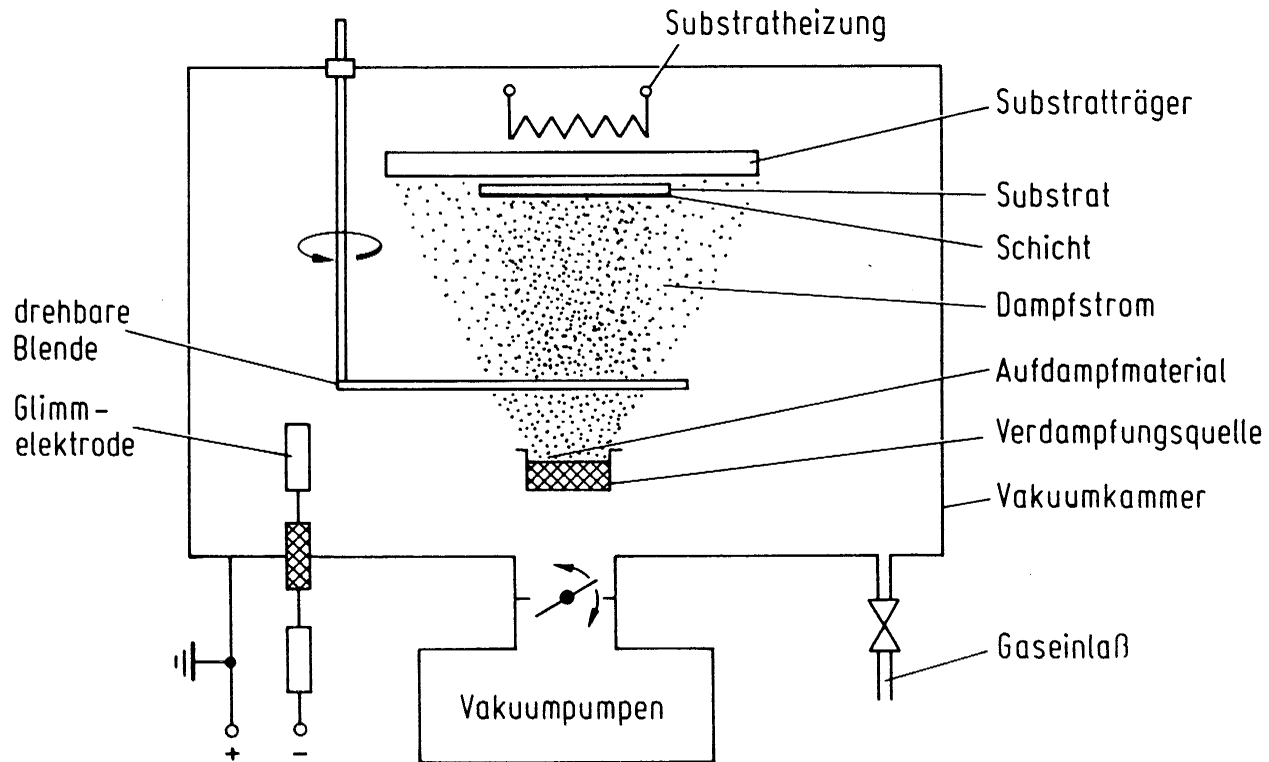


Wiederholung: der Aufdampfprozess

Schema:



Wiederholung: Dampfstromdichte

Hertz-Knudsen-Formel:

$$R(\alpha, \theta, r) = \frac{m_1}{\pi} \cos \alpha \cdot \frac{\cos \Theta}{r^2}$$

α ... Winkel Lot/Quelle

Θ ... Winkel Substratnormale/
Aufpunkt

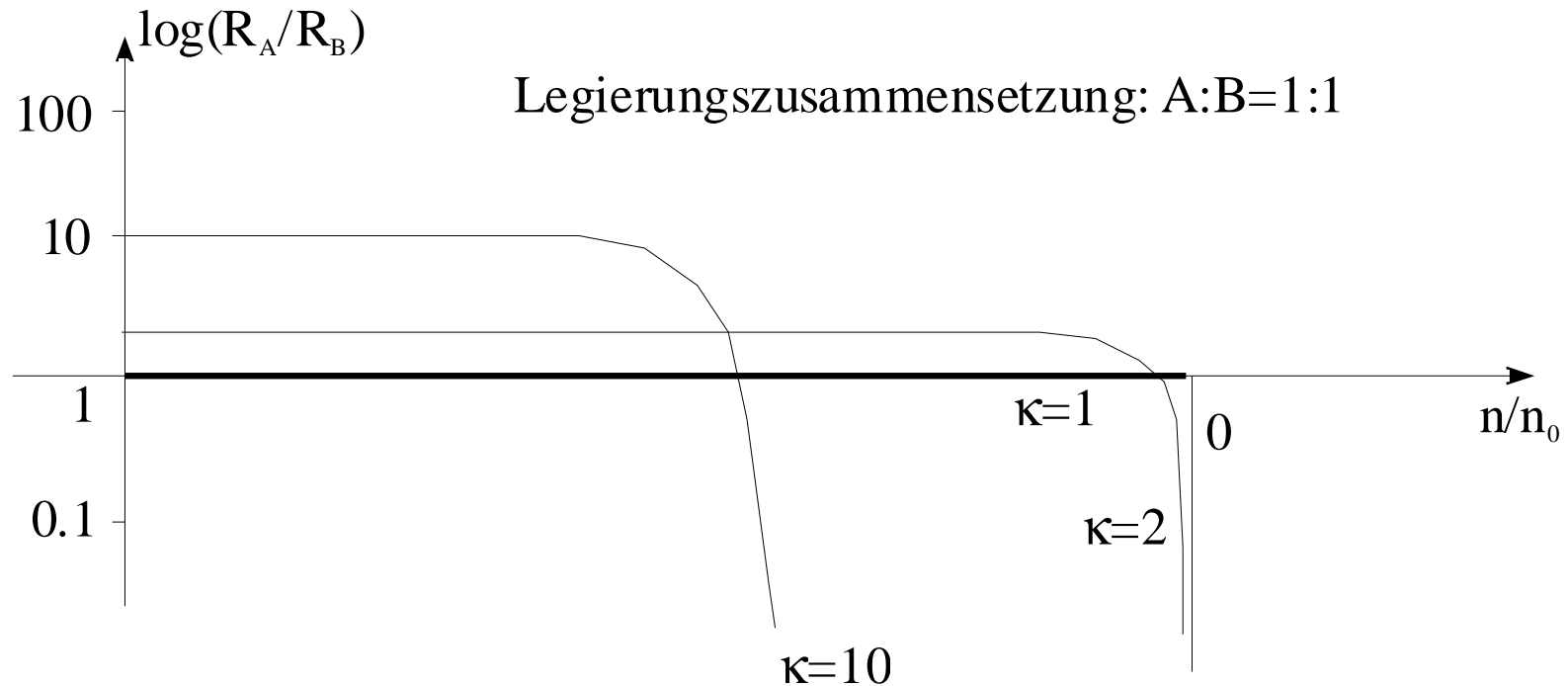
Voraussetzungen:

- Punktförmige Quelle
- Line - of - Sight Prozess

Spezielle Geometrien:

- Punktförmige Quelle – planes Substrat
- Halbkugel
- Knudsen-Kugel

Wiederholung: Verdampfen von Legierungen



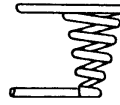
Das Verdampfen einer Legierung entspricht einer fraktionierten Destillation. Grund dafür ist der Materialtransport in der Schmelze.

