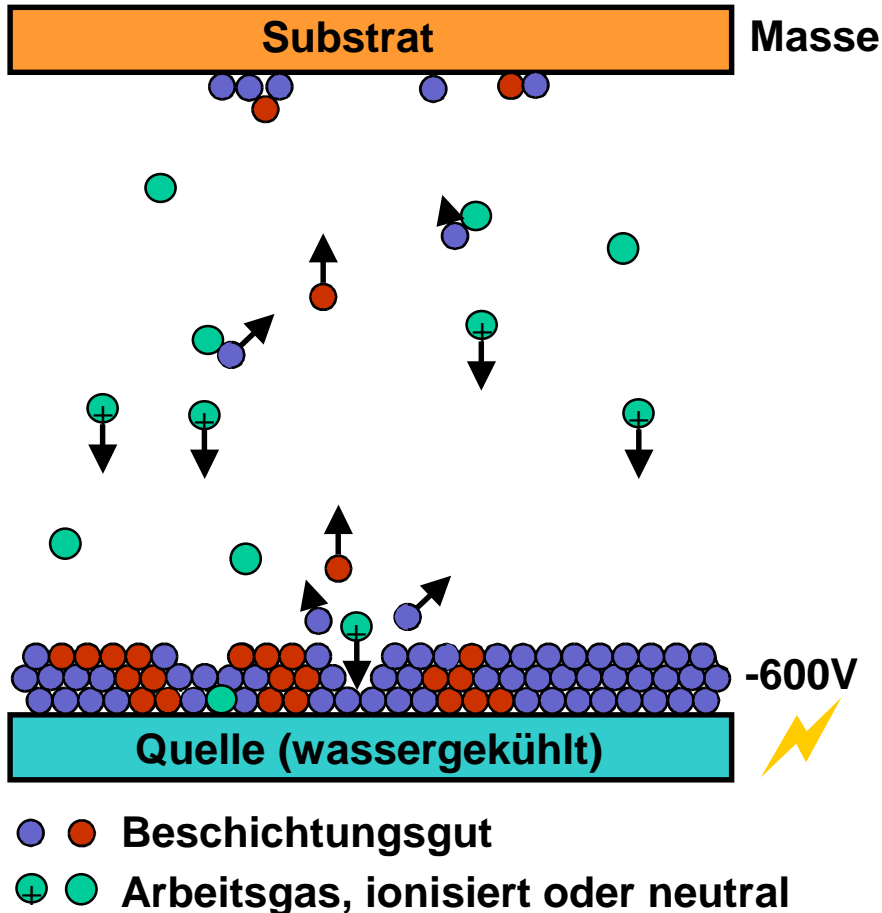


Wiederholung: Der Sputterprozess

Elementarprozesse:

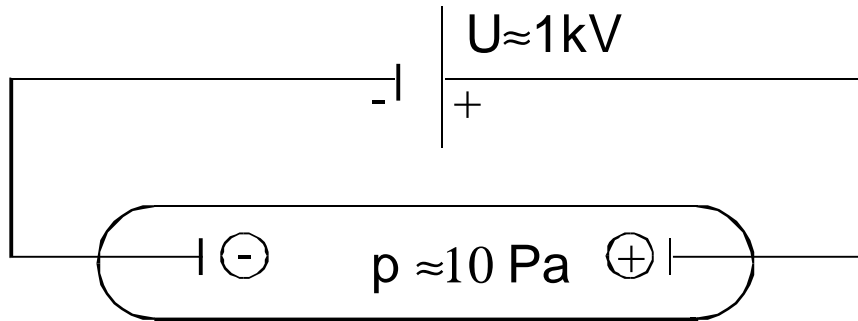


Besondere Kennzeichen:

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

Wiederholung: Gasentladung

Versuchsanordnung:

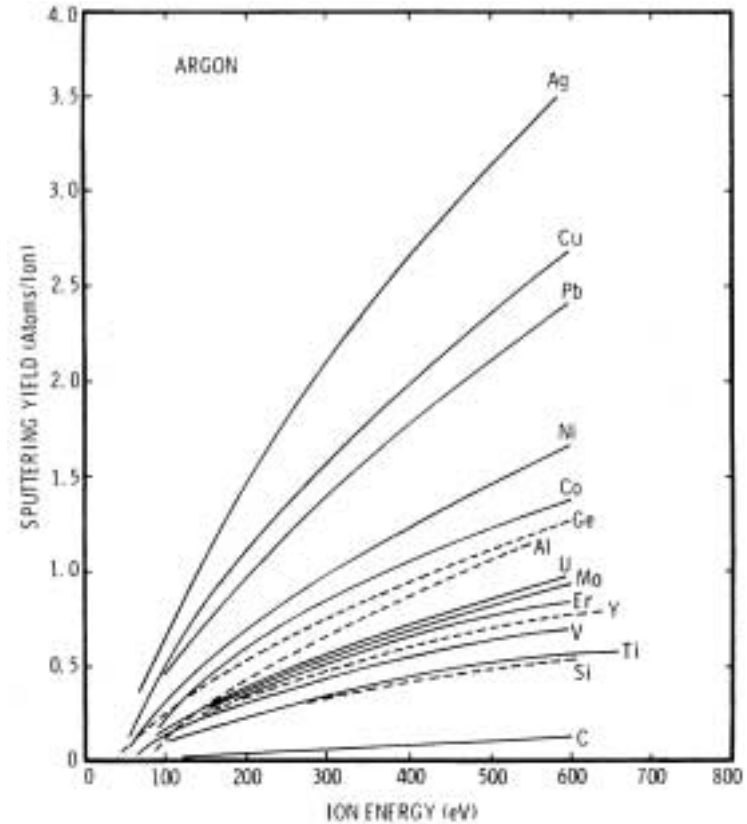
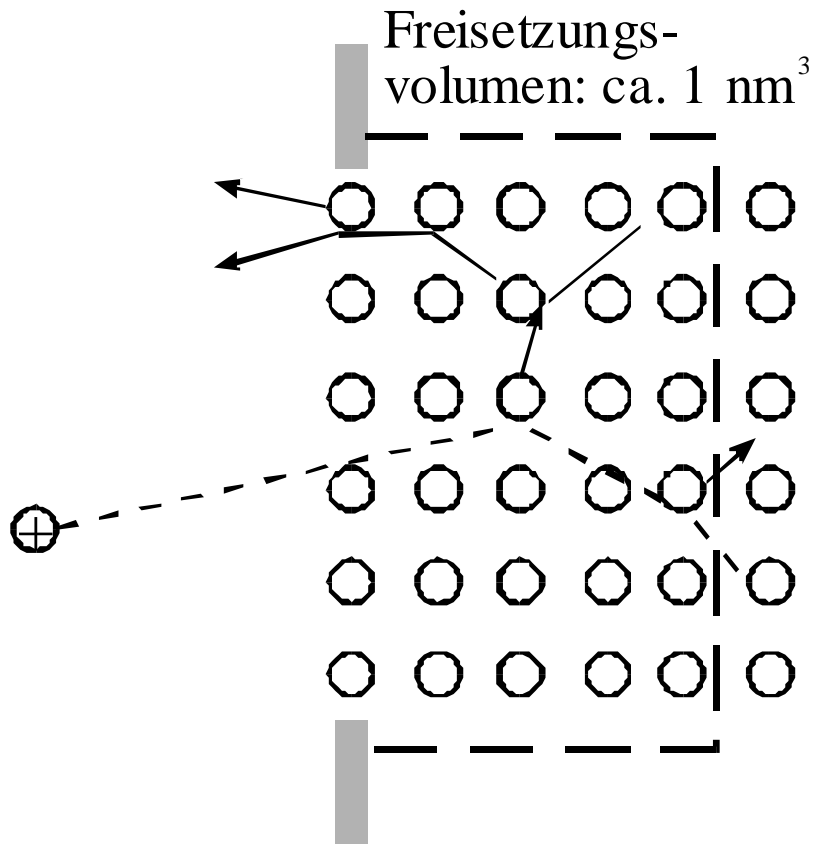


