

# GDOES-Treffen Berlin 2008

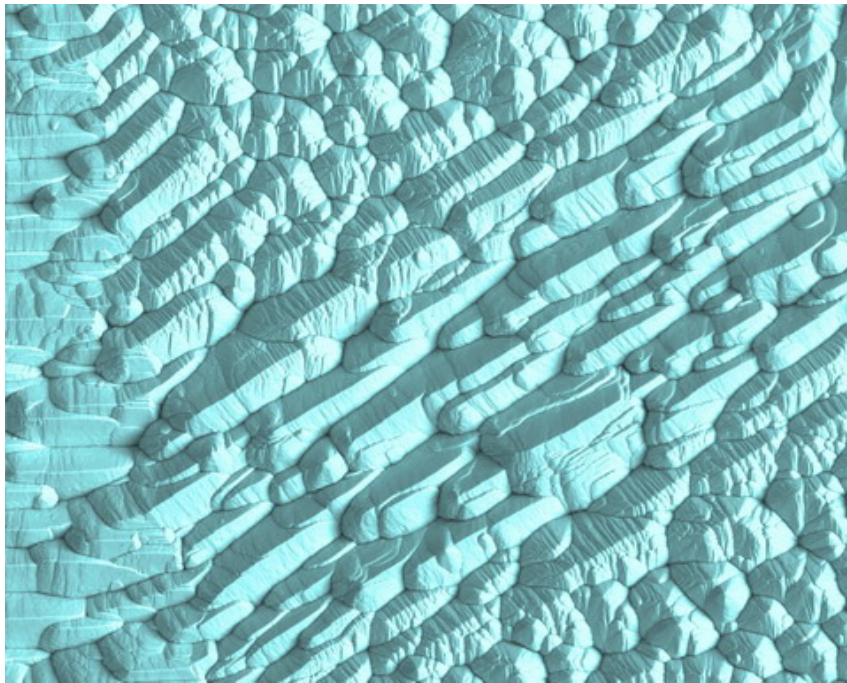
Sputterprozess und  
Kristallorientierung

# Sputtergeschwindigkeit

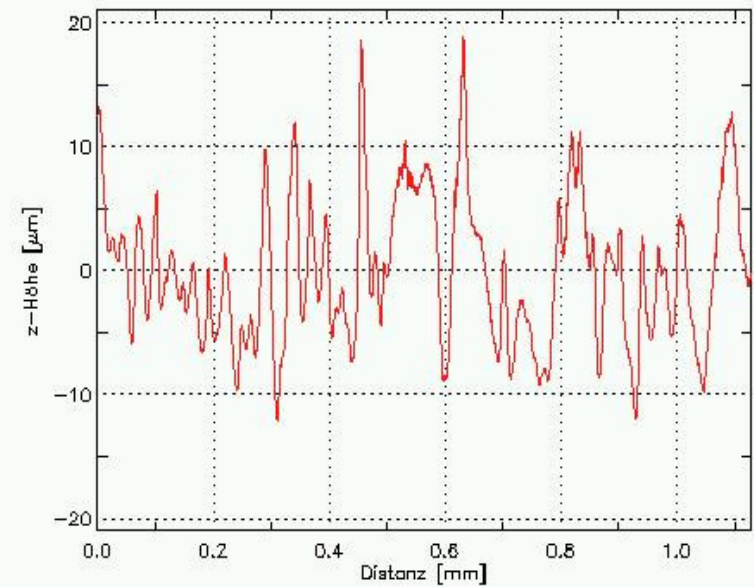
- Die folgenden drei Folien zeigen, daß bei polykristallinen Materialien kein mehr oder weniger gleichmäßiger Sputterangriff beobachtet werden kann.
- Es ist ein deutlicher Unterschied in Abhängigkeit der Kristallorientierung erkennbar.
- Die beobachtbare Rauigkeitserhöhung ist also in der unterschiedlichen Sputtergeschwindigkeit der gesputterten Kristallite begründet.
- Diese Unterschiede können bis zu 40 Prozent betragen.

