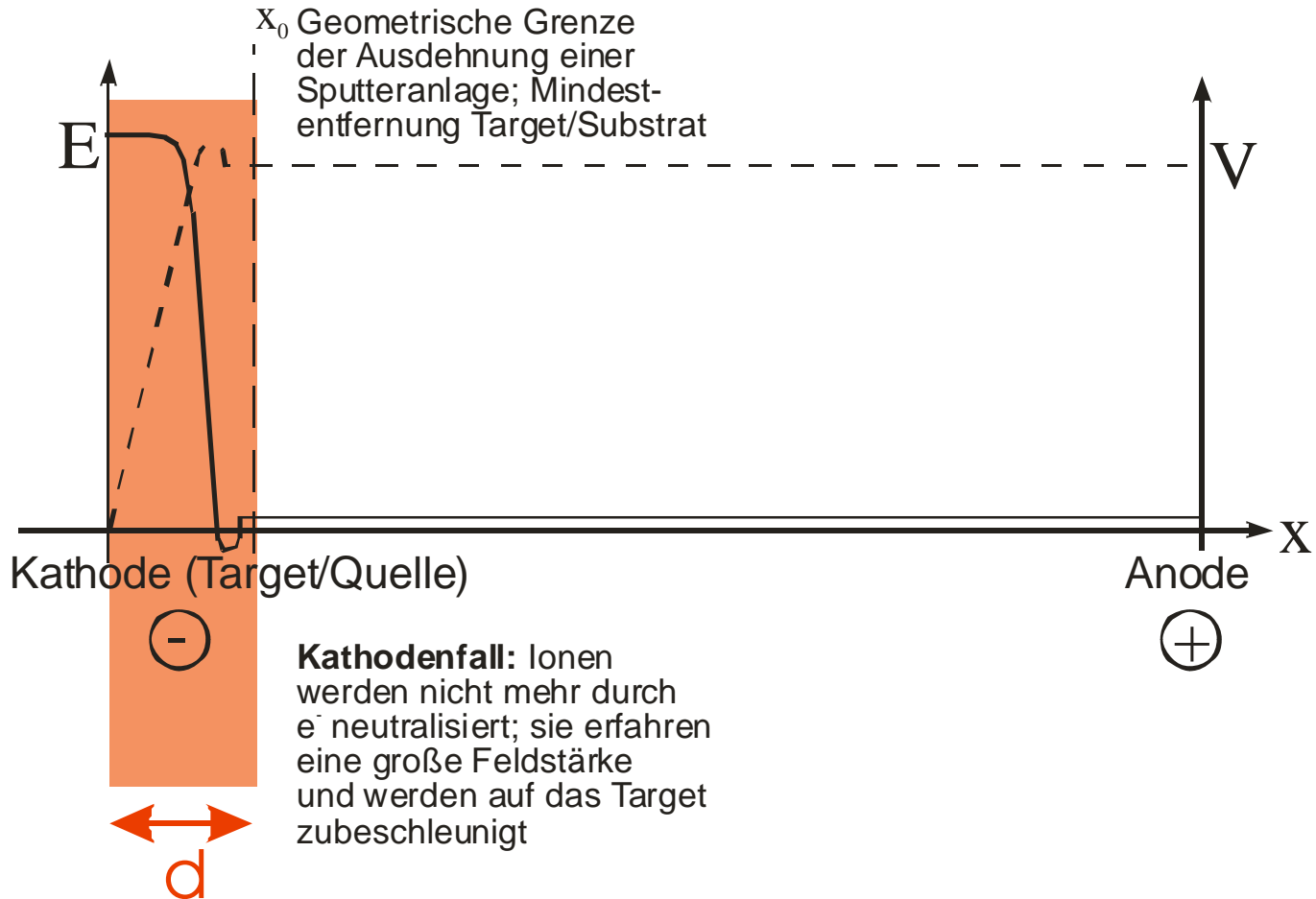


Wiederholung: praktische Aspekte

Verkleinerung des Kathodendunkelraumes!



Wiederholung: technische Modifikationen

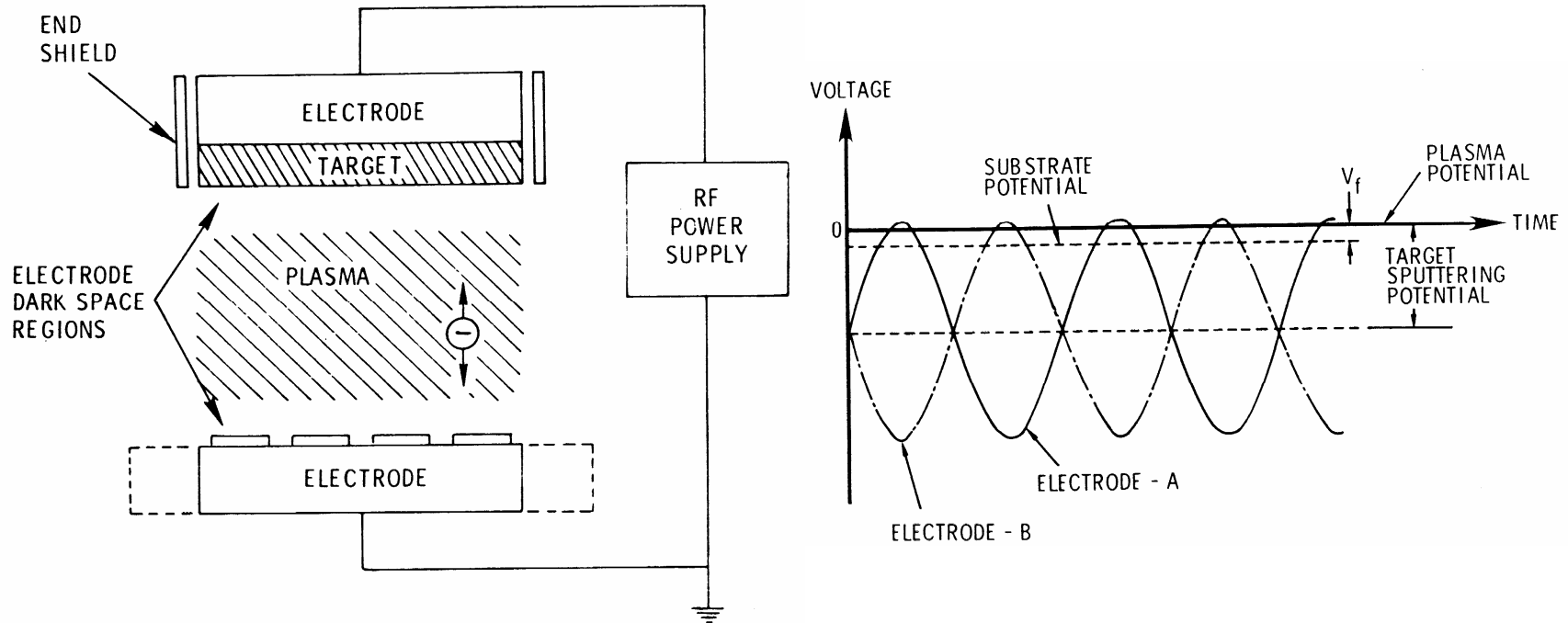
Zielsetzungen:

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

Wiederholung: RF-Sputtern



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

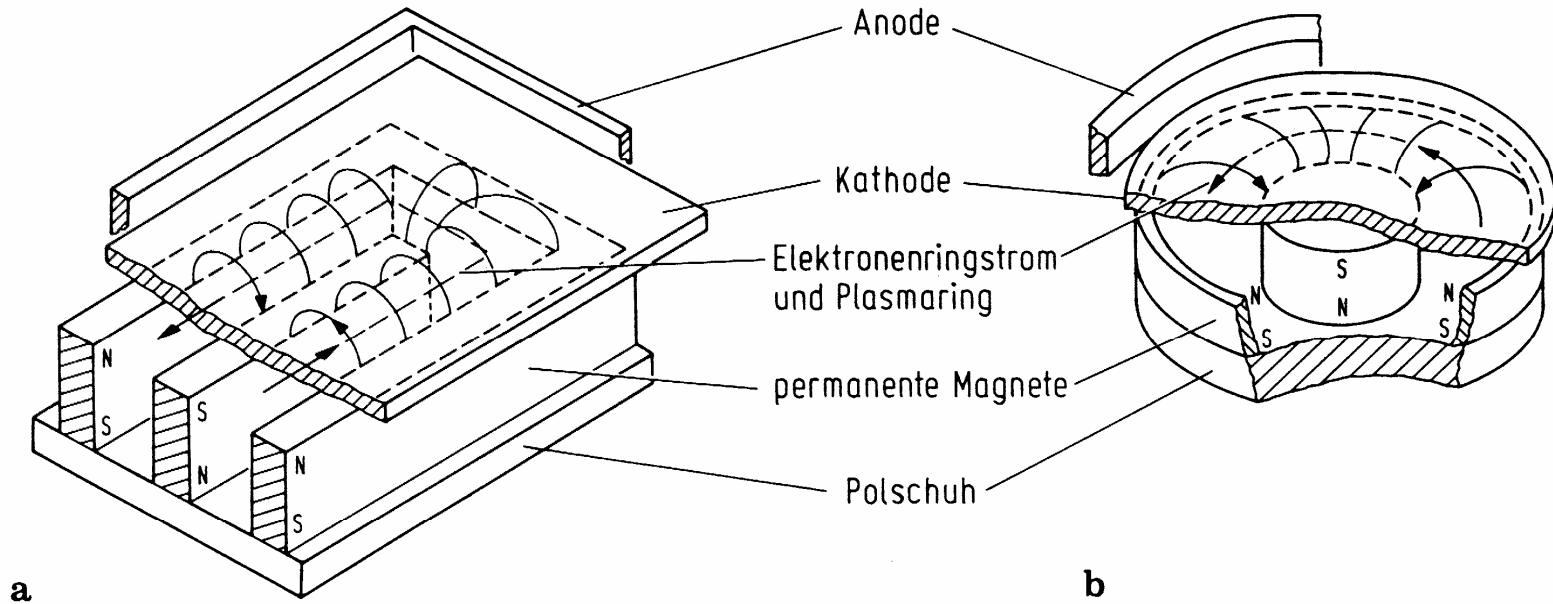
*** Höhere Elektronendichte**

*** Isolatoren können zerstäubt werden**

*** Gasdruck kann verringert werden**

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

Wiederholung: Magnetron-Sputtern



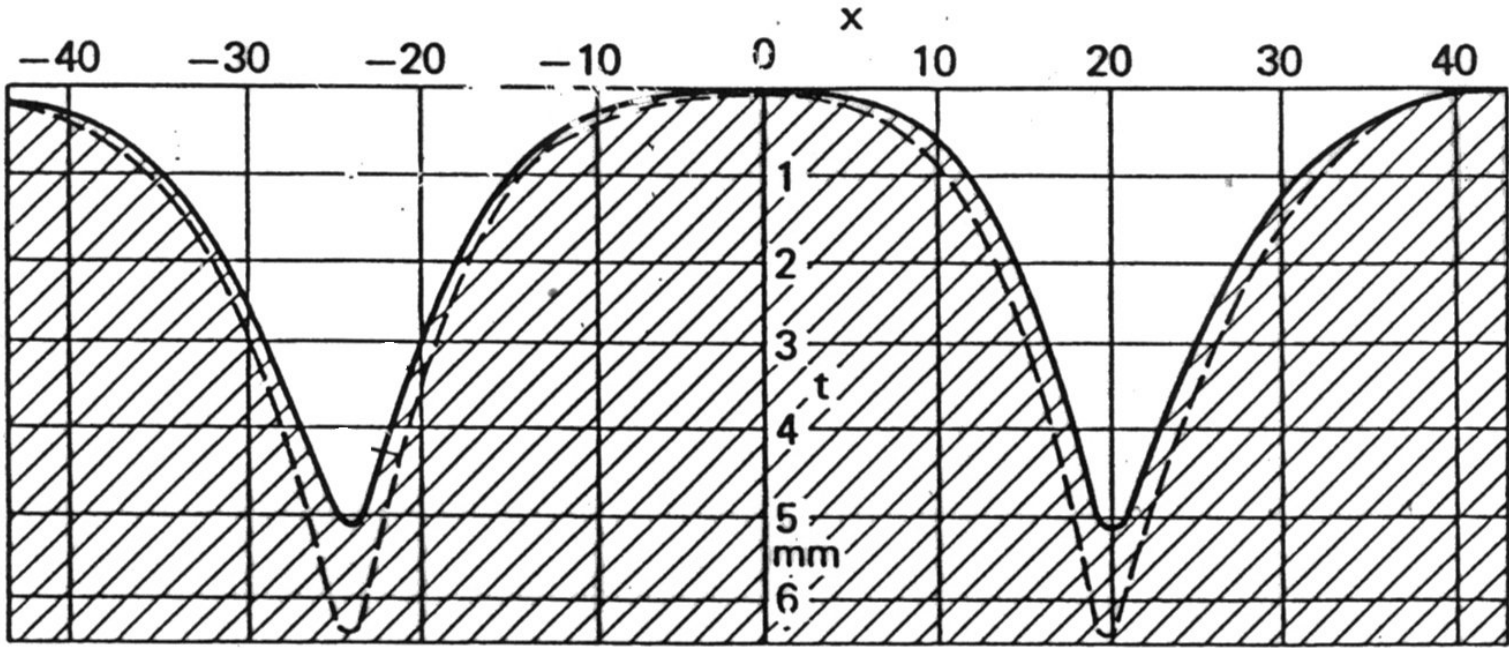
Permanentmagnete hinter dem Target konzentrieren das Plasma in Targetnähe.