Kriterien für eine selbstständige Gasentladung:

Eine Gasentladung kann dann aufrecht erhalten werden, wenn:

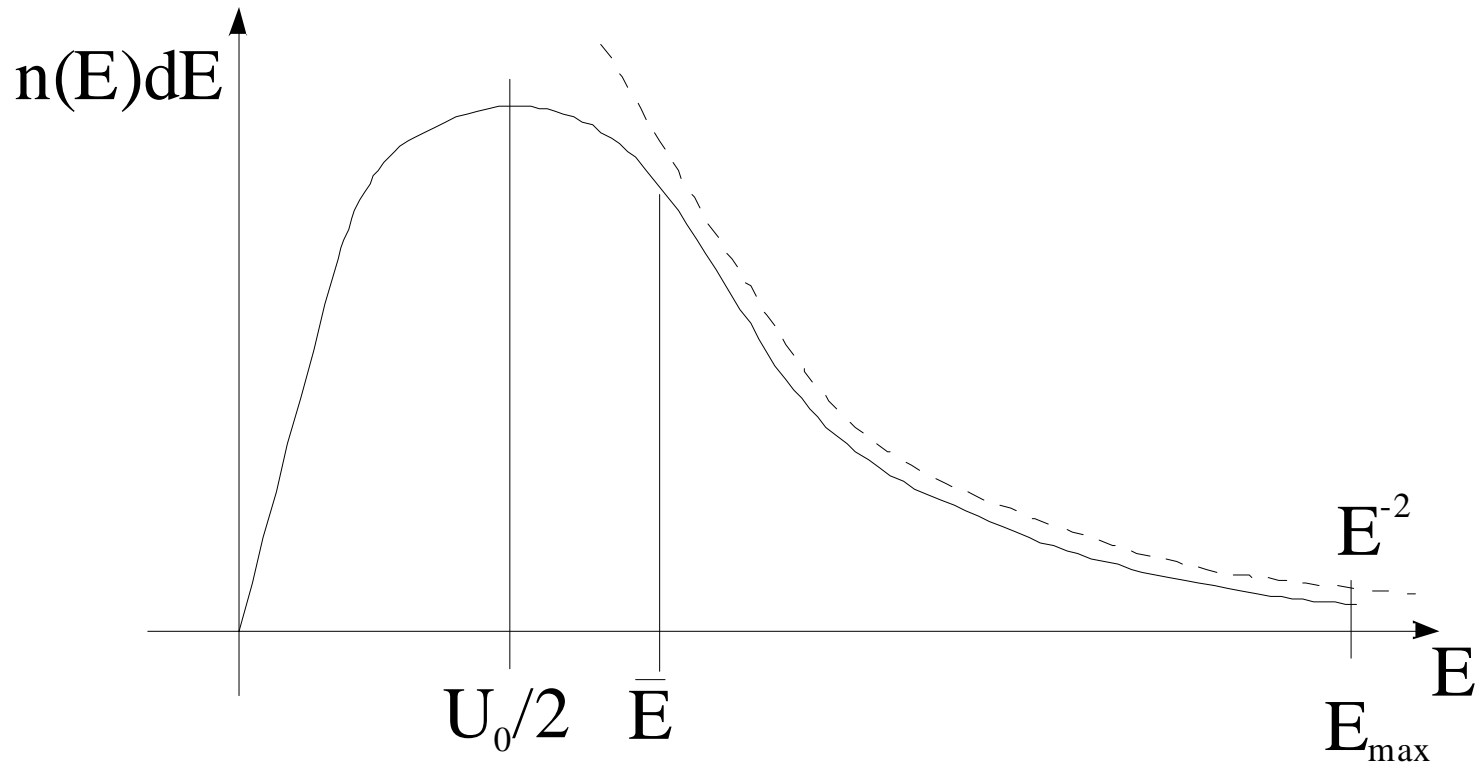
- die mittlere freie Weglänge der Elektronen groß genug ist, um bei gegebenem U neutrale Gasatome zu ionisieren
→ **verdünntes Gas** notwendig
- genügend Gasatome vorhanden sind, um eine Ionisierungskaskade zu ermöglichen
→ **kein "zu gutes" Vakuum** notwendig