# Zink

(Zentralbereich des Sputterkraters)



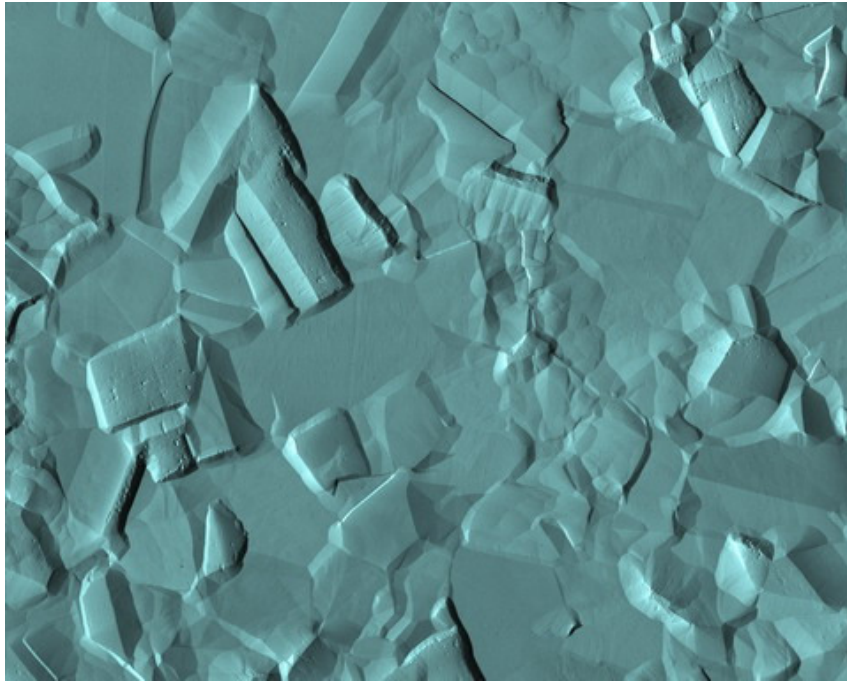
mittlere Kratertiefe  $50\mu\text{m}$



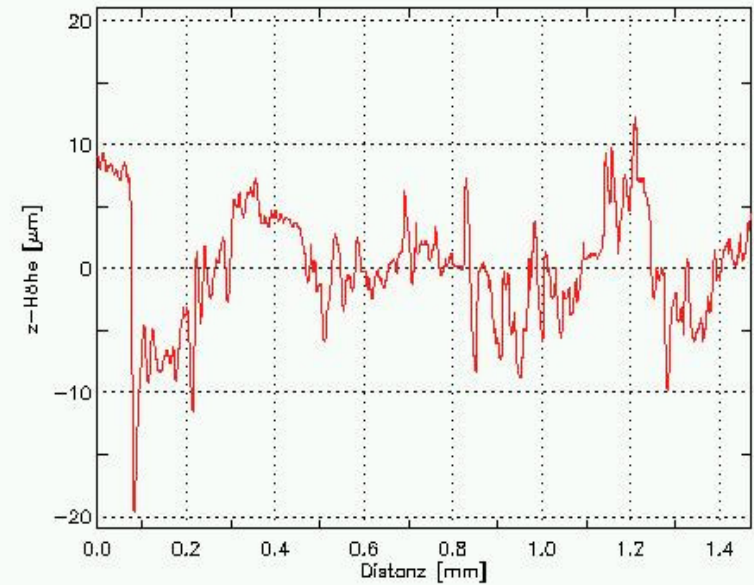
Sputterbedingungen: 600 Volt  
10 mA  
200 sec

# Nickel

(Zentralbereich des Sputterkraters)