Wiederholung: Verdampfungsquellen

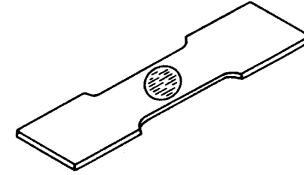
Widerstandsgeheizte Quellen



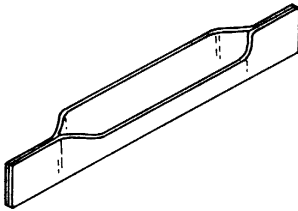
a



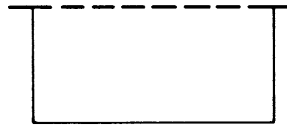
b



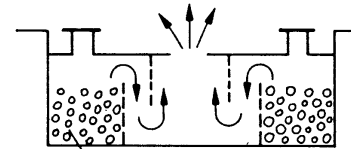
c



d

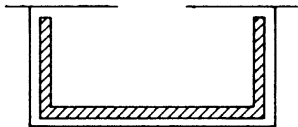


e

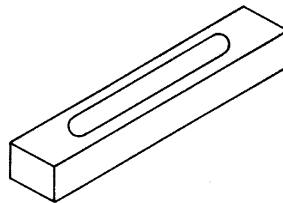


f

SiO_2



g



h

Wiederholung: Aufdampfmaterialien

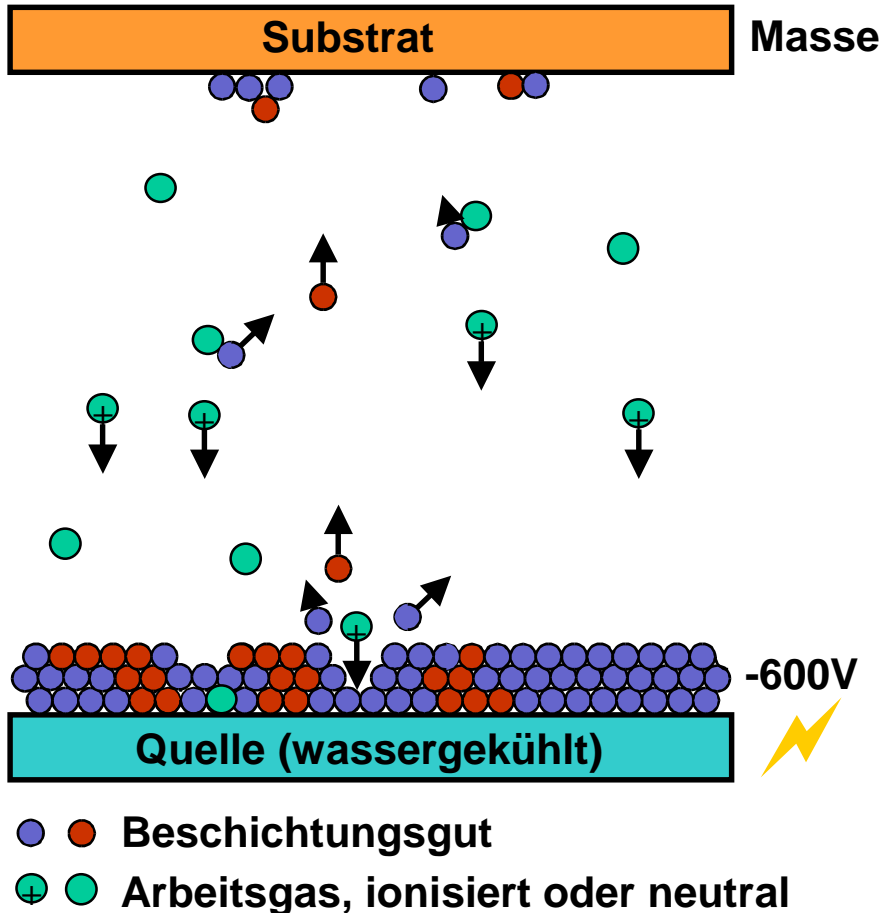
Pulver
Granulate
Drähte
Pellets
Formteile



***Es ist darauf zu achten, dass
Quellenmaterial und Beschichtungsmaterial
chemisch nicht miteinander reagieren!***

Der Sputterprozess I

Elementarprozesse:



Besondere Kennzeichen:

- *Feste Quelle, d. h. beliebige Quellenform*
- *Geringe Abscheidetemperatur*
- *Hohe Abscheideraten erreichbar*
- *Weites Parameterfeld*
- *Schichtzusammensetzung = Quellenzusammensetzung*
- *Gute Schichthaftung*
- *Interessante Schichteigenschaften*

Der Sputterprozess II

Arten der losgelösten Teilchen:

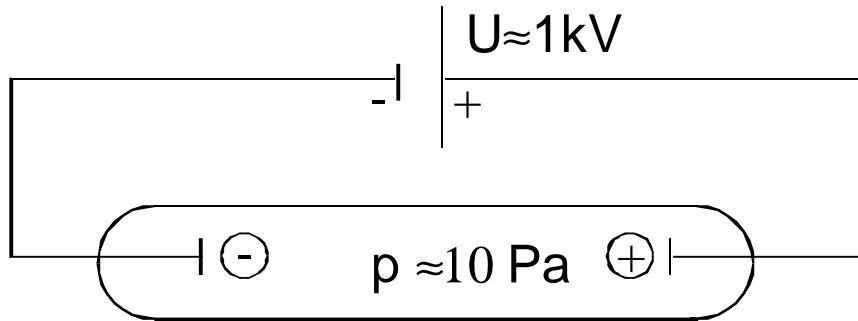
- Atome
- Ionen
- Cluster
- Moleküle

Bereitstellung der Projektile:

- Gasentladung
- Ionenkanone

Die Gasentladung

Versuchsanordnung:



Kriterien für eine selbstständige Gasentladung:

Eine Gasentladung kann dann aufrecht erhalten werden, wenn:

- die mittlere freie Weglänge der Elektronen groß genug ist, um bei gegebenem U neutrale Gasatome zu ionisieren
→ **verdünntes Gas** notwendig
- genügend Gasatome vorhanden sind, um eine Ionisierungskaskade zu ermöglichen
→ **kein "zu gutes" Vakuum** notwendig

Die Sputterausbeute I

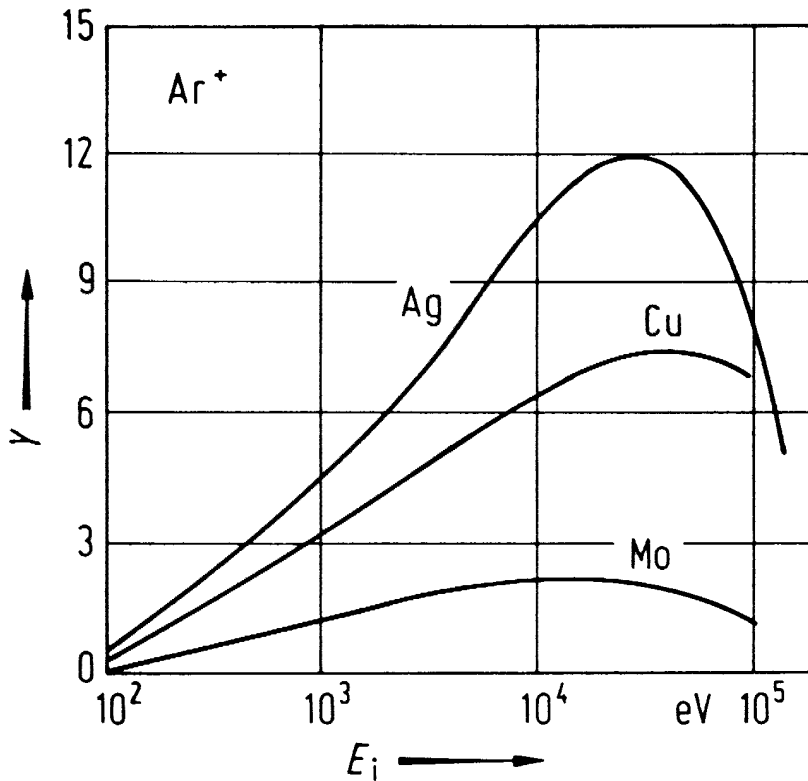
$$Y = \frac{\langle n \rangle}{n^+}$$

$\langle n \rangle$ = mittlere Anzahl der pro Einschub emittierten Teilchen
 n^+ = Anzahl der auftreffenden Ionen

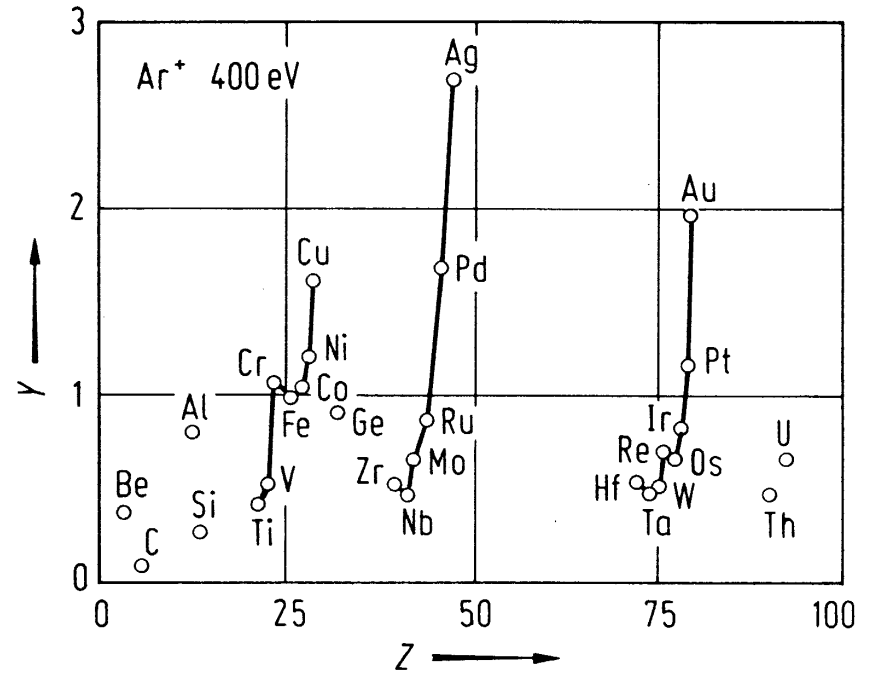
Y hängt von mehreren Ionen- und Materialparametern ab.

Die Sputterausbeute II

Abhängigkeit von:



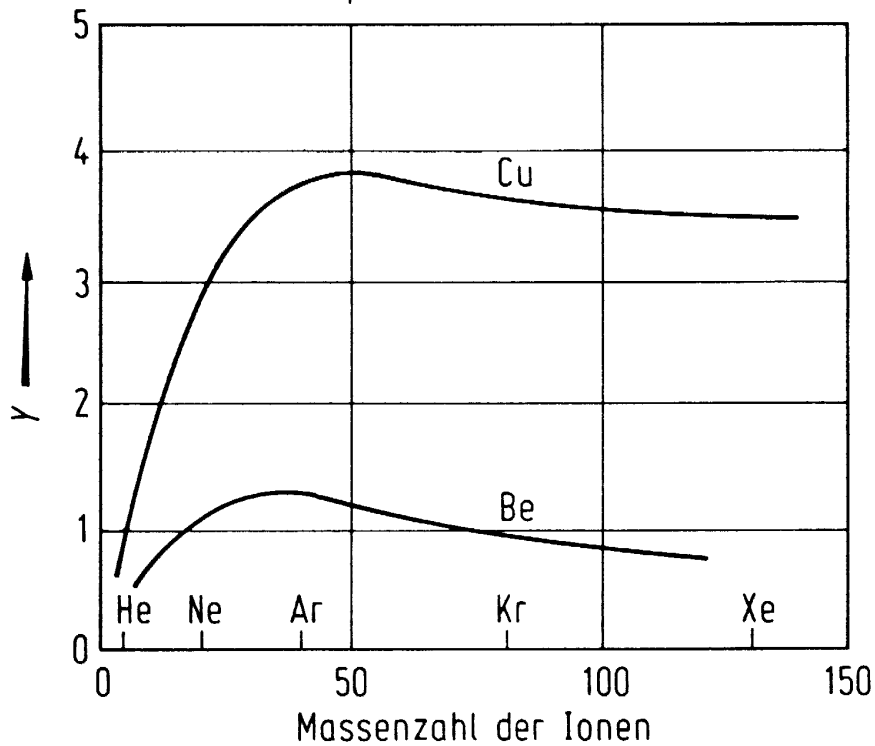
Ionenergie



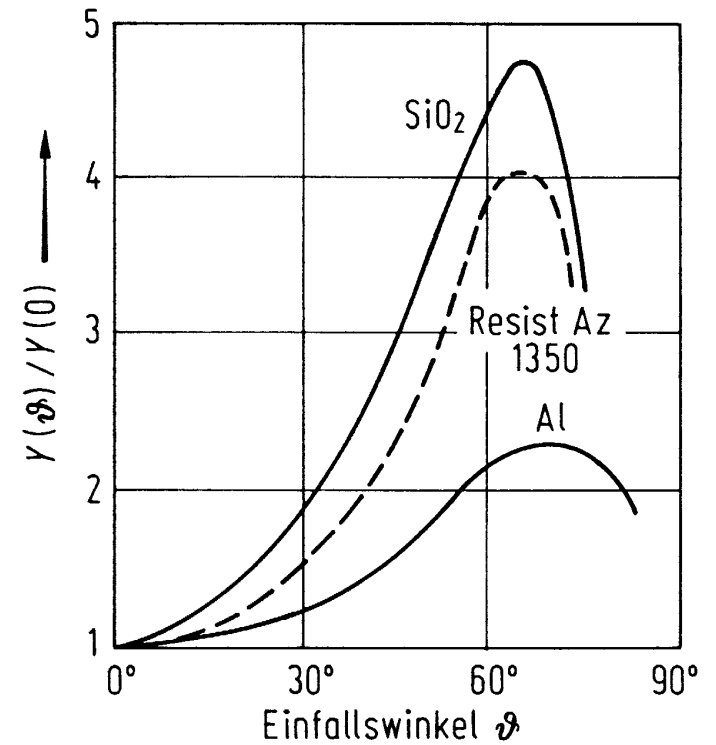
Targetmaterial

Die Sputterausbeute III

Abhängigkeit von:

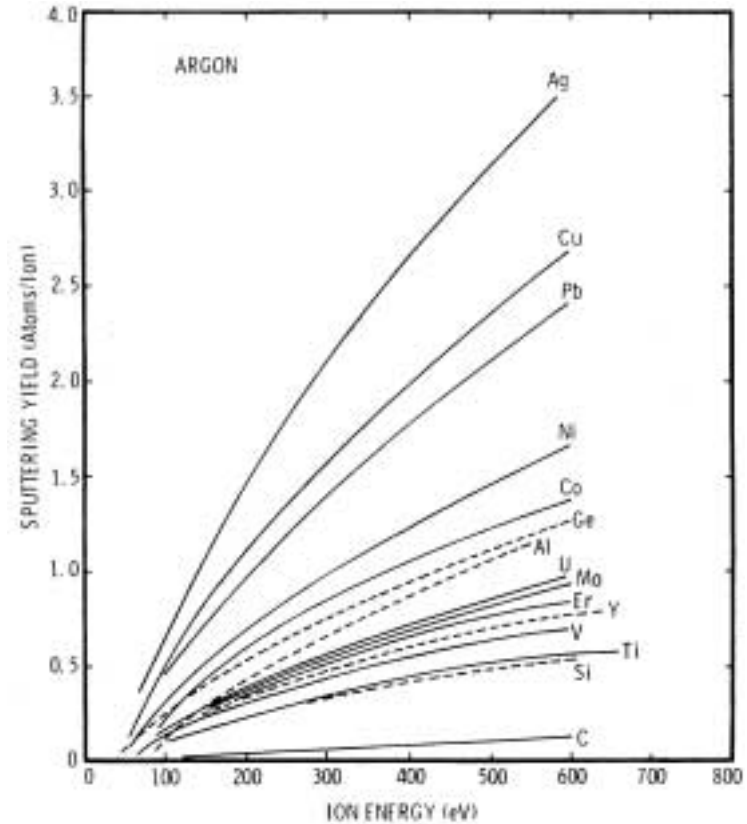
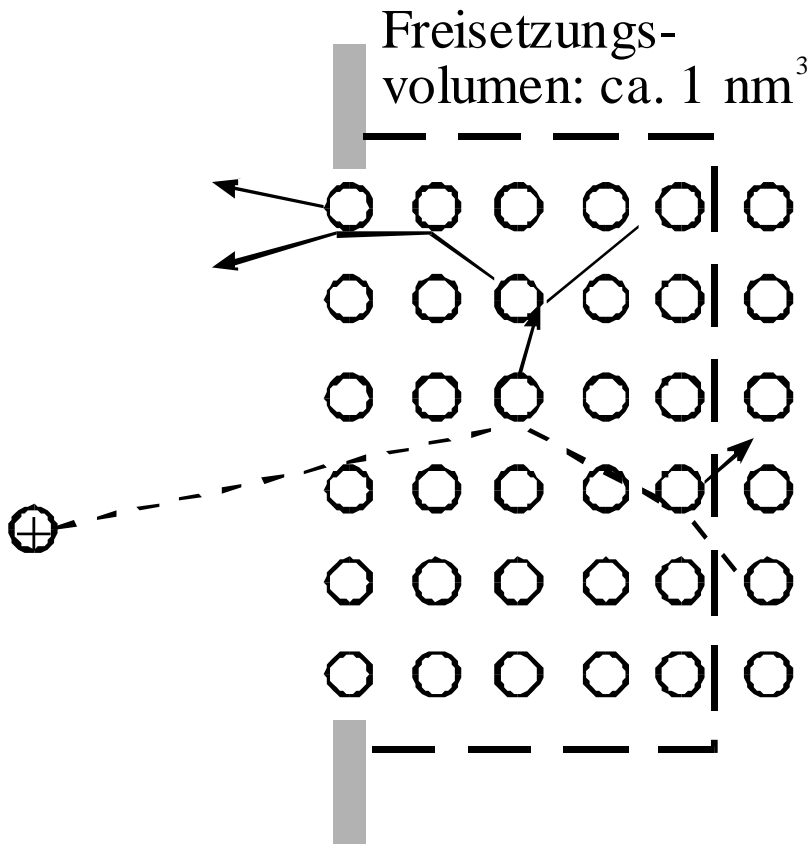