*** Dunkelraum wird verkleinert**

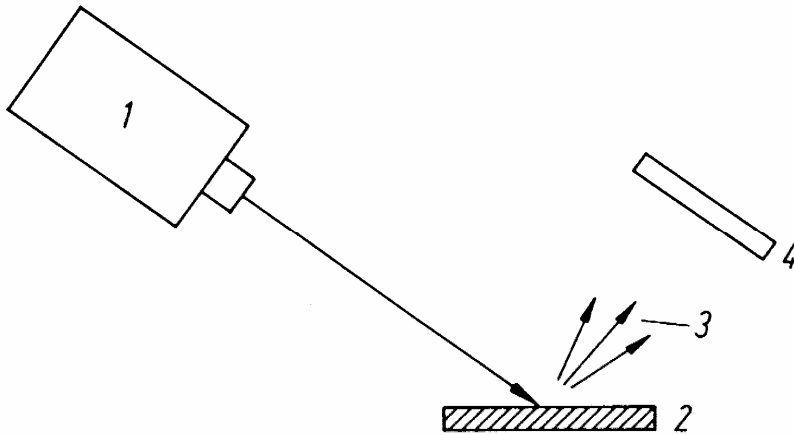
*** Ionendichte wird vergrößert**

*** Gasdruck kann verringert werden**

Wiederholung: Targeterosion



Wiederholung: Ionenkanone

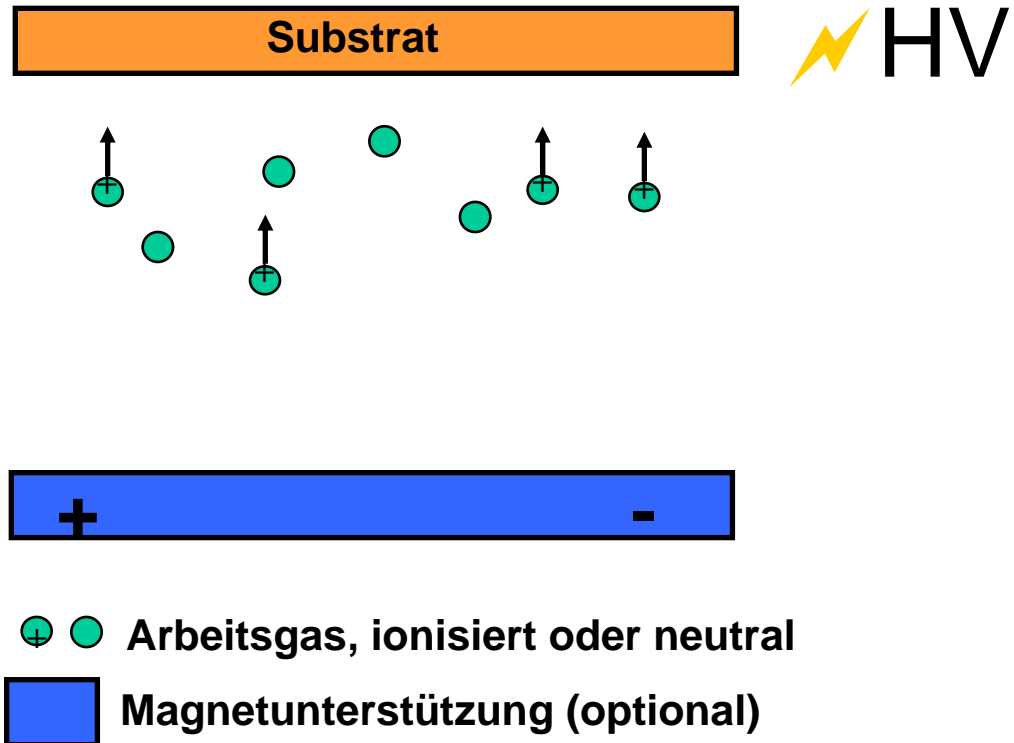


1. Ionenquelle
2. Target
3. Zerstäubte Spezies
4. Substrat

Vorteile der Ionenkanone:

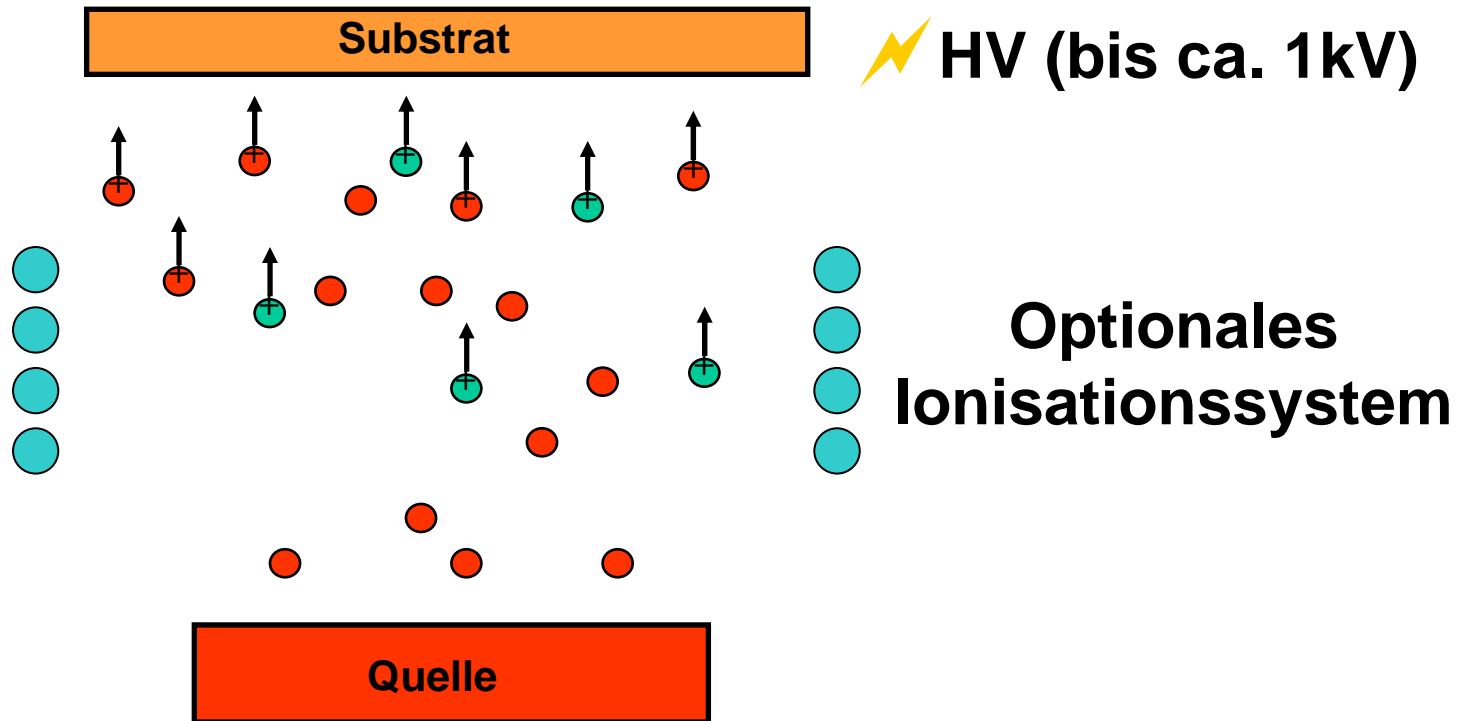
- * Kontrolle über Ionenenergie
- * Kontrolle über Ioneneinfallswinkel
- * Kein Arbeitsgas, d. h. UHV-tauglich

Wiederholung: Sputter-Reinigung



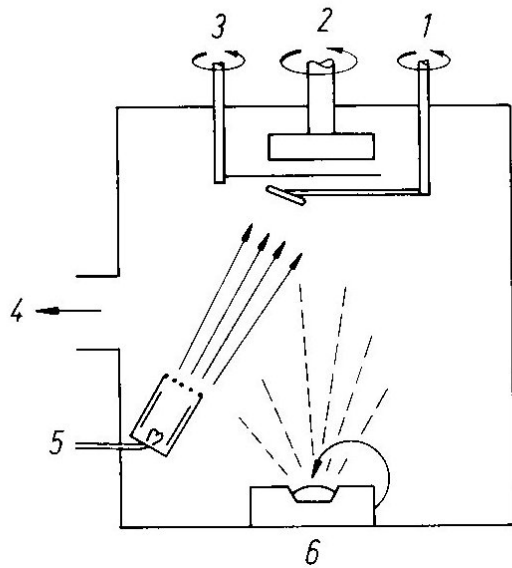
Das Sputterverfahren kann auch zur Reinigung von Oberflächen verwendet werden, wenn das Substrat auf negative Hochspannung gelegt wird und so als "Target" fungiert.

Ionenplattieren: Prinzip I



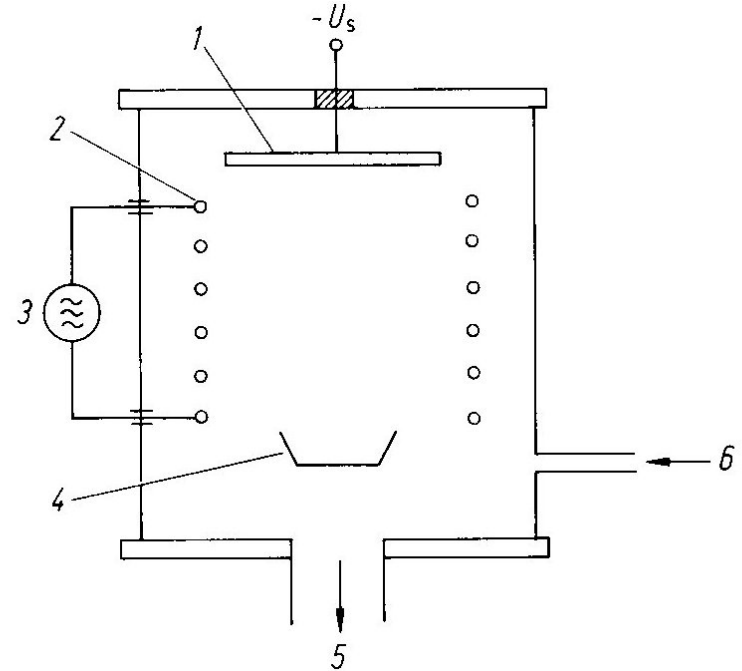
- ⊕ ● Ionisiertes Zusatzgas
- Quellmaterial, ionisiert oder neutral