Wiederholung: globale Charakteristika



$$Y = 0,5 - 4$$

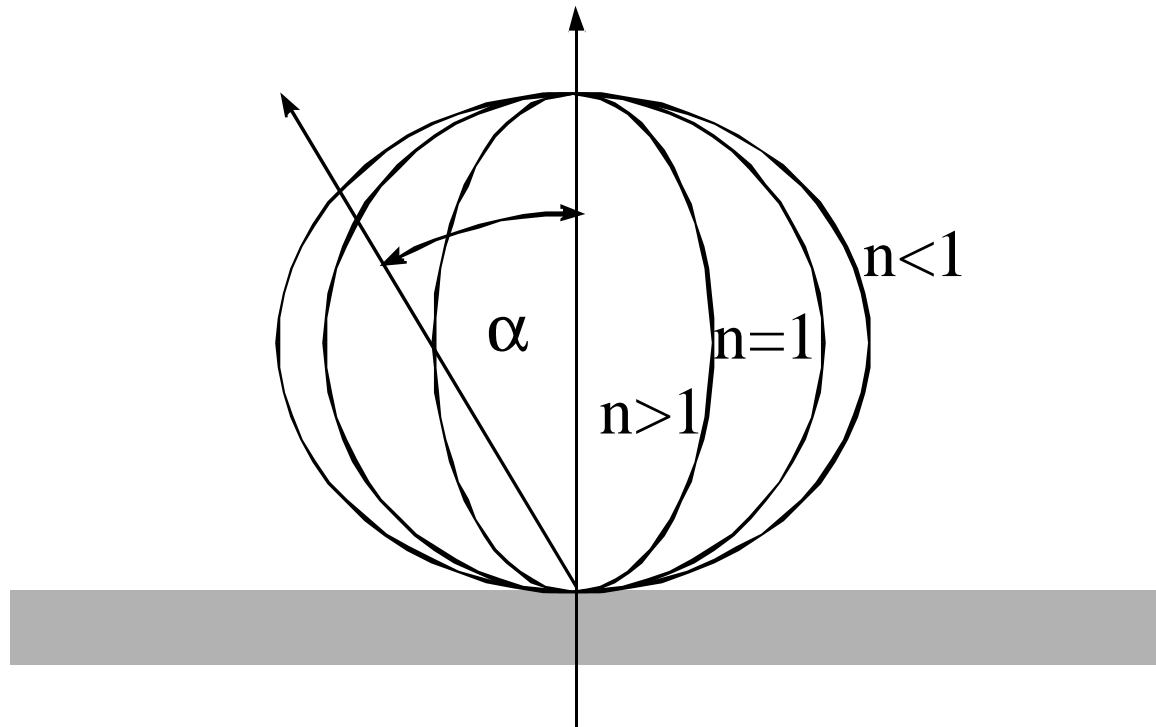
Wiederholung: Energieverteilung



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

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

Wiederholung: Winkelverteilung

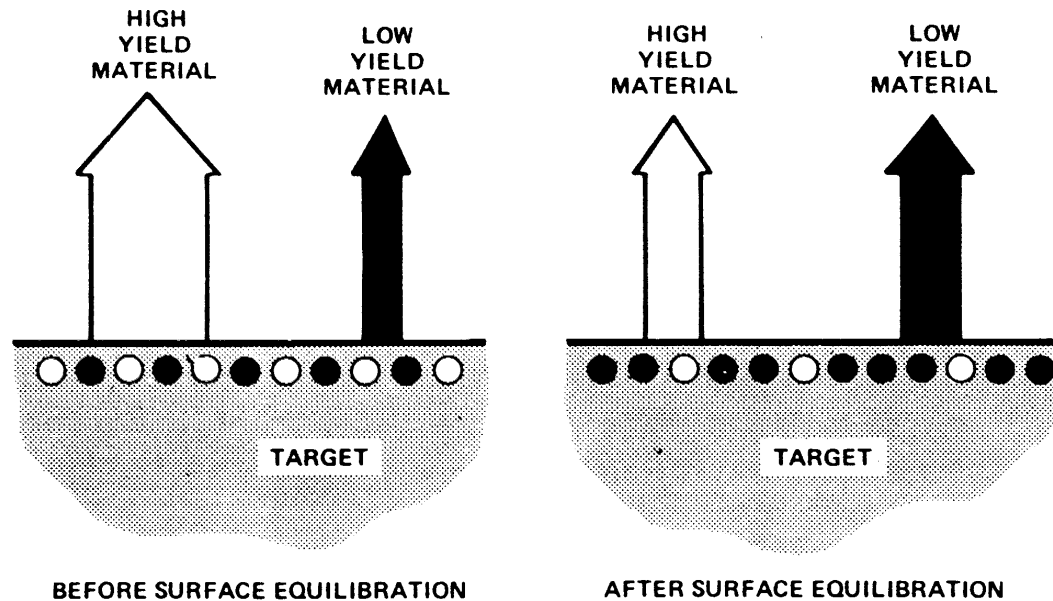


$$n(\alpha) \propto \cos^n \alpha$$

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

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

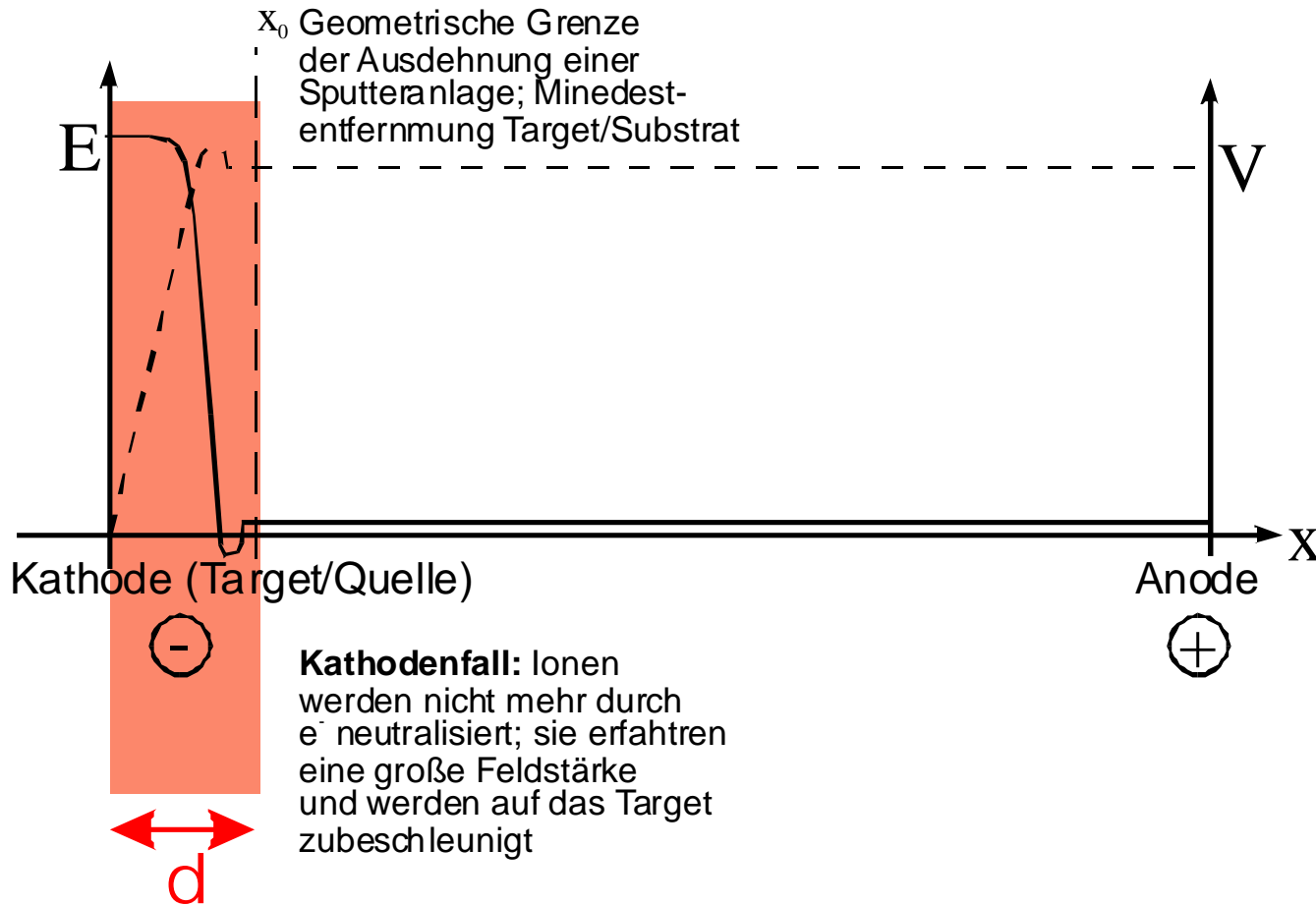
Wiederholung: Sputtern von Legierungen



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

Praktische Aspekte des Sputterverfahrens

Verkleinerung des Kathodendunkelraumes!