Massenzahl der Ionen



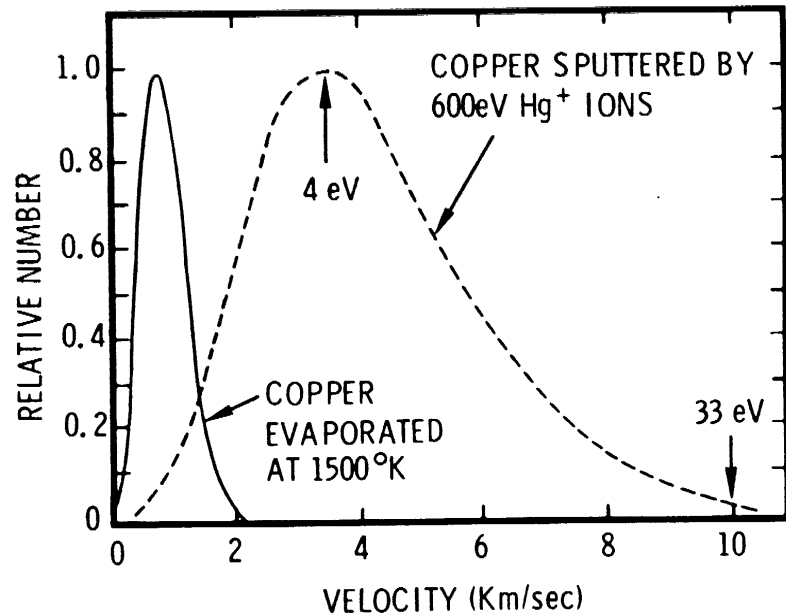
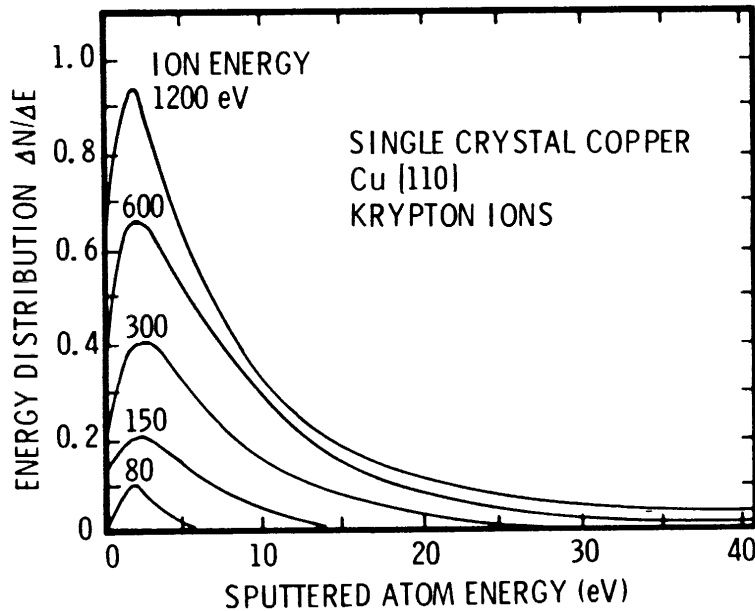
Ioneneinfallswinkel

Lineare Stosskaskade: Globale Charakteristika



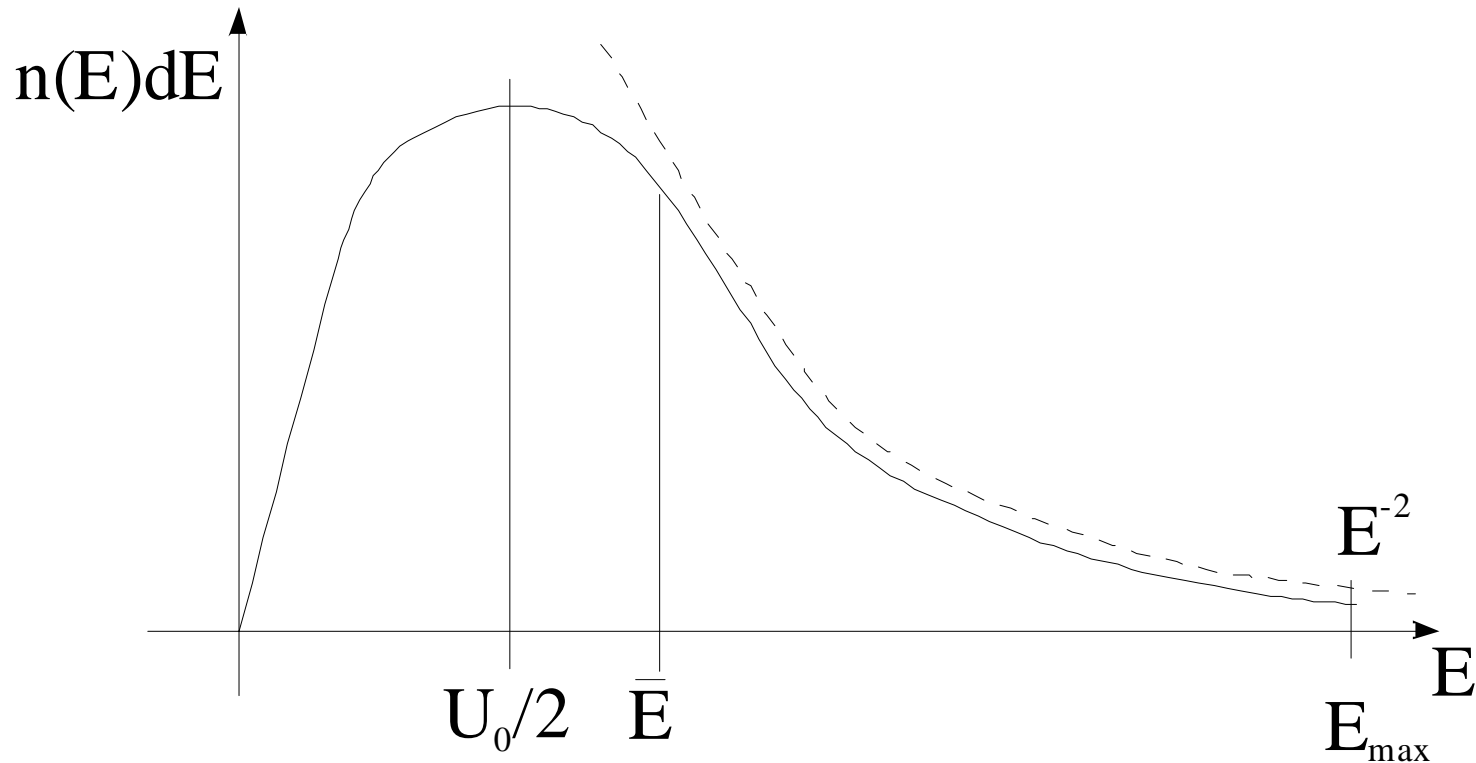
$$Y = 0,5 - 4$$

Energieverteilung der emittierten Teilchen



Die Energieverteilung gesputterter Teilchen unterscheidet sich deutlich von jener thermisch evaporierter Atome!