Ionenplattieren: Prinzip II



Getrennte Ionenquelle

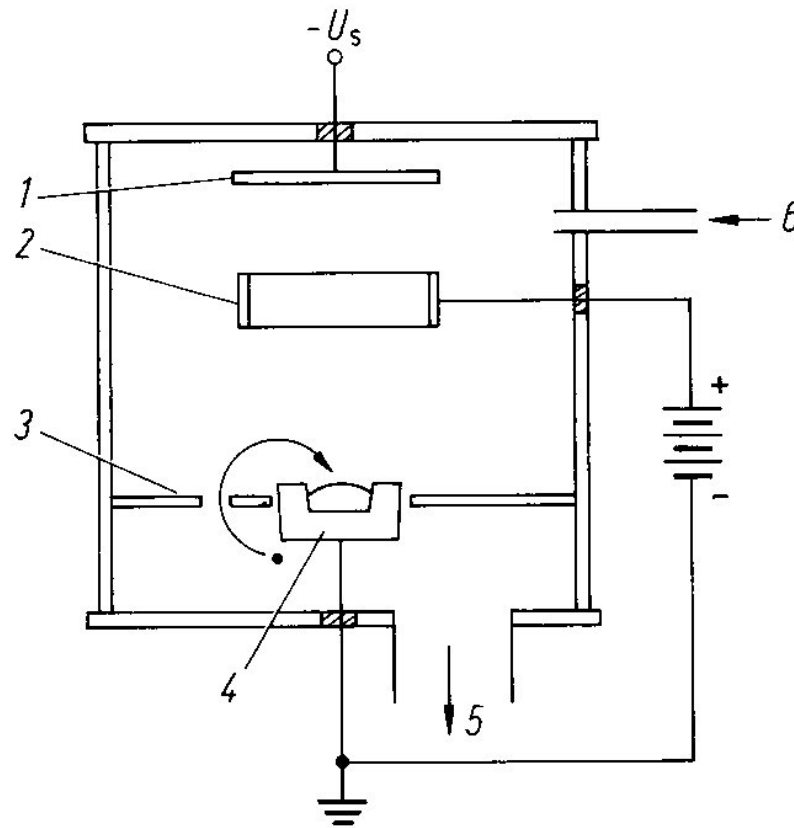
1. Ionensonde
2. Substrathalter
3. Shutter
4. Vakuumpumpe
5. Ionenquelle
6. Verdampfer



Ionen aus Gasentladung

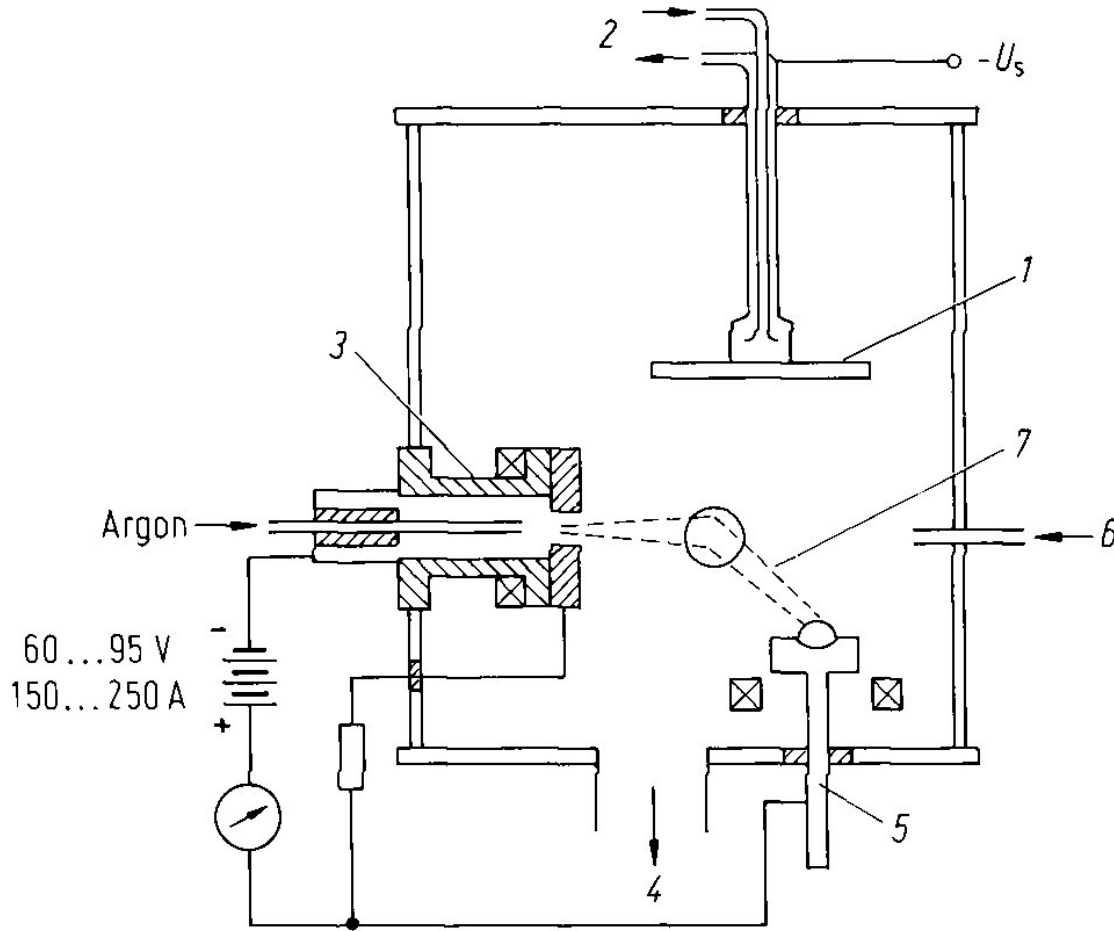
1. Substrathalter
2. RF-Spule
3. RF-Generator
4. Verdampfer
5. Vakuumpumpe
6. Gaseinlass

Ionenplattieren: elektronenaktiviertes Plasma



1. Substrat
2. Ringelektrode
3. Druckstufe
4. Elektronenkanone
5. Vakuumpumpe
6. Gaseinlass

Ionenplattieren: Hohlkathoden-Bogenentladung



1. Substrathalter
2. Kühlwasser
3. Hohlkathodenentladung (longitudinales Magnetfeld)
4. Vakuumpumpe
5. Gekühlter Tiegel
6. Reaktionsgas
7. Elektronenstrahl

