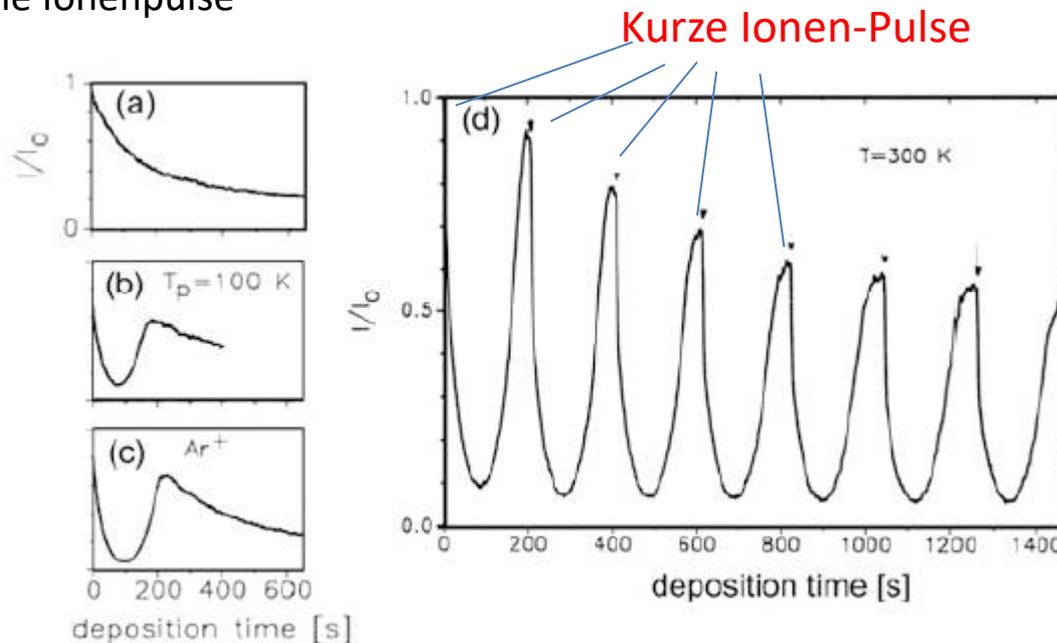
Michely, S. 238

4.4 Wachstumsmanipulation

Layer-By-Layer Growth durch Wachstumsmanipulation

Wachstum von Ag auf Ag(111) mit Wachstumsmanipulationen zur Erzeugung hoher Insel-Zahldichte am Anfang

- (a) Abscheidung auf Ag Substrat bei 260 K.
- (b) Vorabscheidung von 0,05 ML bei 100 K → hohe Inseldichte. Anschließende Abscheidung bei 260K → charakteristisches Muster wie beim Layer-By-Layer Growth
- (c) Substrat beschossen mit 600 eV Ar-Ionen, gefolgt von Abscheidung unter identischen Bedingungen wie in (a) [hier keine Kühlung erforderlich]
- (d) Periodische Ionenpulse



Michely, S. 236

Layer-By-Layer Growth durch Oberflächenrekonstruktionen

5ML Pt auf Pt(111)
gewachsen bei 600K

Netzwerkrekonstruktion:

- Netzwerk von Shockley-Teilversetzungen zwischen der Oberflächenschicht und der darunter liegenden Schicht,
- Trennt regelmäßige fcc-Stapelung und Bereiche mit hcp-Stapelung für die oberste Atomschicht
- **Netzwerkrekonstruktionslinien** sind nur auf der Terrasse vorhanden, nicht aber auf den Inseln
- Auf jeder Terrasse ergibt sich durch die Rekonstruktion eine Erhöhung der Inseldichte um etwa den Faktor 20 gegenüber der unrekonstruierten Oberfläche.