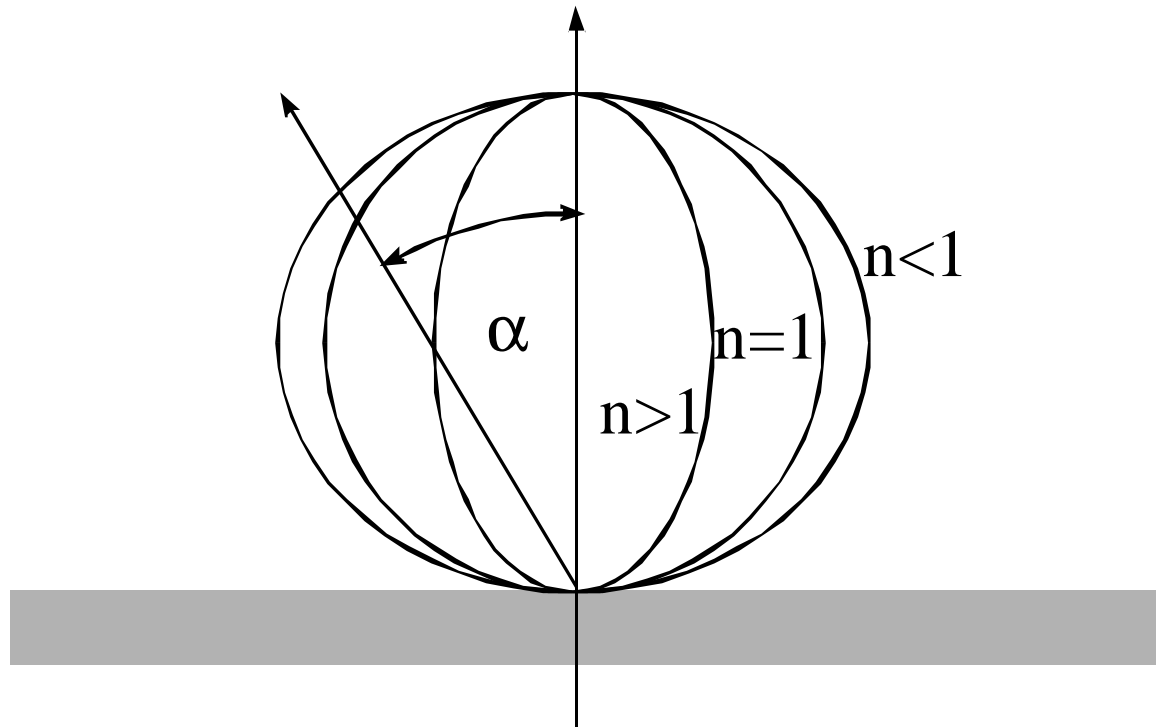
Lineare Stoskaskade: Energieverteilung



$$n(E)dE \propto \frac{E}{(E + U_0)^3} dE$$

E_{\max} = Maximalenergie, $E_{\max} \propto E^+$
 \bar{E} = mittlere Emissionsenergie