Modifikationen der Diodenentladung:

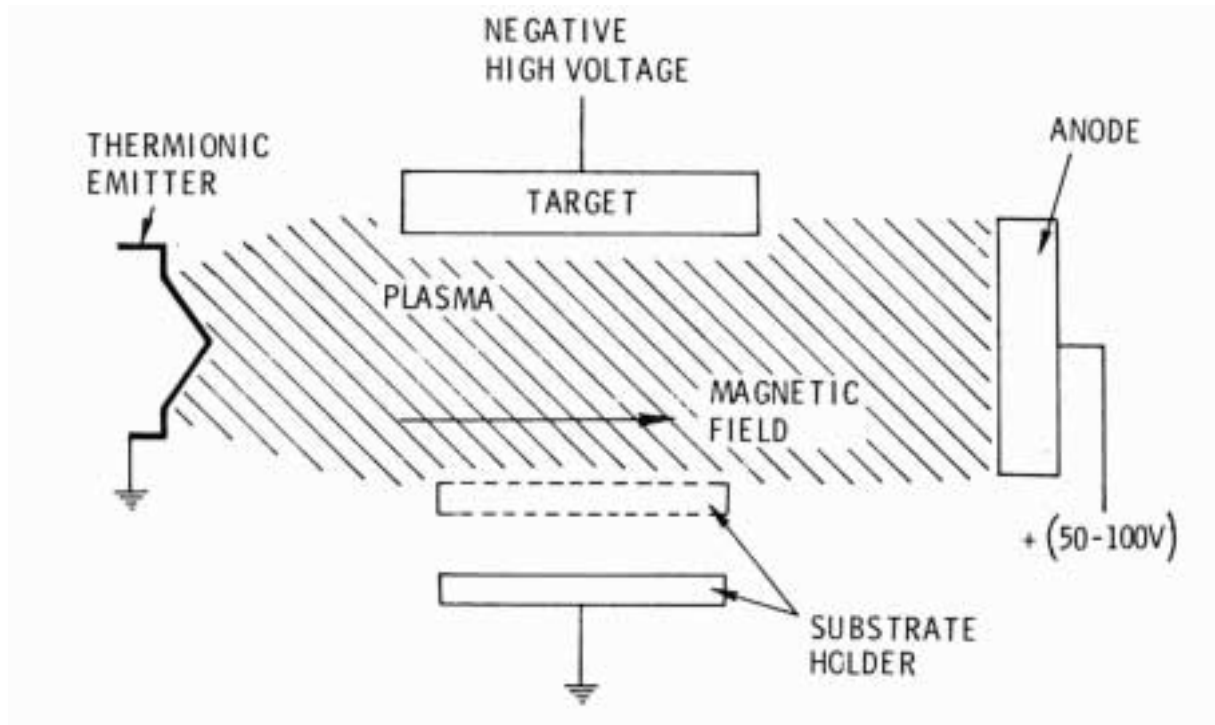
Zielsetzungen:

- a) Verkleinerung des Dunkelraumes
- b) Steigerung des Ionenstromes zwecks Ratensteigerung
- c) Druckverringerung des Hintergrundgases (Reinheit)
- d) Verbreiterung der Materialklasse (Halbleiter/Isolatoren)

Verfahrensmodifikationen:

- RF-Sputtern: c/d
- Triodensputtern: a-c
- Magnetronsputtern: a-c
- RF-Magnetron: a-d
- Ionenstrahlsputtern: c; Ionenenergie wählbar

Triodenentladung (thermischer Emitter)



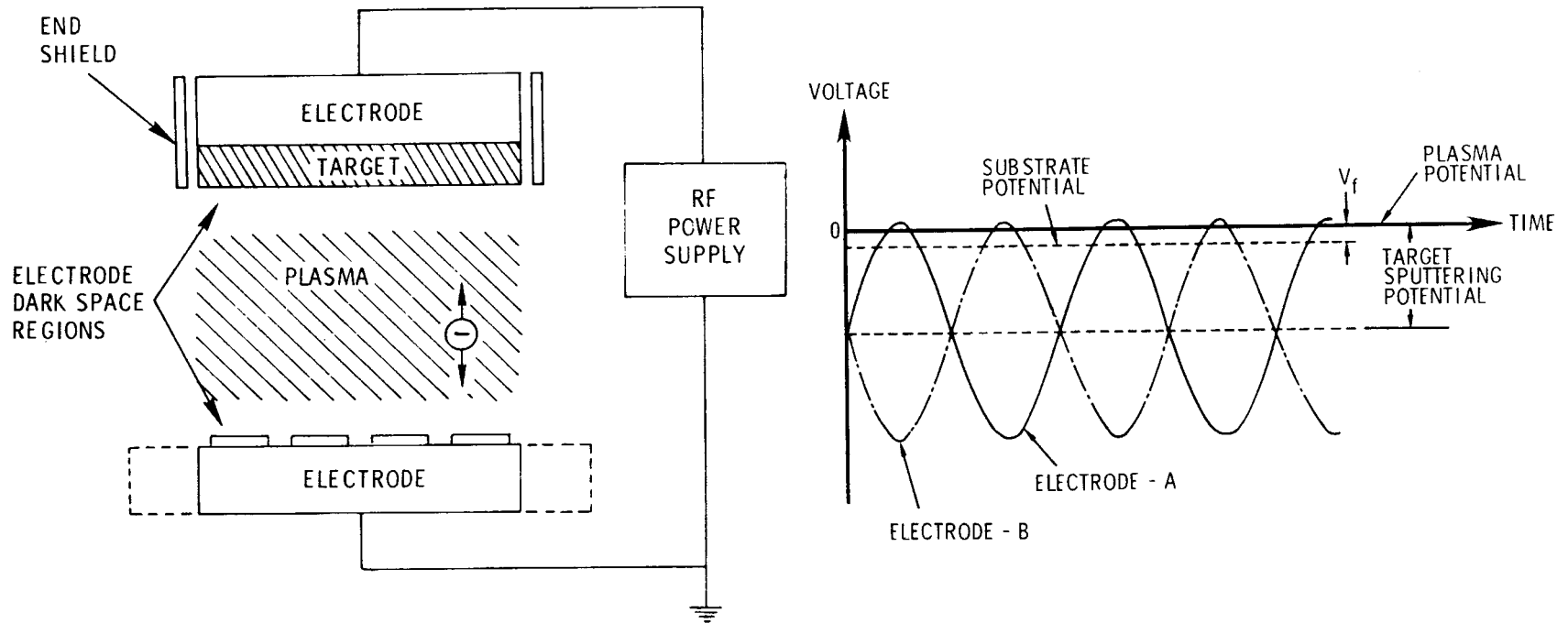
Elektronen werden durch Glühemission injiziert