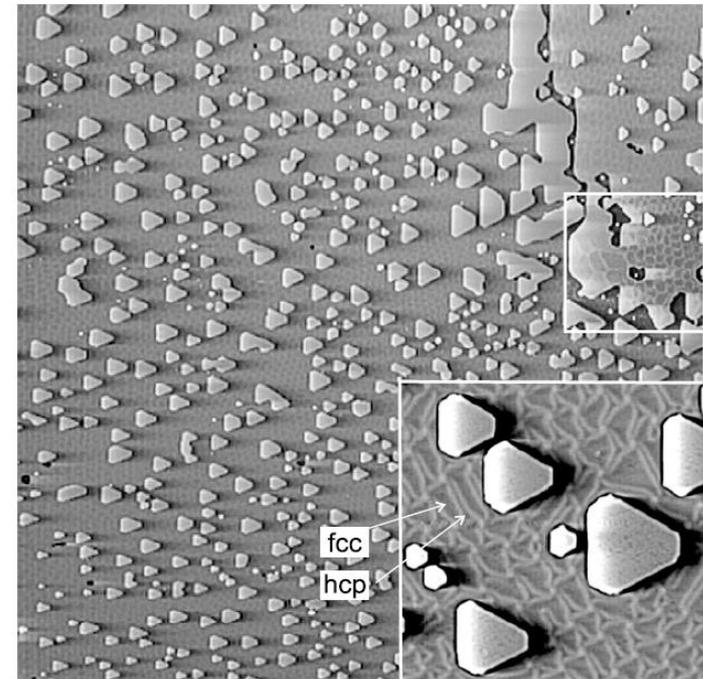
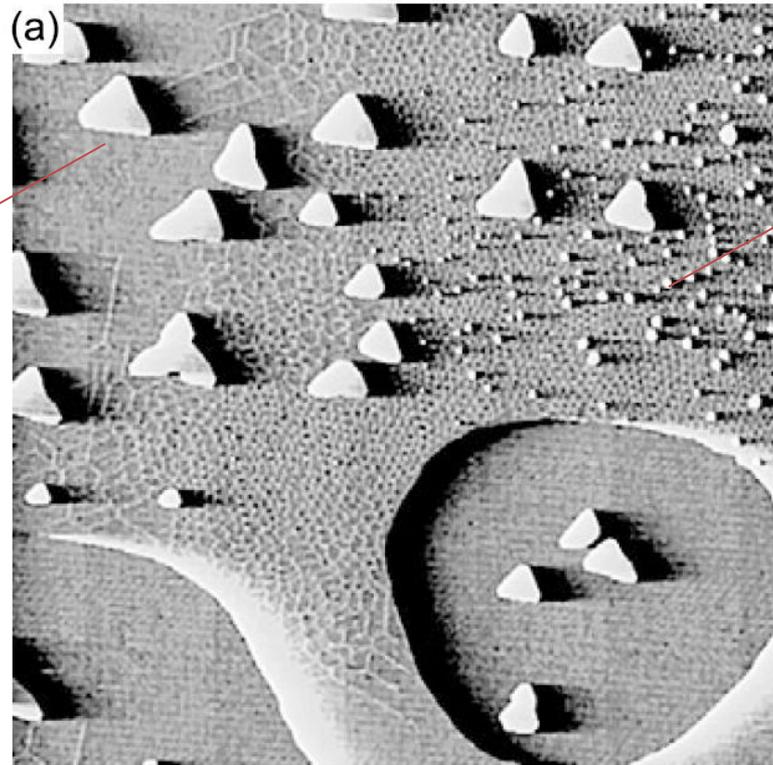


Fig. 5.8. Layer-by-layer morphology on Pt(111) after deposition of 5 ML with $F = 5 \times 10^{-3} \text{ ML/s}^{-1}$ at 600 K. The inset shows the presence of the reconstruction network on the terrace and its absence on the islands. The reconstruction network is formed by the bright lines separating unfaulted fcc and the narrow, faulted hcp areas. In the contrast enhanced area above the inset the reconstruction is seen to spread onto islands that just coalesced with the preexisting step. Topograph size is $8000 \text{ \AA} \times 8000 \text{ \AA}$ and inset size is $820 \text{ \AA} \times 820 \text{ \AA}$

Michely, S. 239

4.4 Wachstumsmanipulation

Wenig Rekonstruktion
→ Wenige Inseln



Viel Rekonstruktion →
viele Inseln

Literatur

Inselformen

- Buch: Michely / Krug: “Islands, Mounds and Atoms”, S. 81ff
- Oura S. 365-368
- Thomas Michely et al., Inversion of Growth Speed Anisotropy in Two Dimensions, PRL 70, 1990

Wachstumsmanipulation

Buch: Michely / Krug: “Islands, Mounds and Atoms”, S. 227-245