Ionenplattieren: Niedervolt-Bogenentladung

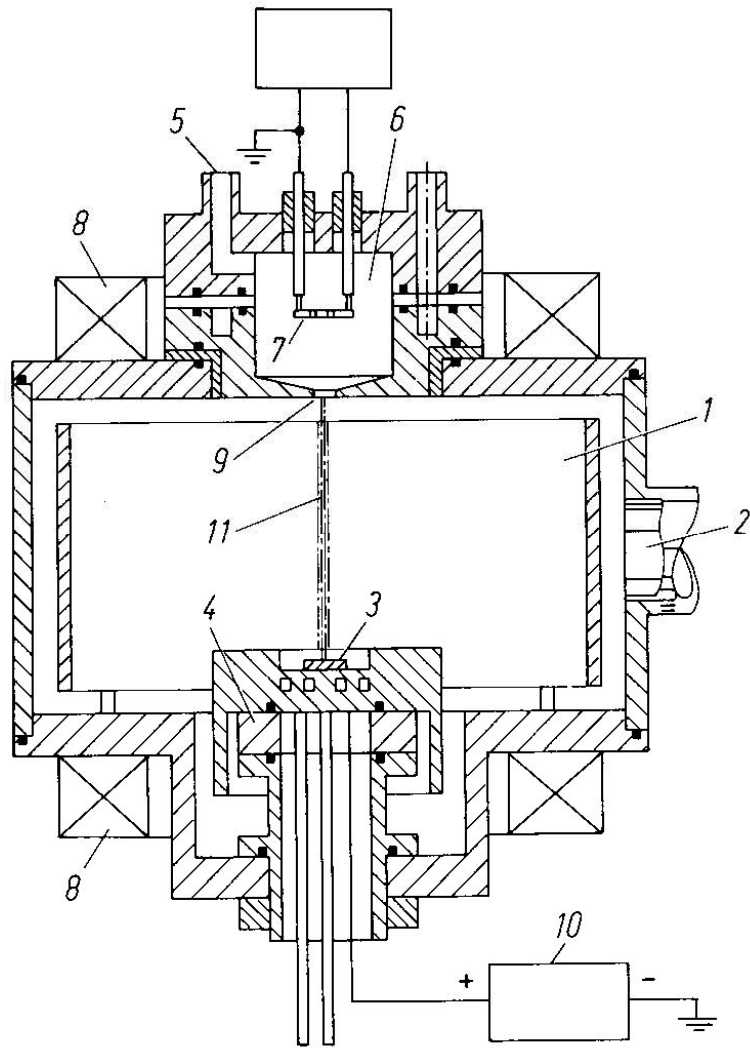
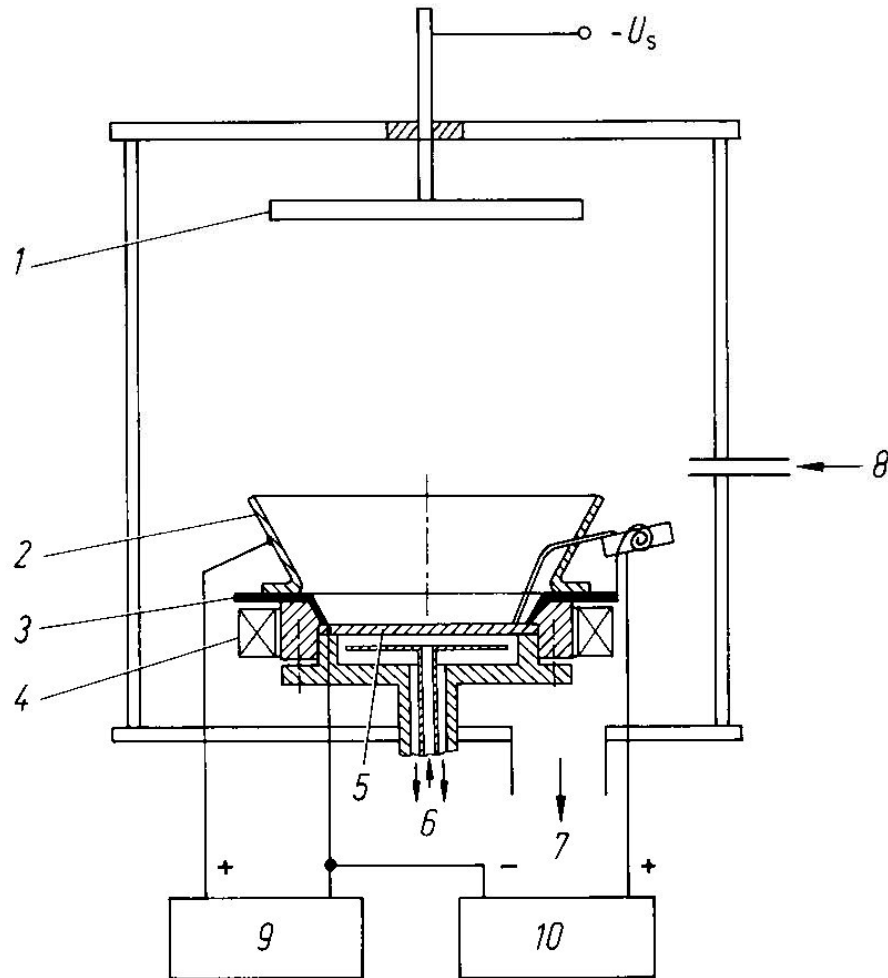


Abb. 7.10. Ionenplattieren mit Niedervolt-Bogenentladung [7.79].

- 1 Substrathalter,
- 2 Pumpenöffnung,
- 3 Anode mit Verdampfungsgut,
- 4 wassergekühlter Tiegel,
- 5 Gaseinlaß,
- 6 Niedervoltentladung,
- 7 Glühkathode,
- 8 Magnetspule,
- 9 Elektronenaustrittsblende,
- 10 Stromversorgung,
- 11 Elektronenstrahl

Ionenplattieren: thermischer Bogen



7.11. Ionenplattieren mit thermischer Bogenentladung (Arc-Technik).

- 1 Substrathalter,
- 2 Anode,
- 3 Isolator,
- 4 Magnetspule,
- 5 Kathode,
- 6 Kühlwasser,
- 7 Vakuumpumpe,
- 8 Reaktionsgas,
- 9 Stromversorgung,
- 10 Funkengenerator