*** Höhere Elektronendichte**

*** Gasdruck kann verringert werden**

*** Aber: Glühfilament anfällig (Beschichtung/Legierung)**

Hochfrequenzsputtern (RF-Sputtern) I



$f = 13,56$ MHz (freigegebene Industriefrequenz)

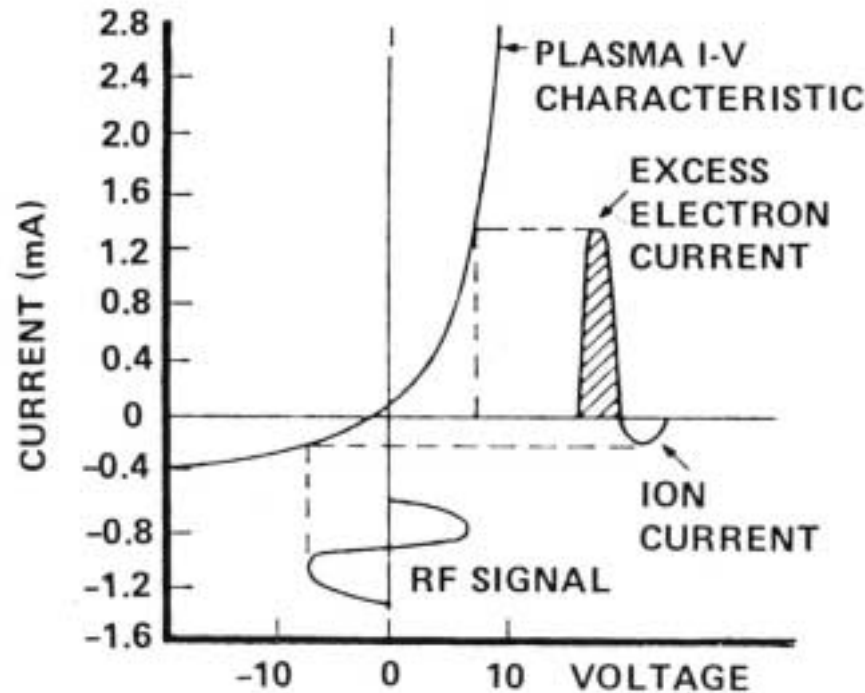
*** Höhere Elektronendichte**

*** Isolatoren können zerstäubt werden**

*** Gasdruck kann verringert werden**

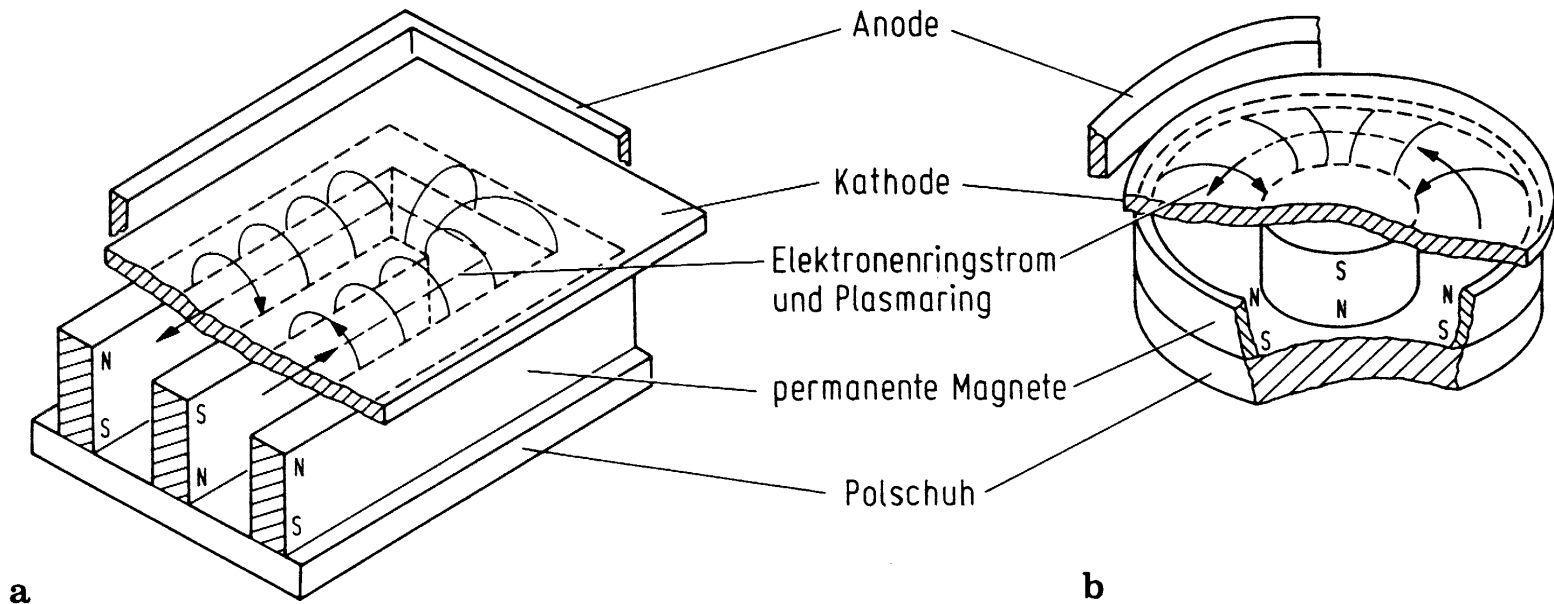
*** Andere Plasmacharakteristik (EEDF, Plasmapotential)**

Hochfrequenzsputtern (RF-Sputtern) II



Ein überschüssiger Elektronenstrom wird durch die höhere Elektronenbeweglichkeit erzeugt. Dieser bewirkt eine negative Nettospannung am Target, unabhängig davon, ob es leitet oder nicht.