Lineare Stosskaskade: Winkelverteilung

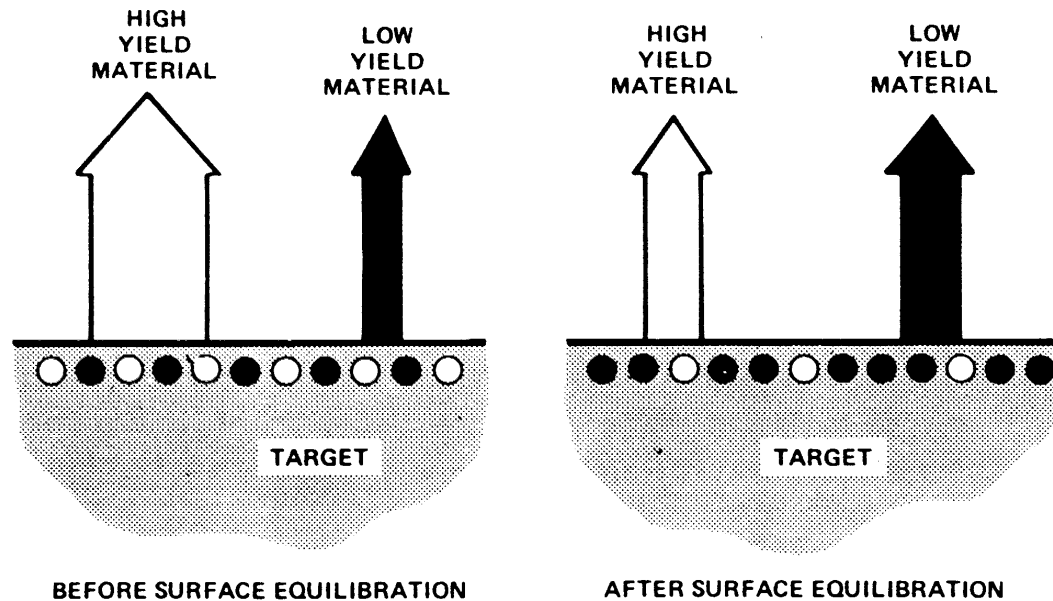


$$n(\alpha) \propto \cos^n \alpha$$

$$n \leq 1 \quad E < 1 \text{ keV}$$

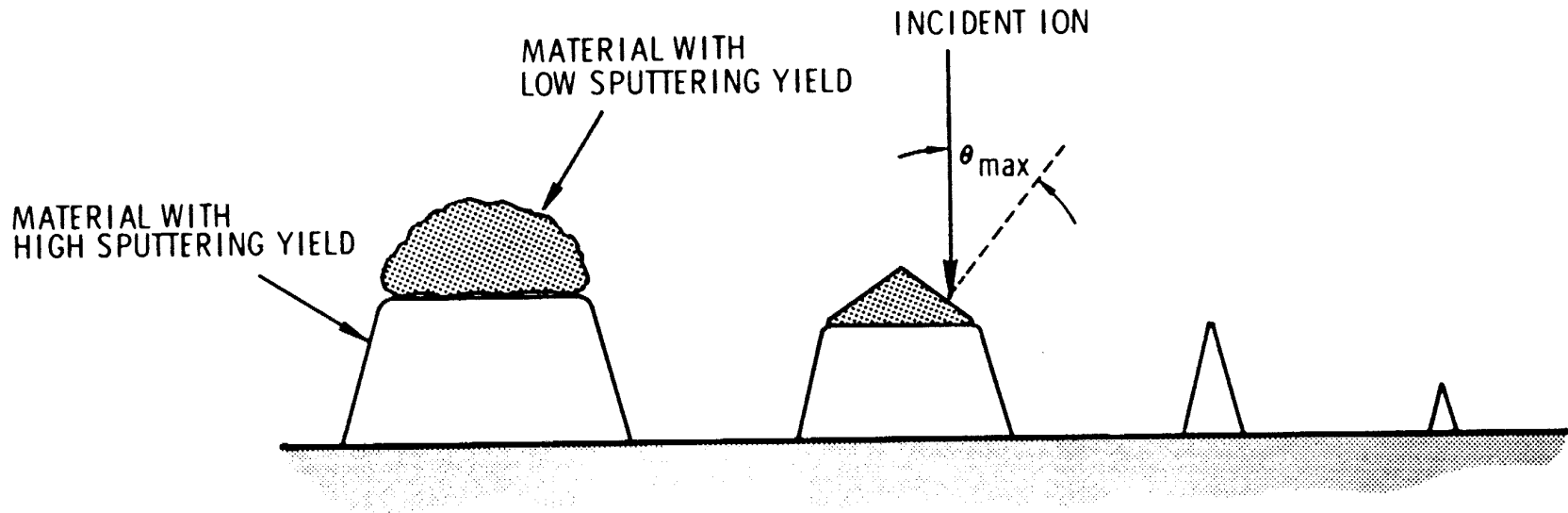
$$n > 1 \quad E > 1 \text{ keV}$$

Sputtern von Legierungen: verschiedenes γ



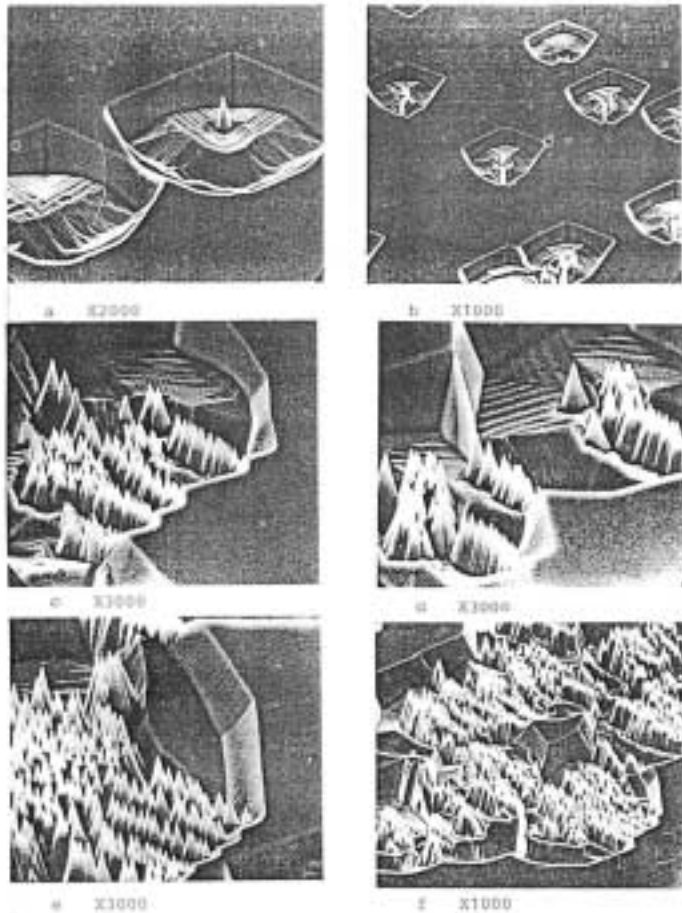
Bei einer gleichmässigen Verteilung von Materialien verschiedener Sputterausbeuten entspricht (nach einer Einlaufphase) die Dampfstrahlzusammensetzung der ursprünglichen Targetzusammensetzung.

Sputtern von Legierungen: Konusbildung I



Liegt Material einer geringeren Sputterausbeute in Form von grossen Ausscheidungen vor, so kommt es zur Konusbildung am Target.

Sputtern von Legierungen: Konusbildung II



(1131) Cu nach Fleischer : $1 \cdot 10^{19} \cdot 40 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$