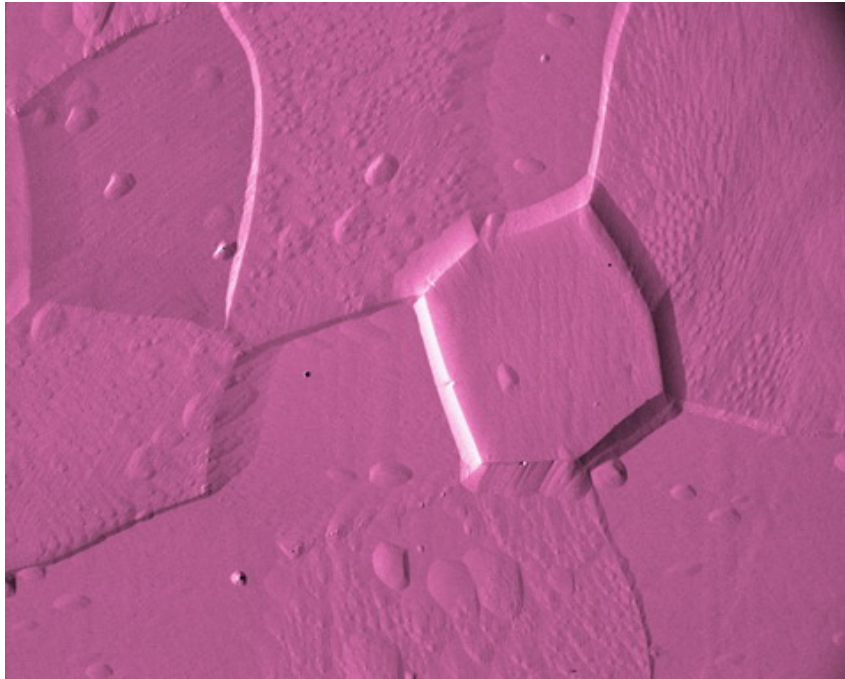
mittlere Kratertiefe 50  $\mu\text{m}$



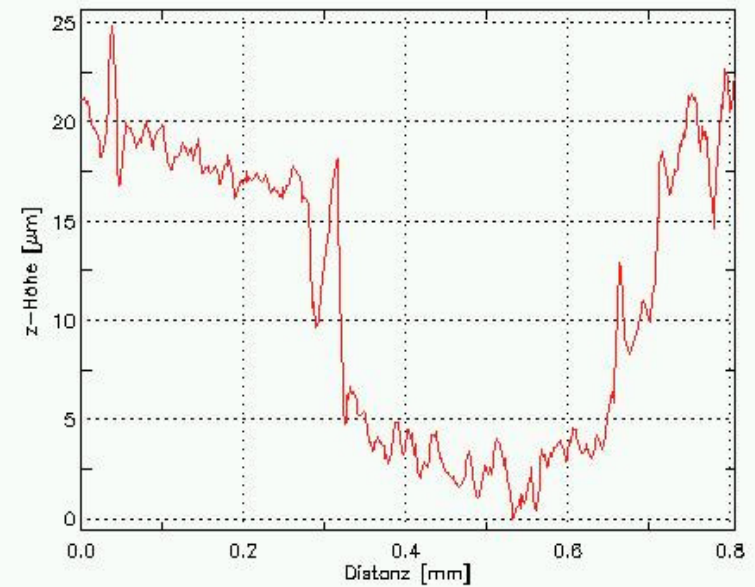
Sputterbedingungen: 600 Volt  
10 mA  
900 sec

# Kupfer

(Zentralbereich des Sputterkraters)



mittlere Kratertiefe  $60\ \mu\text{m}$



Sputterbedingungen: 600 Volt  
10 mA  
600 sec

# Sputtergeschwindigkeit

- Die Formel auf der nächsten Folie zeigt die Abhängigkeit der absoluten Sputtergeschwindigkeit von Strom und Spannung.
- Für die Beschreibung dieser Abhängigkeit sind vier Parameter erforderlich.
- Zwei dieser Parameter können mit dem Strom verknüpft werden. Sie sind möglicherweise mit der Kinetik des Sputterprozesses verknüpft.
- Die beiden anderen Parameter sind mit der Spannung verknüpft und beschreiben neben der zum Sputtern erforderlichen Mindestenergie auch die Energieverteilung innerhalb des Stroms sputternder Teilchen und die Wahrscheinlichkeit für Mehrfach-sputterprozesse.