Magnetron-Sputtern, Grundlagen I



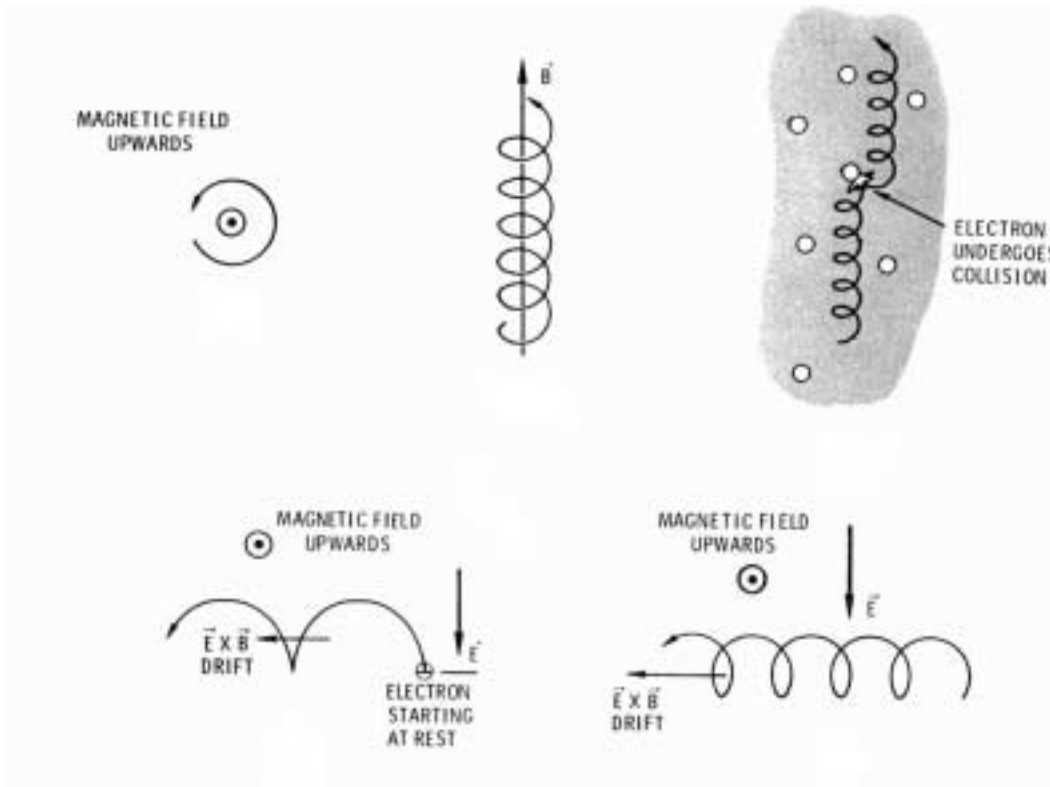
Permanentmagnete hinter dem Target konzentrieren das Plasma in Targetnähe.