Ionenplattieren: Cluster-Beam

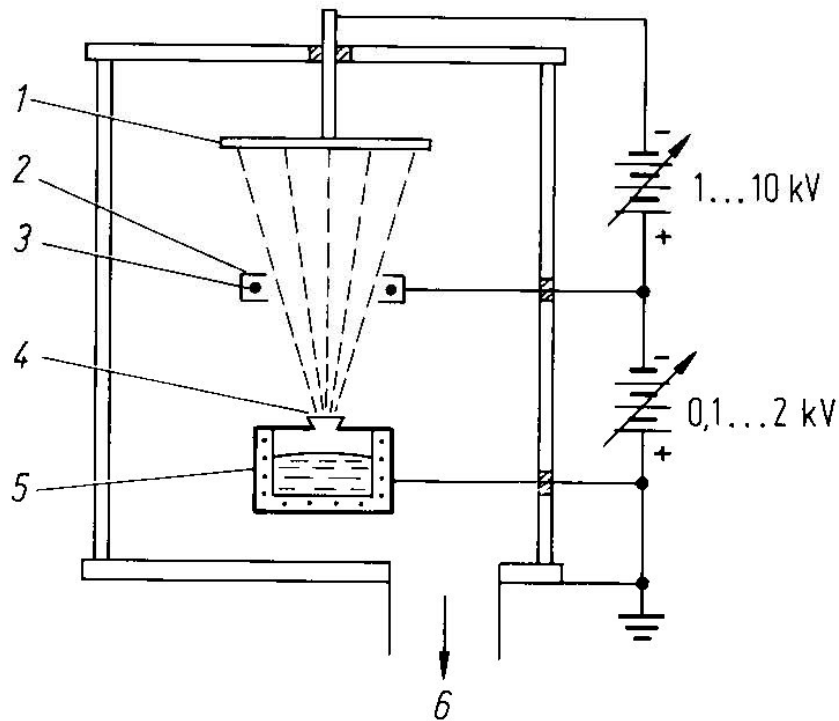


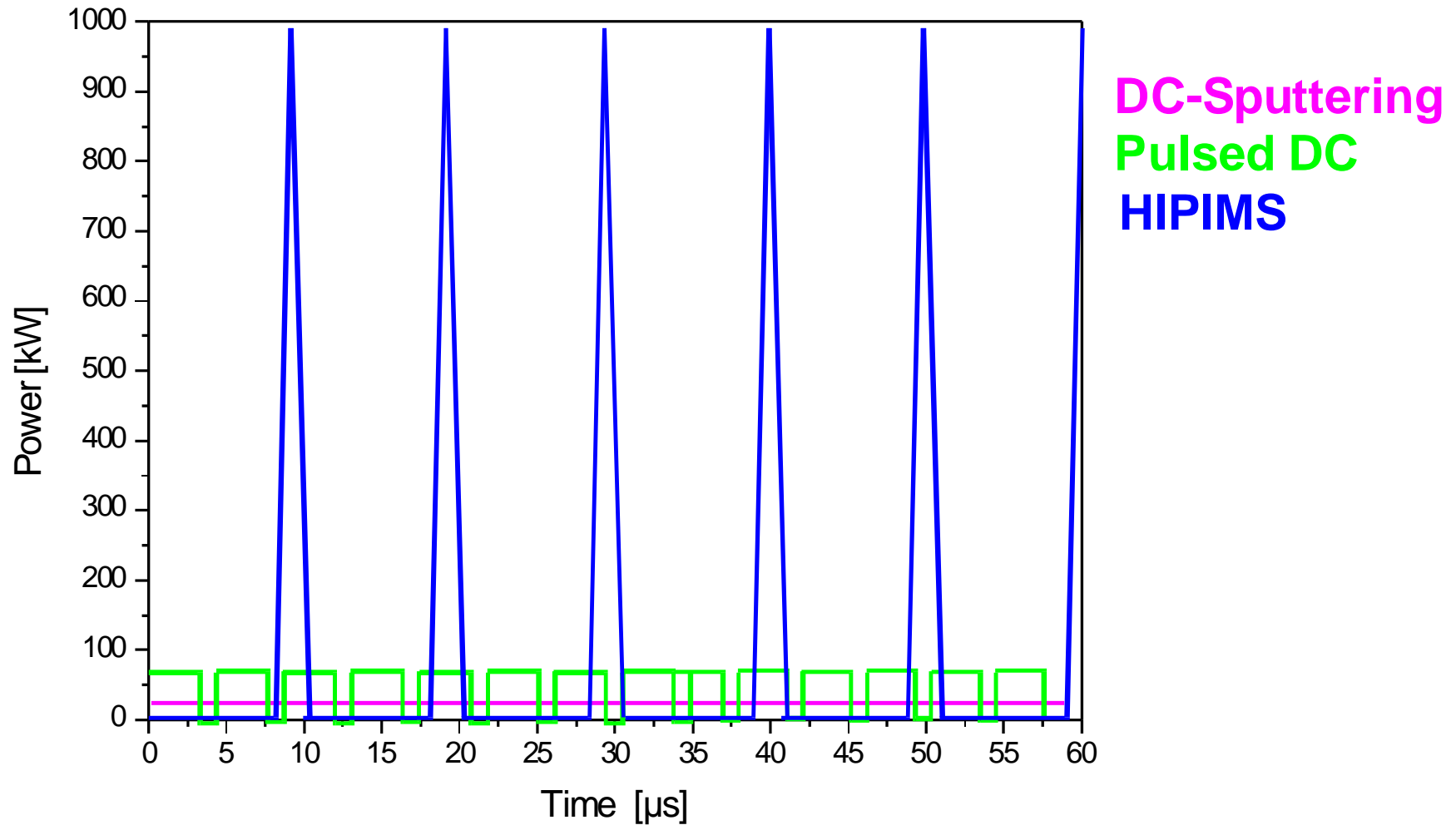
Abb. 7.12. Ionenplattieren mit Ionen-Cluster-Strahl (ICB-Technik) [7.90],

- 1 Substrathalter,
- 2 Beschleunigungselektrode,
- 3 Glühkathode,
- 4 Austrittsdüse,
- 5 Verdampfer,
- 6 Vakuumpumpe

Pulsed Magnetron Techniken

- **Pulsed Magnetron Sputtering:** Zünden einer kurzzeitigen (μs - ms) Magnetronentladung mit extrem hoher Leistungsdichte; aufgrund der kurzen Entladungsdauer entspricht die durchschnittliche Leistung in etwa der einer konventionellen Magnetronentladung.
Nachteil: nur ca. 30% Beschichtungsrate verglichen mit konventionellem Magnetron.
- **Modulated Pulse Technik:** Zünden einer konventionellen Magnetronentladung; erzeugen einer Spannungsspitze zündet Hochleistungsentladung, diese wird für ms - hundertstel Sekunden aufrechterhalten.
Vorteil: Durchschnittliche Depositionsrate bleibt gleich oder ist sogar höher als bei Magnetrons.

Gepulste Magnetrons: Vergleich



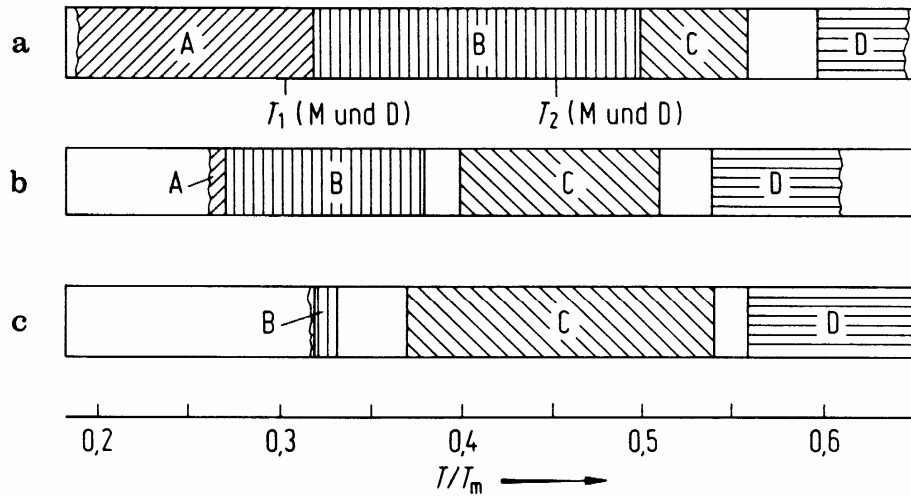
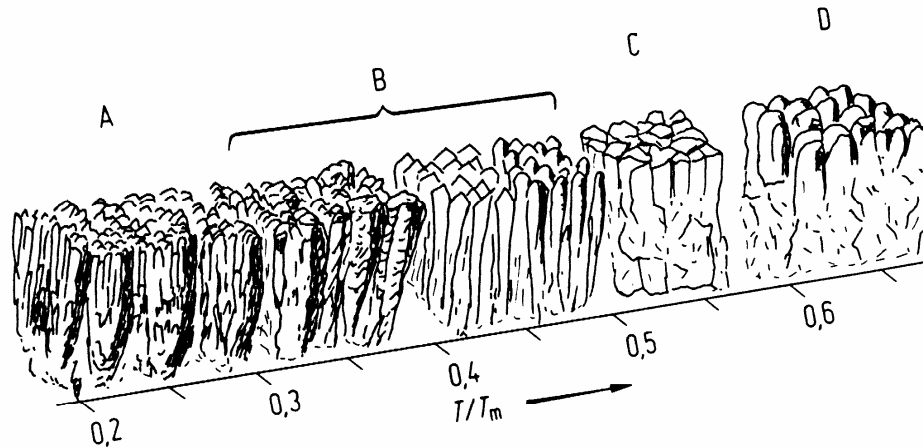
PVD-Verfahren: Leistungsdichten

Verfahren	Leistungsdichte [Wcm^{-2}]
Sputtern	10
Verdampfen	100
Elektronenkanone	1000
Pulsed Magnetron	$10^3 - 10^4$
Niedervolt-Bogenentladung	10^5
Arc-Verdampfen	10^7

PVD-Verfahren: Ionisierungsgrade

Verfahren	Ionisierungsgrad [%]	Grund d. Ionisierung
Verdampfen	<0.1	therm. Anregung
Elektronenkanone	<0.1	therm. Anregung
Sputtern	1-10	Stöße
Niedervolt- Bogenentladung	50	hohe Leistungsdichte
Arc-Verdampfen	>50	hohe Leistungsdichte
Pulsed Magnetron	bis 100	mittlere Leistungsdichte

Ionenbeschuss und Schichtwachstum I



Ionenbeschuss führt zu:

- guter Haftung
- geringer Korngrösse
- dichten Schichten
- hohen inneren Spannungen

Ionenbeschuss und Schichtwachstum II

Beschuss mit Fremdionen:

Verdampfen

Elektronenkanone

Sputtern

Grund: geringer Ionisierungsgrad

Beschuss mit Eigenionen:

Niedervolt-Bogenentladung

Arc-Entladung

Grund: hoher Ionisierungsgrad

Ionenbeschuss und Schichtwachstum III

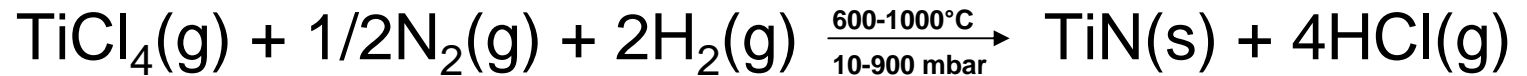
Vorteile eines hohen Ionisierungsgrades (Eigenionenanteil):

1. Manipulation des Energieeintrages durch Substratbias
2. Manipulation der Direktionalität der auftreffenden *Beschichtungsteilchen* (Strahlkollimation bei komplexen Bauteilen, allseitige Beschichtbarkeit durch immer senkrecht zur jeweiligen Substratflächennormale auftreffende Beschichtungsteilchen, Trench-filling)