# Sputtergeschwindigkeit

$$SG = \frac{a}{0,0965} * \frac{b * I}{(I + b)} * \frac{1}{(\exp(c/U) - d)}$$

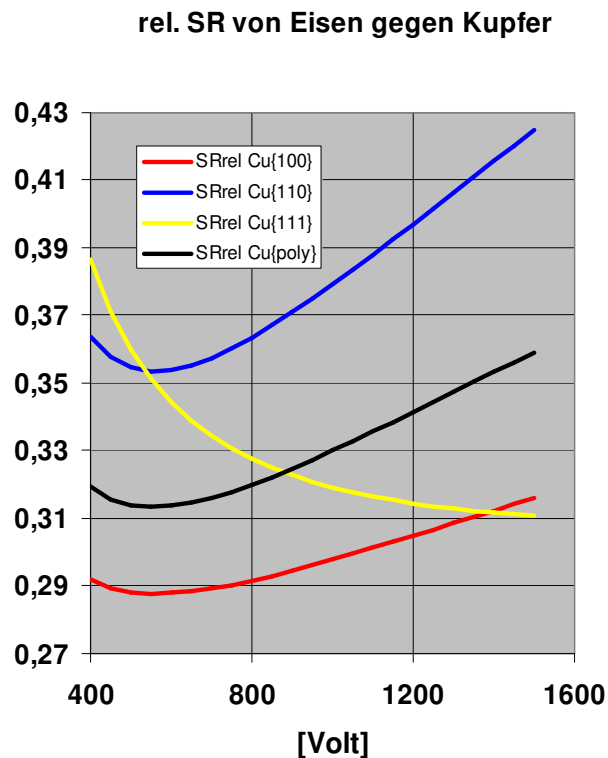
SG:	Sputtergeschwindigkeit [nMol/sec]
U:	Spannung [Volt]
I:	Strom [mAmpere]
a:	Materialkonstante
b:	Grenzstrom [mAmpere]
c:	„Onset-Spannung“ [Volt]
d:	Wahrscheinlichkeit von Mehrfachsputterprozessen
0,0965:	elektrochemisches Äquivalent [Coulomb/μMol]

# Sputtergeschwindigkeit

- Auf der nächsten Folie ist die relative Sputterrate (bezogen auf polykristallines Reineisen) für polykristallines Kupfer und Kupfereinkristalle verschiedener kristallografischer Orientierung dargestellt.
- Die Darstellung zeigt die Verhältnisse für einen Strom von 10mA im Spannungsbereich 400 – 1500 Volt.
- Die Unterschiede betragen bis zu 30 Prozent.
- Die Änderung der Sputtergeschwindigkeit mit der Spannung verläuft nicht gleichsinnig.
- Für Kupfereinkristalle in  $\{100\}$ - bzw.  $\{110\}$ -Orientierung ergibt sich mit steigender Spannung ein Anstieg der relativen Sputterrate, während für Einkristalle in  $\{111\}$ -Orientierung eine Abnahme zu beobachten ist.



# Sputtergeschwindigkeit und Kristallorientierung



**Kupfer: Einkristalle**

Kristallorientierungen:

{100} ; {110} bzw. {111}

**Kupfer: polykristallin**

Reinstkupfer

**Eisen: polykristallin**

Reinsteisen

# Sputtergeschwindigkeit

$$SG = \frac{a}{0,0965} * \frac{b*I}{(I + b)} * \frac{1}{(\exp(c/U) - d)}$$

SG	Sputtergeschwindigkeit in nMol/sec
I	Strom in mAmpere
U	Spannung in Volt

# Sputtergeschwindigkeit

$$SG[U = const] \approx \frac{a*b*I}{0,0965*(I + b)}$$

Sowohl Grenzstrom  $b$  als auch Proportionalitätsfaktor  $a$  scheinen für ein gegebenes Element unabhängig von der Kristallorientierung zu sein.