102

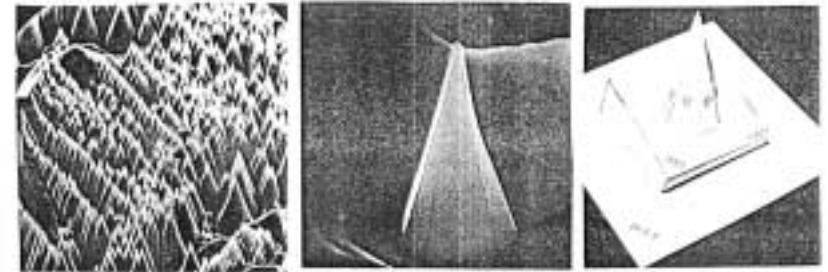


Fig. 4a X2000

Fig. 4b X20,000

(1131) Eisenkristall
Cu, $10^{19} \text{ 40kcal/m}^2 \text{ cm}^{-2}$

Pyramide

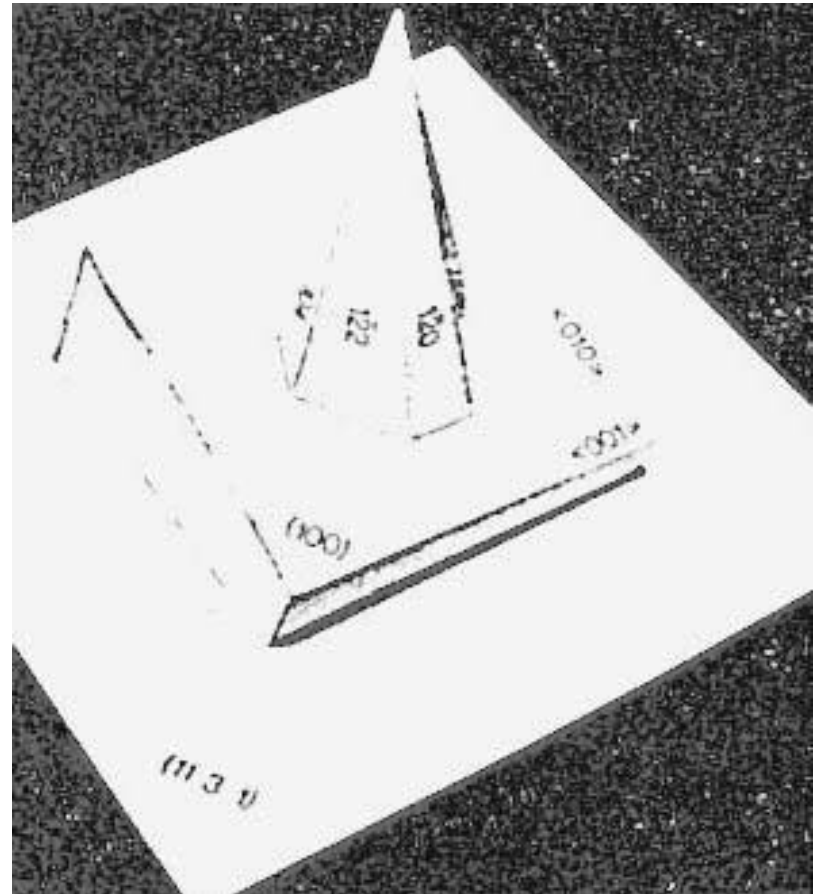
Die Seitenflächen der Konusse sind oft kristallographische Oberflächen oder haben einen Neigungswinkel, der dem des maximalen γ entspricht.

Sputtern von Einkristallen: Sputterausbeute

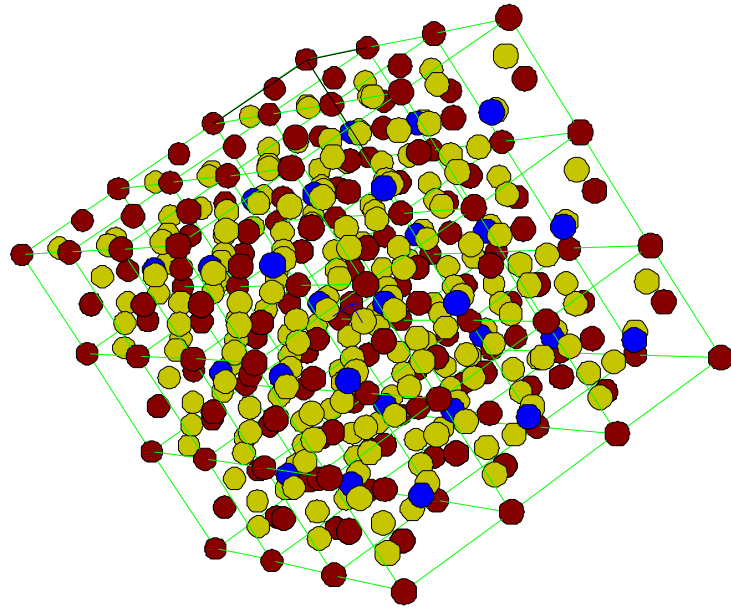
Die Sputterausbeute ist abhängig vom kristallographischen Index einer Kristallebene.

Beispiel: Konusbildung

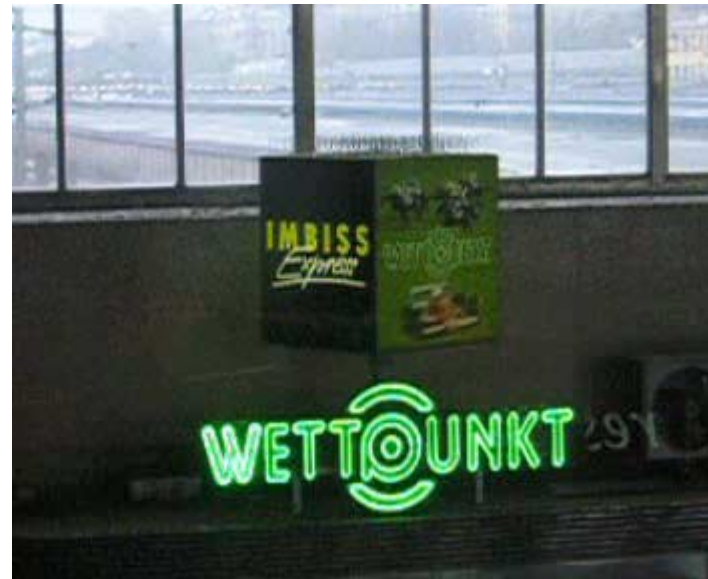
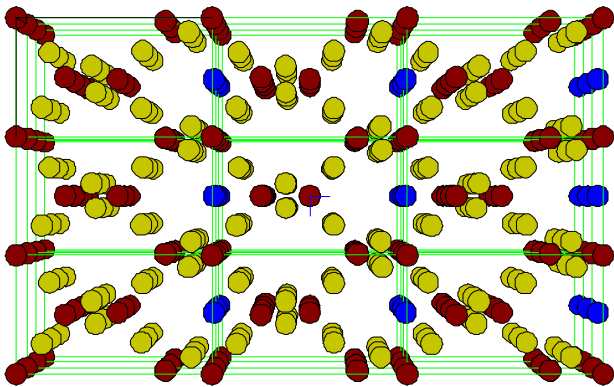
$$Y = Y(h, k, l)$$



Sputtern von Einkristallen: Channelling

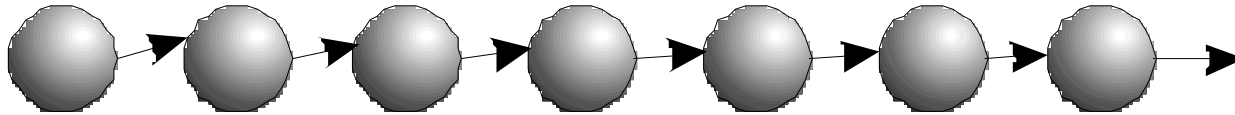


Je nach Einfallsrichtung dringen Ionen mehr oder weniger tief in einen Einkristall ein.



Sputtern von Einkristallen: Wehner-Spots

Stossfokussierung entlang dicht gepackter kristallographischer Richtungen:



***Y = Maximum entlang dieser Richtungen!
Positioniert man einen halbkugelförmigen Kollektor über einem einkristallinen Target, so entstehen dort "Wehner-Spots".***