*** Dunkelraum wird verkleinert**

*** Ionendichte wird vergrößert**

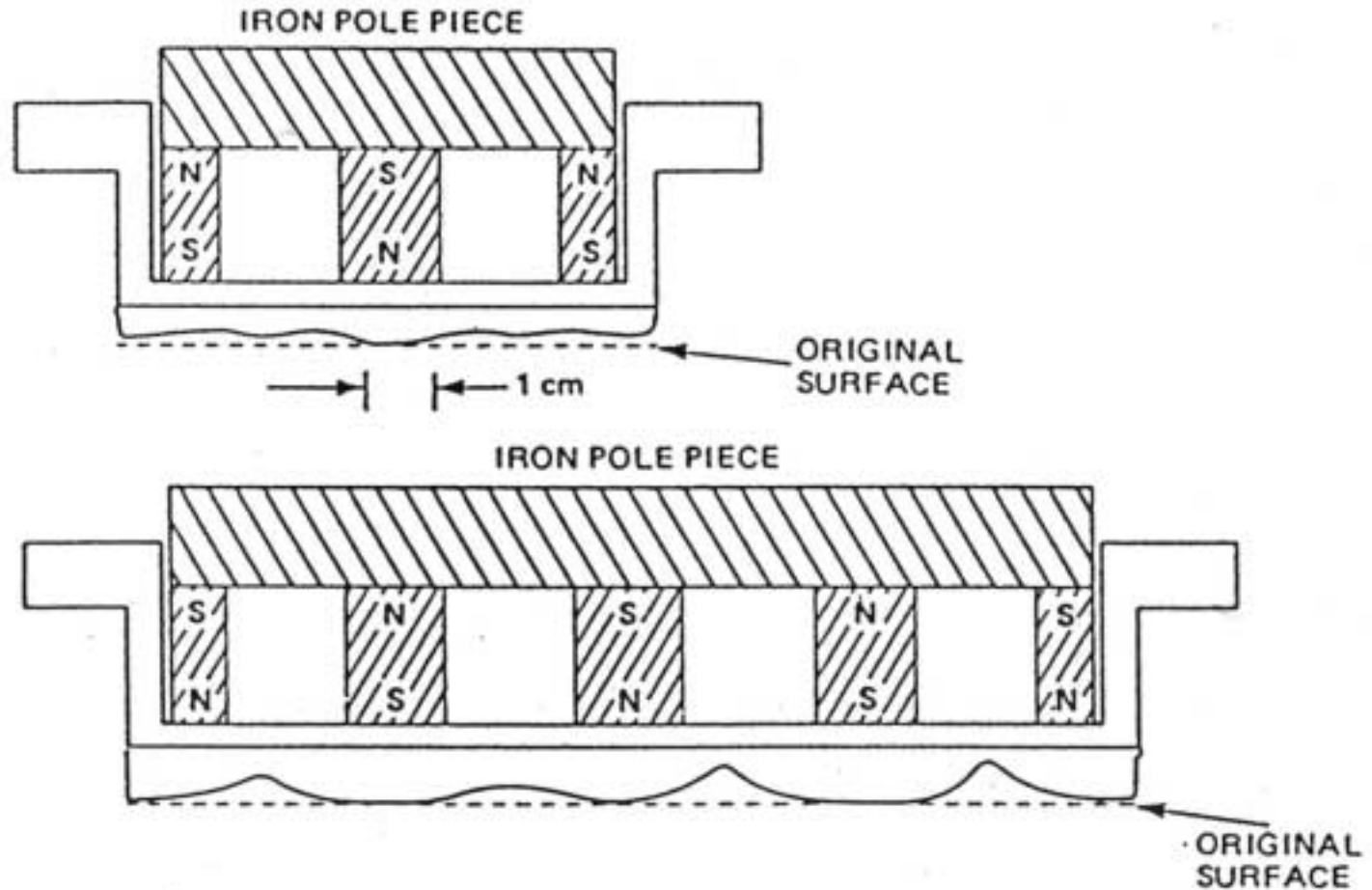
*** Gasdruck kann verringert werden**

Magnetron-Sputtern, Grundlagen II

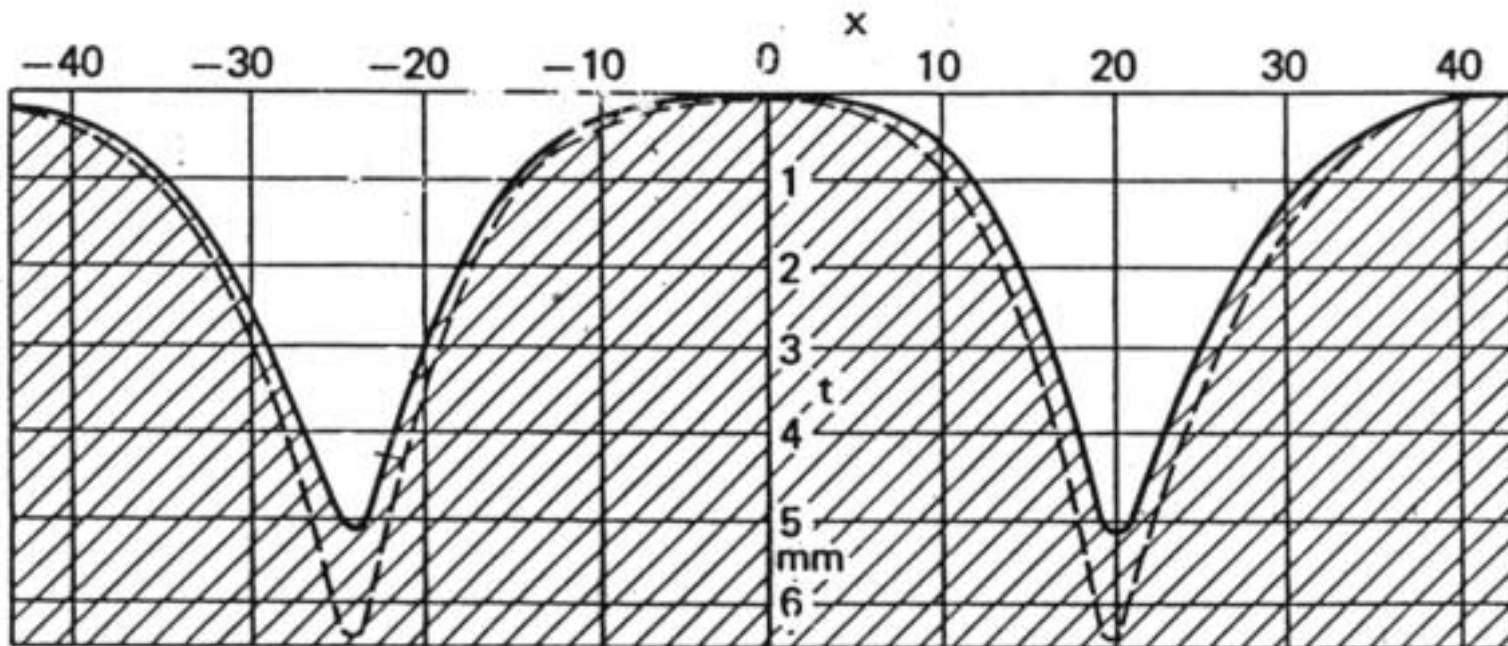


Das Magnetfeld hält die leichten Elektronen auf Spiralbahnen (Lorentz-Kraft) in der Nähe der Kathode. Ein Elektron kann daher in der Nähe des Targets wesentlich mehr Ionisierungsereignisse auslösen.

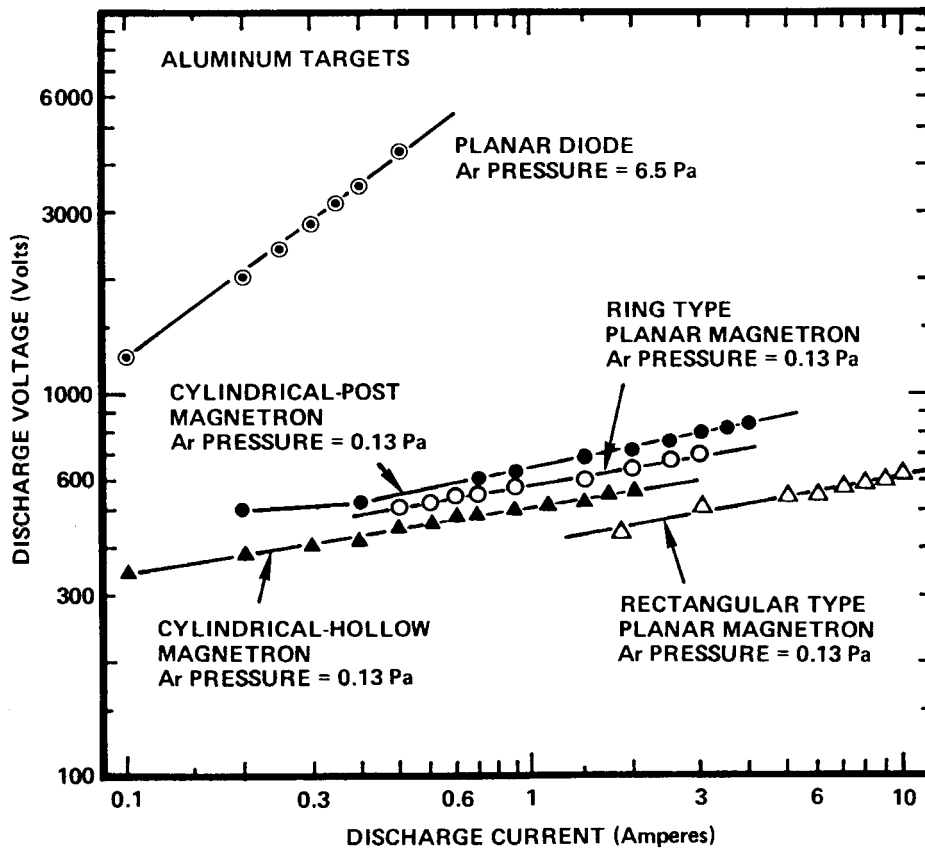
Magnetron-Sputtern: Magnetsysteme



Magnetron-Sputtern: Targeterosion



Magnetron-Sputtern: Kennlinien



Empirischer Zusammenhang:

$$R \propto I(k \cdot \ln U)$$

R = Erosionsrate

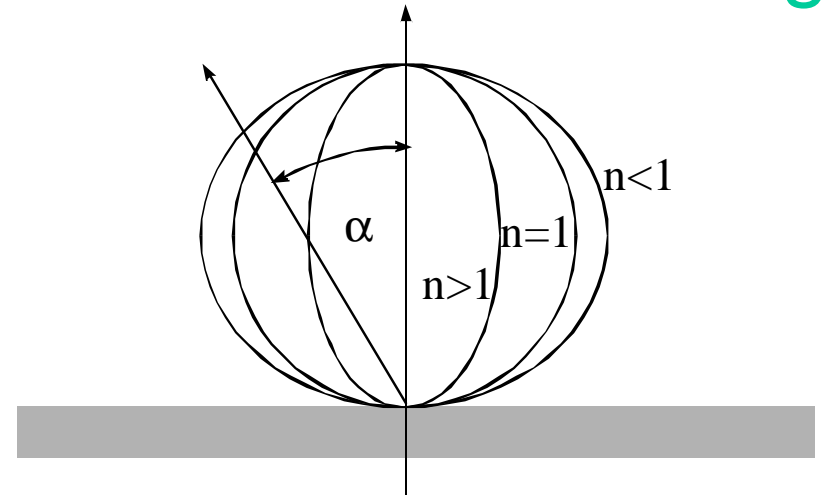
I = Entladungsstrom

U = Entladungsspannung

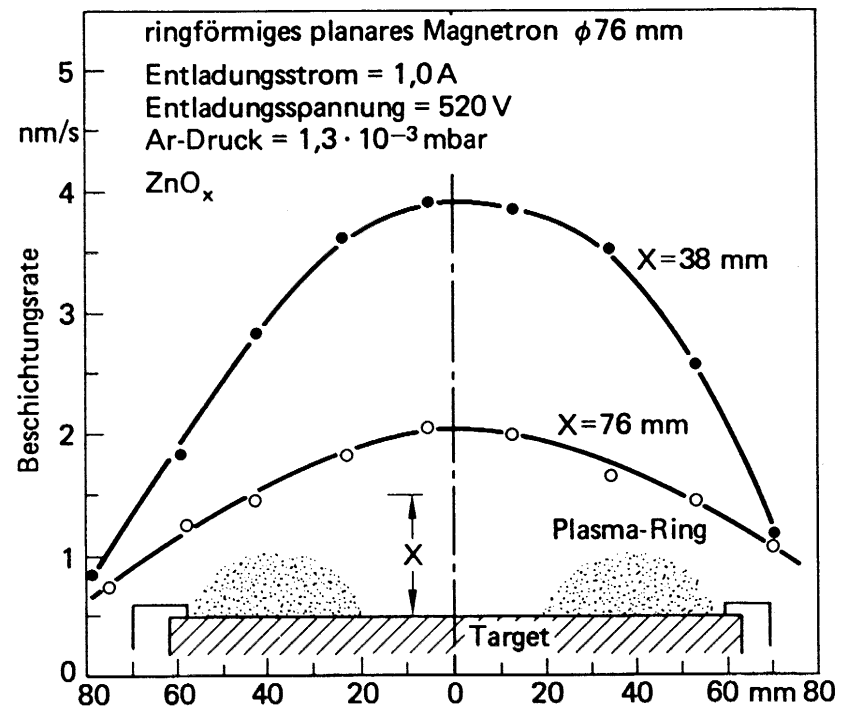
Magnetronentladungen arbeiten ausserdem bei wesentlich geringeren Gasdrücken!

Magnetron-Sputtern: Schichtdickenverteilung

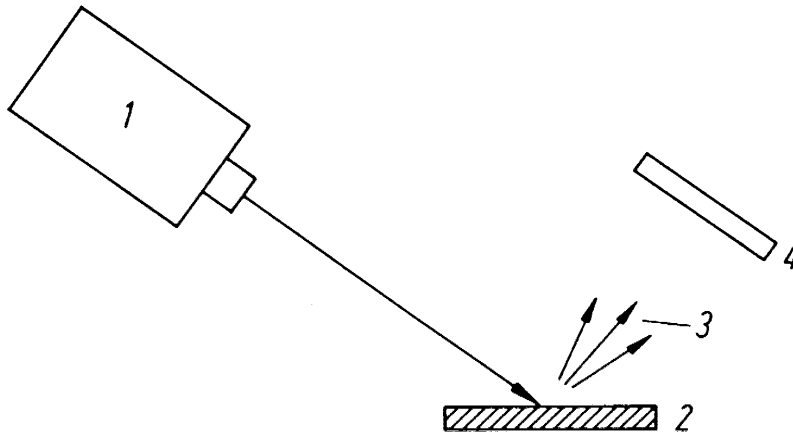
Winkelverteilung in einem Targetpunkt



Aufintegrierte Schichtdickenverteilung:



Ionenkanone

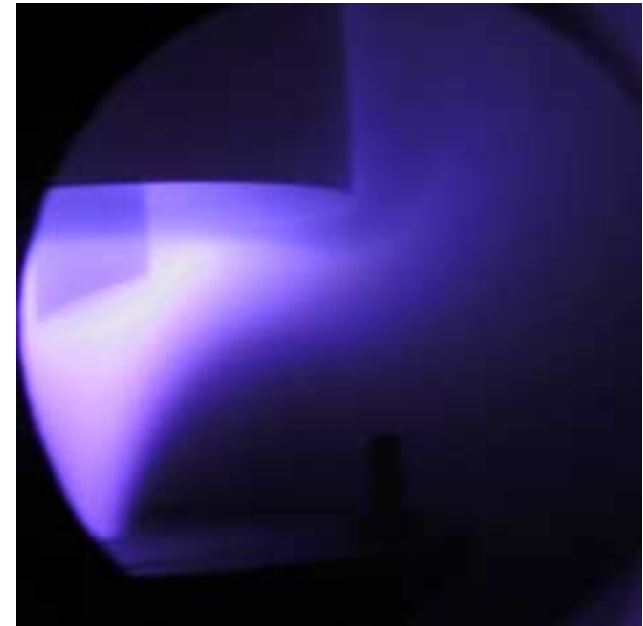
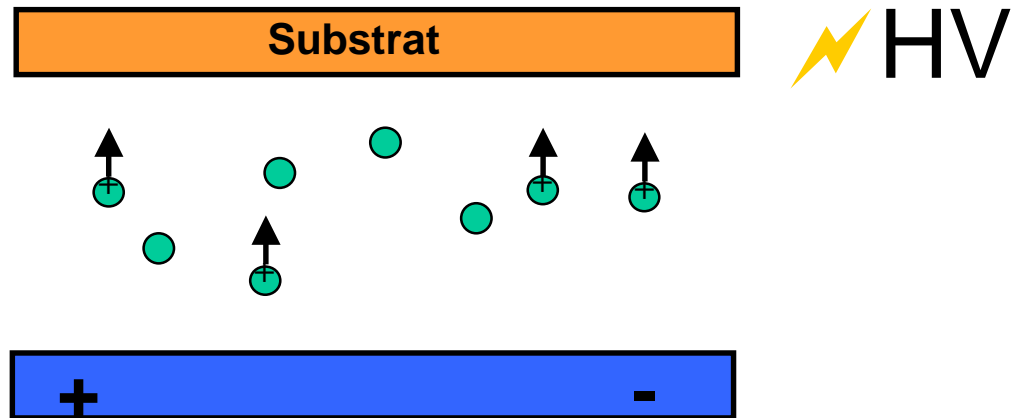


1. Ionenquelle
2. Target
3. Zerstäubte Spezies
4. Substrat

Vorteile der Ionenkanone:

- * Kontrolle über Ionenenergie
- * Kontrolle über Ioneneinfallswinkel
- * Kein Arbeitsgas, d. h. UHV-tauglich

Sputter-Reinigung



⊕ ● Arbeitsgas, ionisiert oder neutral

■ Magnetunterstützung (optional)

Das Sputterverfahren kann auch zur Reinigung von Oberflächen verwendet werden, wenn das Substrat auf negative Hochspannung gelegt wird und so als "Target" fungiert.