Im Fall von Kupfer  $a = 3,584$   $b = 130,0$  mA

# Sputtergeschwindigkeit

$$SG[I = const] \approx \frac{1}{(\exp(c/U) - d)}$$

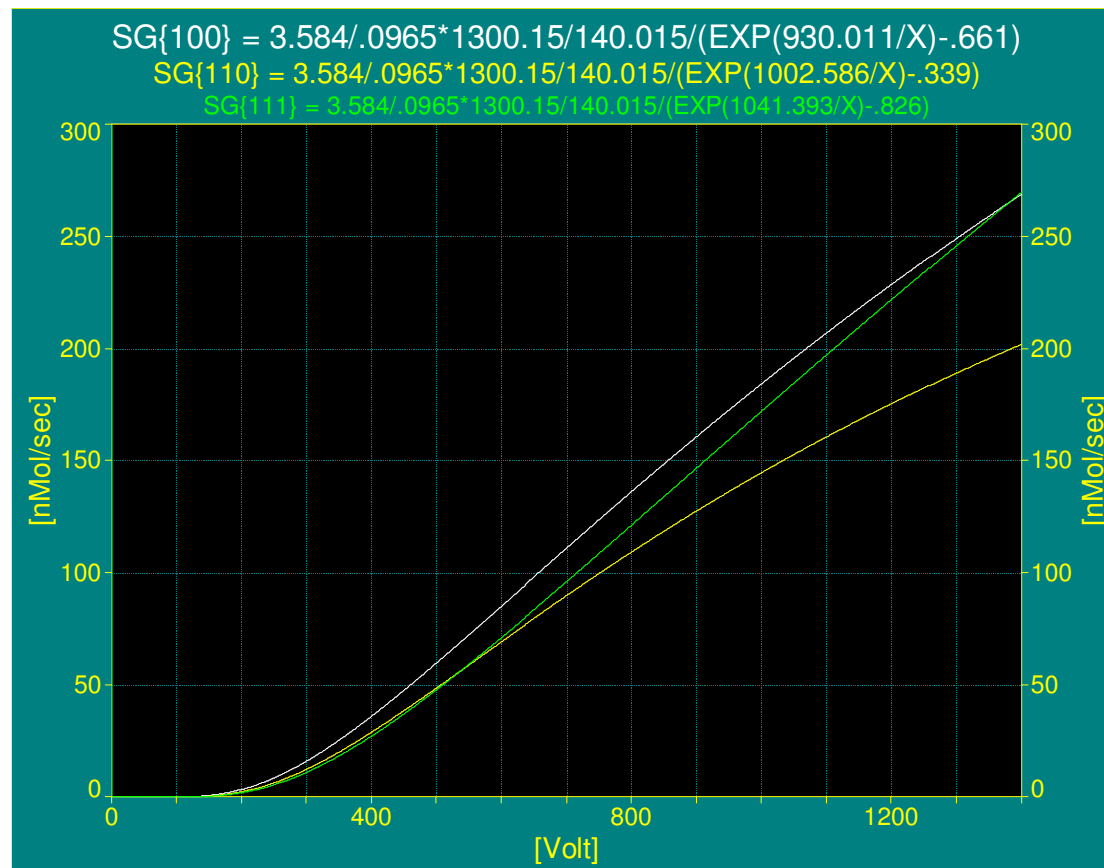
Die beiden Parameter  $c$  und  $d$  hängen jedoch stark von der Kristallorientierung ab.