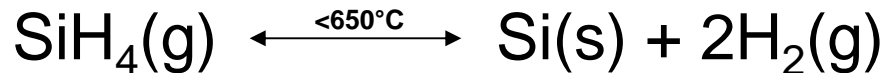
Chemical Vapor Deposition (CVD)

Reaktionstypen

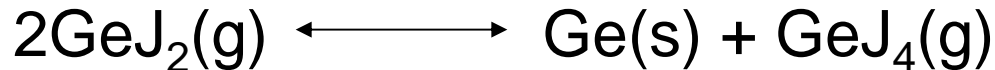
1. Chemosynthese (Reaktionen mit Gasen)



2. Pyrolyse (thermische Zersetzung)

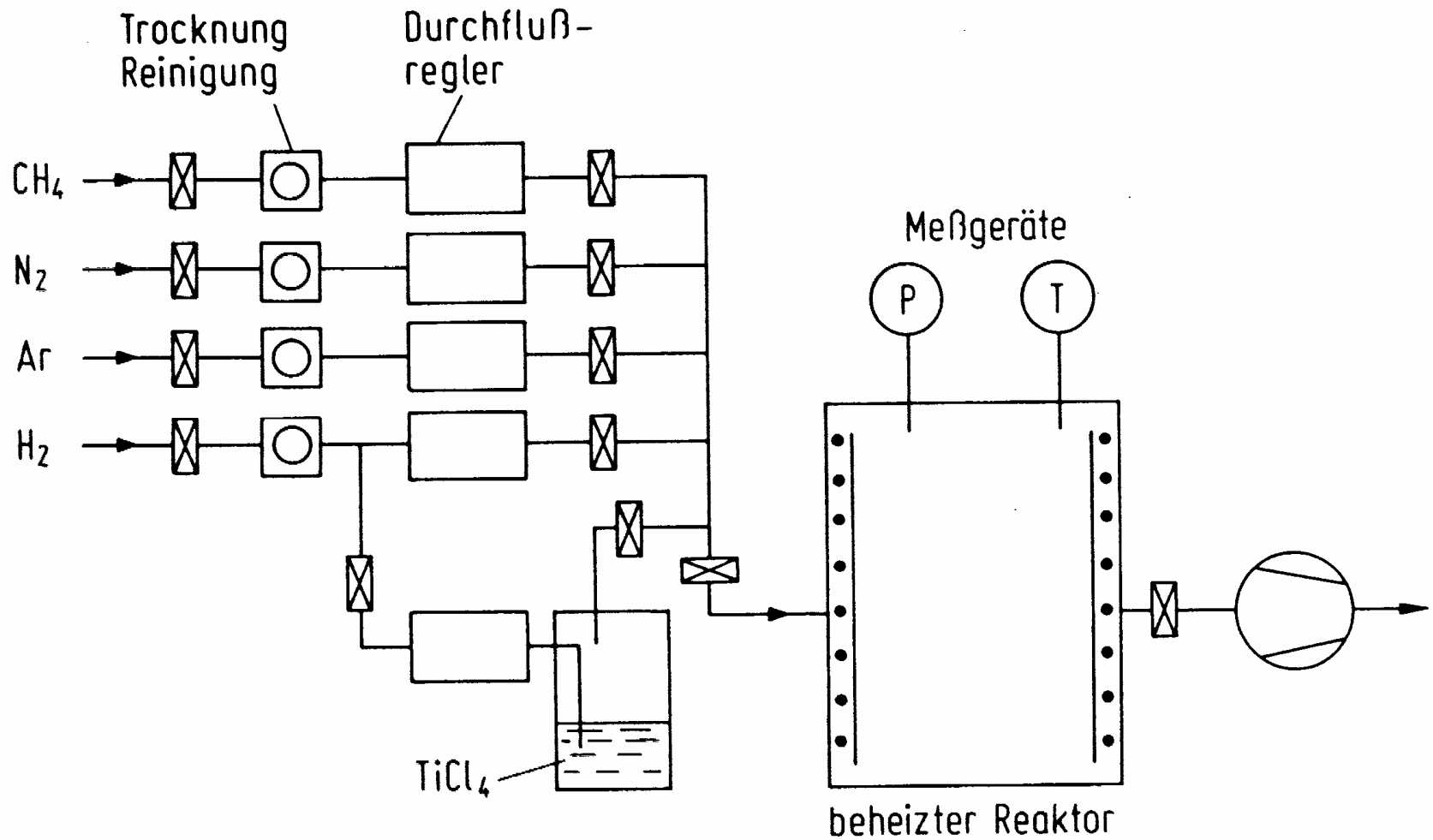


3. Disproportionierung



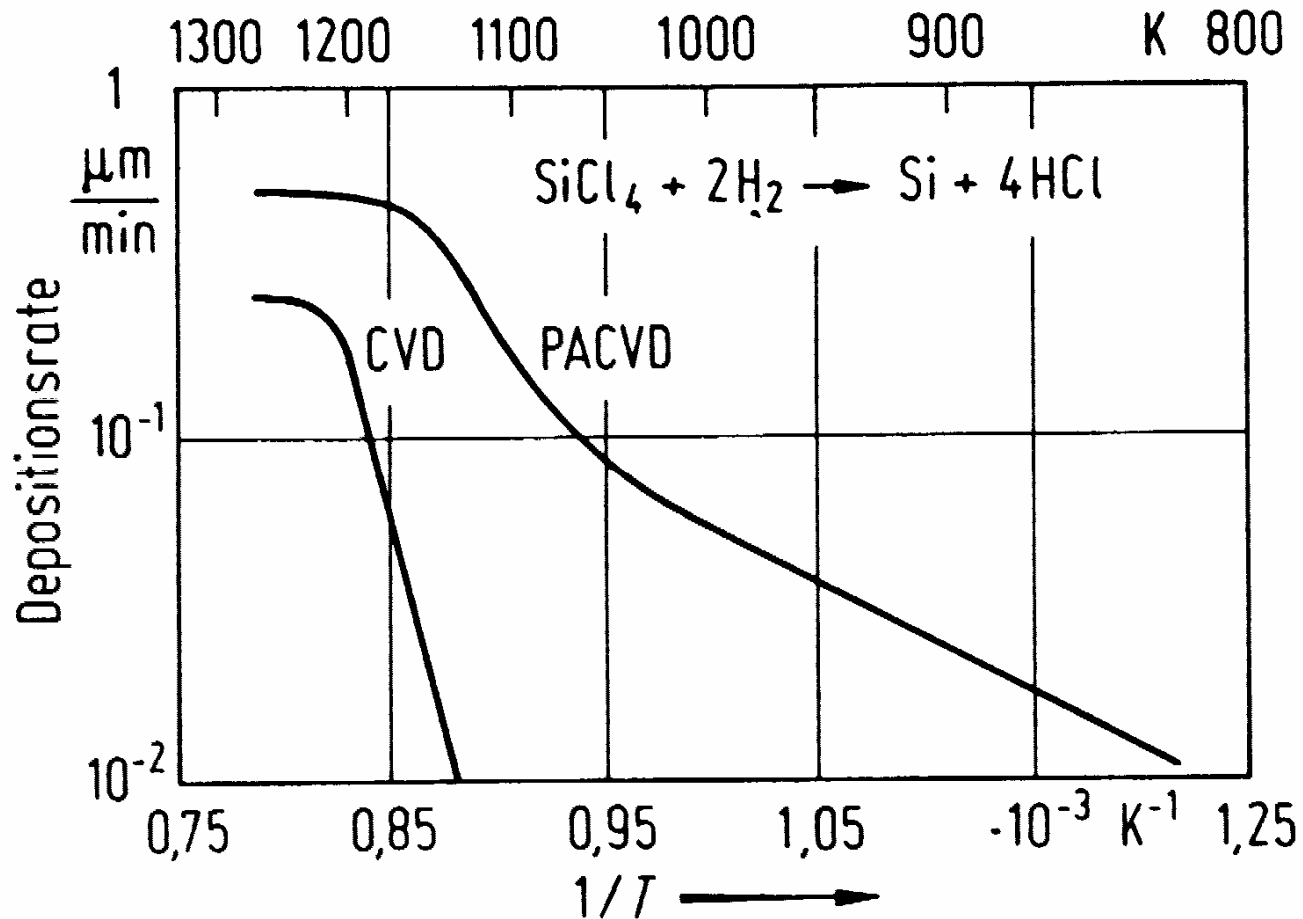
4. Photopolymerisation

CVD: Typisches Anlagenschema

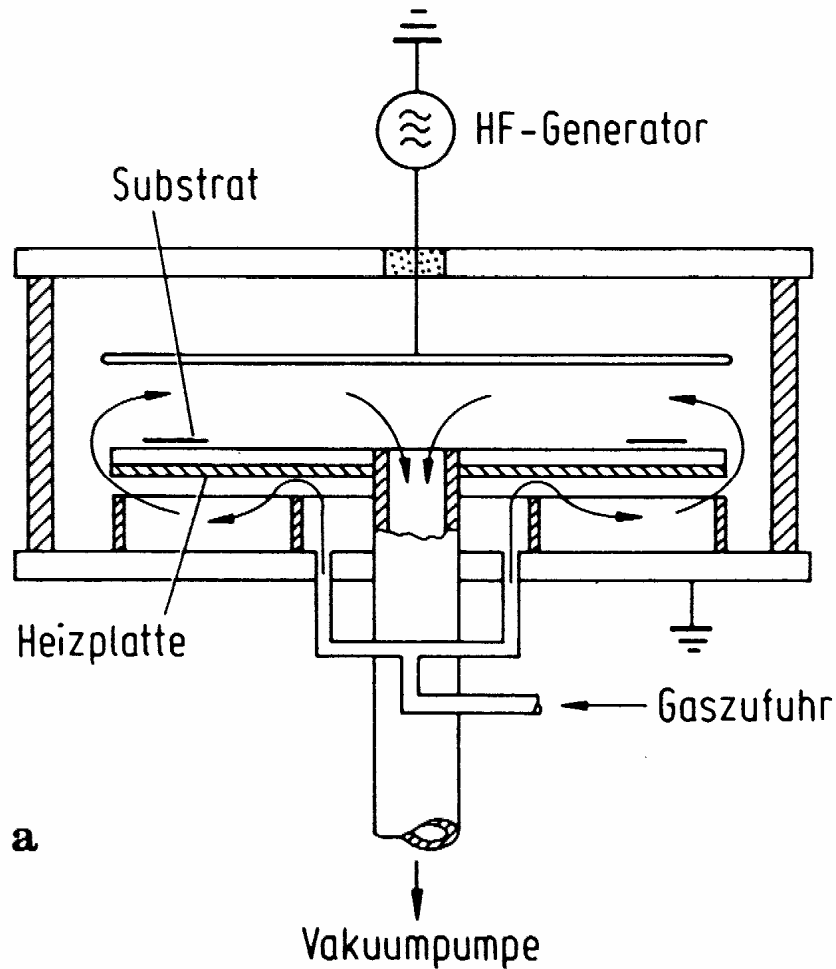


Pasma Assisted CVD (PACVD)

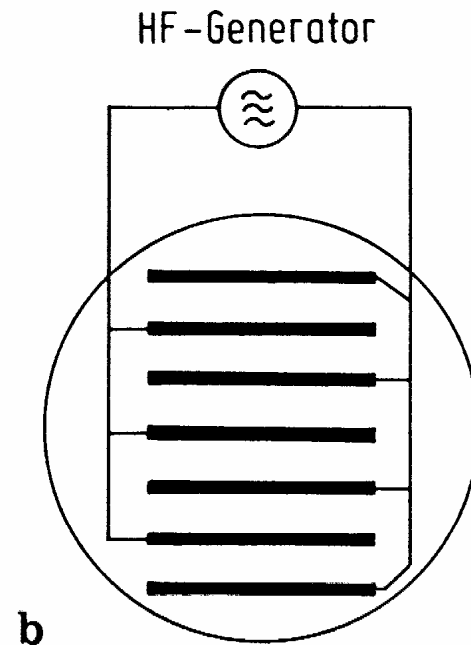
Reduktion der Abscheidetemperatur



PACVD: Reaktortypen



Parallelplattenreaktor



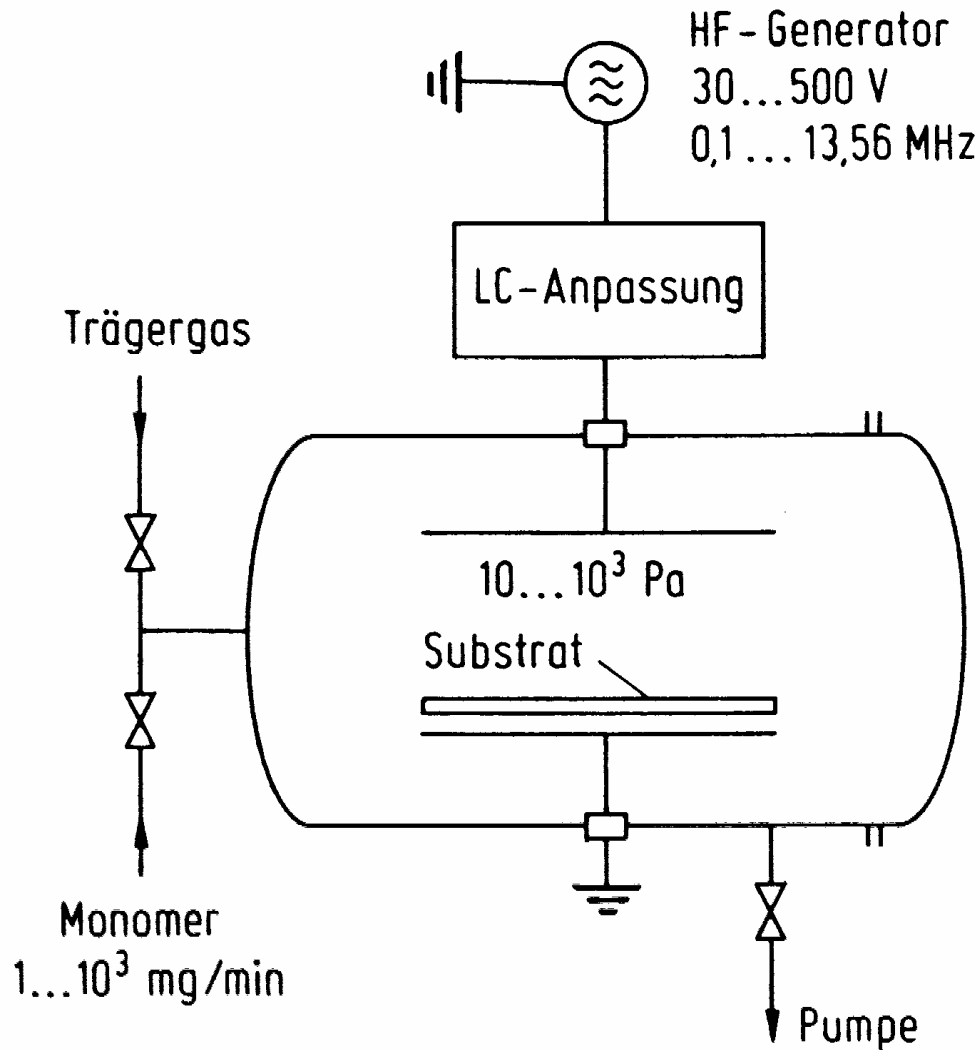
Mehrebenen-Kammer

Plasmapolymerisation: Elementarprozesse

Nach dem Monomereinlass laufen im RF-Plasma folgende Elementarprozesse ab:

- 1. Reaktionen in der Gasphase: Bildung reaktiver Spezies in Form angeregter und ionisierter Moleküle und Molekülfragmente. Bildung von freien Radikalen sowie Koagulation zu Ketten und Clustern.**
- 2. In Phase 1 gebildete Spezies sowie Monomermoleküle werden an der Substratoberfläche adsorbiert.**
- 3. Polymerisation der Teilchen und Fragmente auf der Substratoberfläche**

Plasmapolymerisation: Reaktorschema



Monomere:

Hexamethyldisiloxan
(HMDSO),
 $\text{C}_6\text{H}_{18}\text{OSi}_2$

Tetraethylorthosilikat
(TEOS)

Abgeschiedenes
Material:

meist SiO_2