Für Kupfer gilt:	$c\{100\} = 930$ Volt	$d\{100\} = 0,66$
	$c\{110\} = 1003$ Volt	$d\{110\} = 0,34$
	$c\{111\} = 1041$ Volt	$d\{111\} = 0,83$

# Sputtergeschwindigkeit

- Die folgende Grafik zeigt die absolute Sputtergeschwindigkeit für die drei untersuchten Kupfereinkristalle in Abhängigkeit der Spannung (Strom 10mA).
- Diese Daten sind nicht durch den Bezug auf ein Referenzmaterial verfälscht, wie es bei der Darstellung der relativen Sputterraten der Fall ist.

# Absolute Sputtergeschwindigkeit



Die freien Parameter wurden aus einer Gesamtheit von 330 Sputterkratern durch gemeinsame Verfeinerung ermittelt.

Die im Diagramm dargestellten Verhältnisse für einen Lampenstrom von 10 mA sind für jede Kurve durch jeweils 20 Messungen im Bereich 350 – 1400 Volt abgesichert.

# Sputtergeschwindigkeit

- Die folgende Folie stellt die absolute Sputtergeschwindigkeit für Siliciumeinkristalle dar.
- Man erkennt zwischen den Orientierungen  $\{100\}$  und  $\{111\}$  keinen signifikanten Unterschied.
- Dies ist auf die zu metallischen Stoffen unterschiedliche Bindungsart (gerichtete Atombindungen) zurückzuführen.

# Absolute Sputtergeschwindigkeit

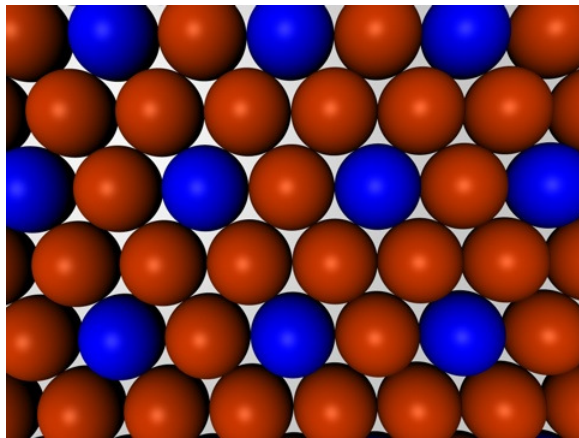
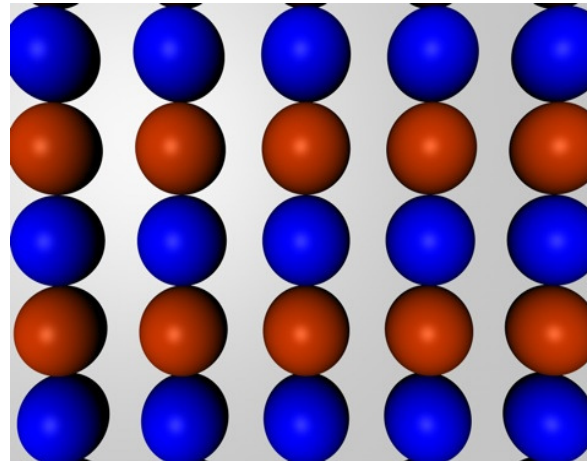
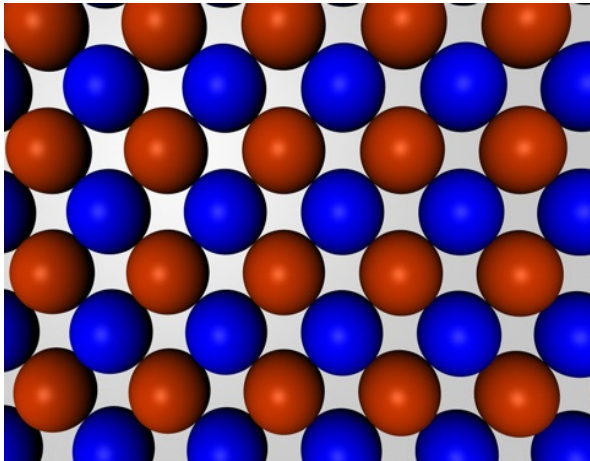




# Sputtergeschwindigkeit

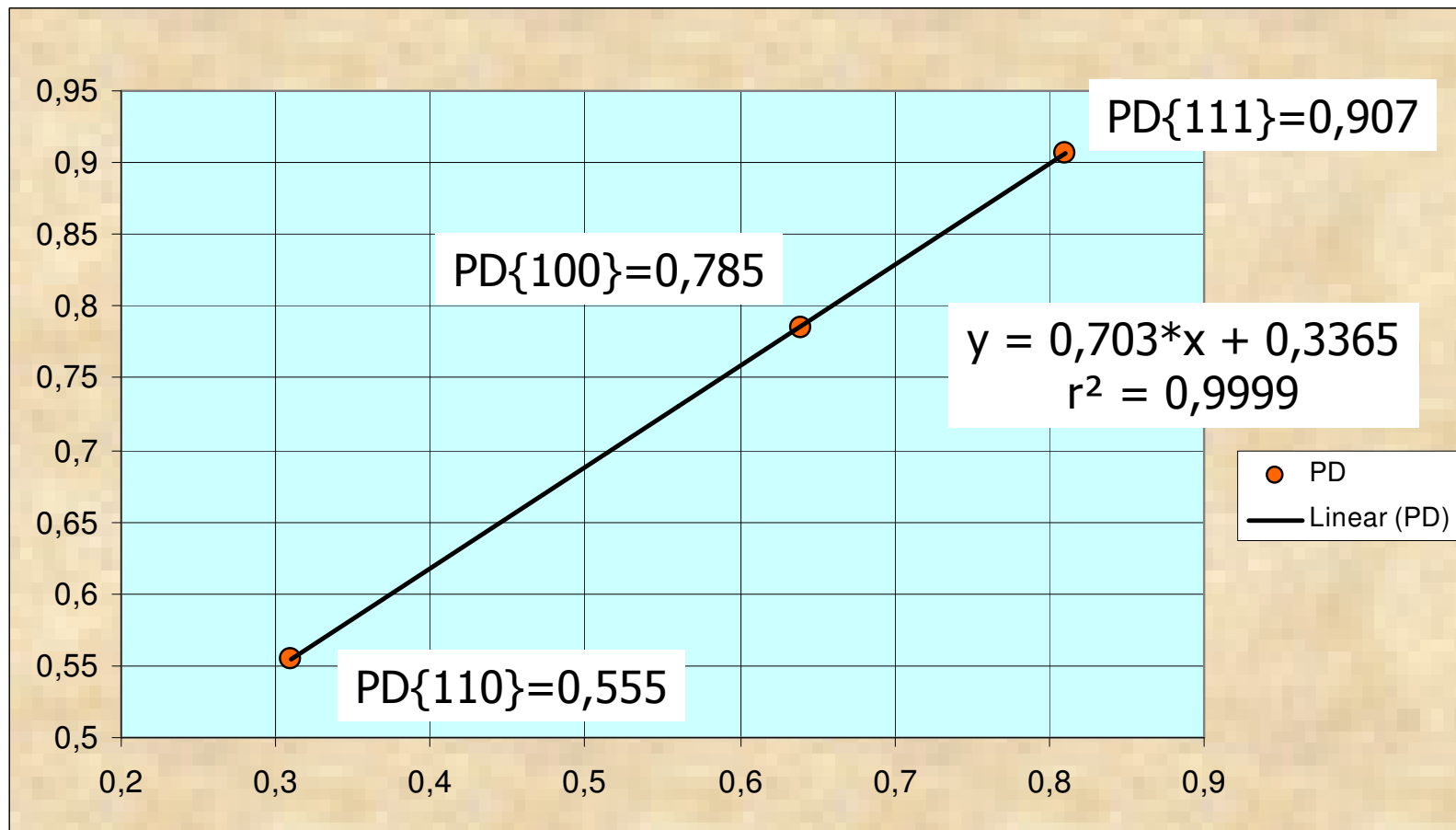
- Die beiden nächsten Folien zeigen, daß zwischen der Geometrie der Kristalle und dem Parameter „d“ der Gleichung für die absolute Sputtergeschwindigkeit möglicherweise ein Zusammenhang besteht.
- In der ersten Folie wird für die untersuchten kristallografischen Orientierungen die oberste Atomlage und die dazugehörige Packungsdichte (Verhältnis der belegten zur Gesamt-Fläche) dargestellt.
- Das Diagramm der nächsten Folie zeigt, daß zwischen der Packungsdichte und dem aus den Messungen erhaltenen Parameter „d“ eine lineare Abhängigkeit besteht.

# Sputtergeschwindigkeit

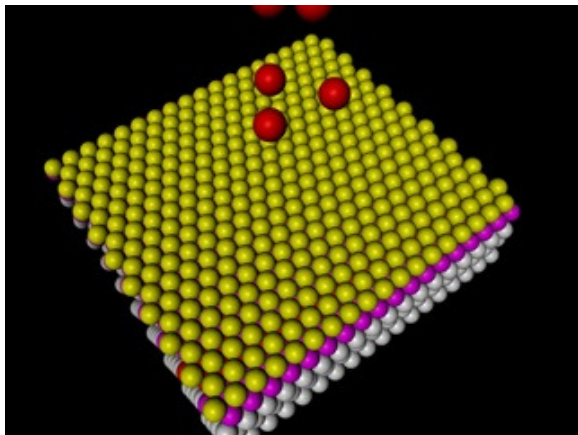
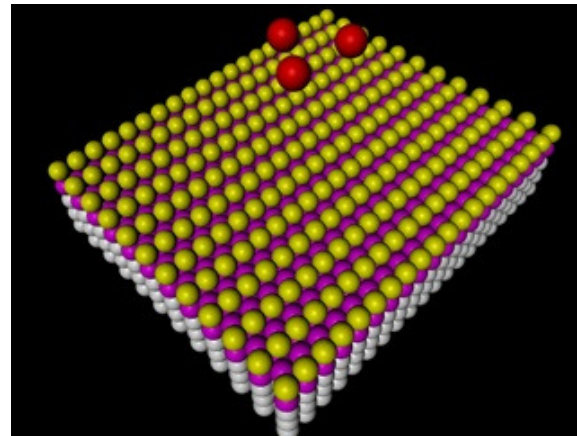
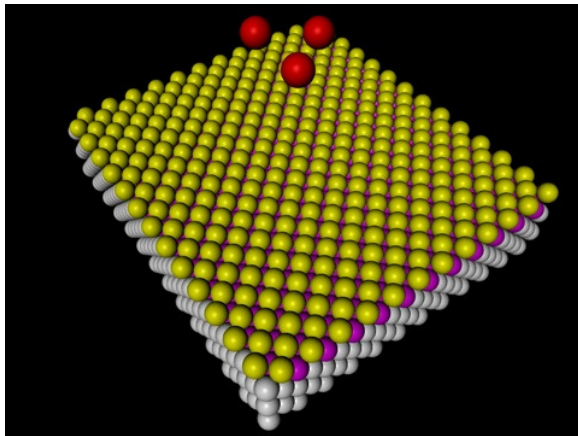


- Packungsdichte in kubisch flächenzentrierten Gittern
- Orientierung:  
 $\{100\}$  PD=0,785     $\{110\}$  PD=0,555  
 $\{111\}$  PD=0,907

# Packungsdichte in der obersten Atomlage gegen Parameter d



# Sputterprozess



- Simulation des Sputterprozesses durch ein relativ einfaches ‚Billard‘-Modell