



Physikalische Beschichtungsverfahren

(physical vapour deposition)

Vortragender: Kai Hecker



Einführung

Sputterdeposition

Mehrkomp. Film

Dünnschichtbildung

Diodensystem

Magnetron Sys.

Triodensystem

Ionenstrahl g. D.

Ionenplattieren

Bedampfungstechn.

therm. Verd.

Aufd.materialien

Verd.quellen

Elektr.strahlverd.

Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Einführung

Der Begriff PVD:

- Vakuumbasierte Verfahrensgruppe
- Beschichtung des Substrates durch direkte Kondensation

Charakteristische Prozesse:

1. Zerstäuben, Verdampfen der schichtbildenden Teilchen
2. Transport des Dampfes zum Substrat
3. Kondensation des Dampfes auf dem Substrat und Schichtbildung



Einführung

Sputterdeposition

Mehrkomp. Film

Dünnschichtbildung

Diodensystem

Magnetron Sys.

Triodensystem

Ionenstrahl g. D.

Ionenplattieren

Bedampfungstech.

therm. Verd.

Aufd.materialien

Verd.quellen

Elektr.strahlverd.

Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Sputterdeposition

Target wird mit Edelgasionen beschossen

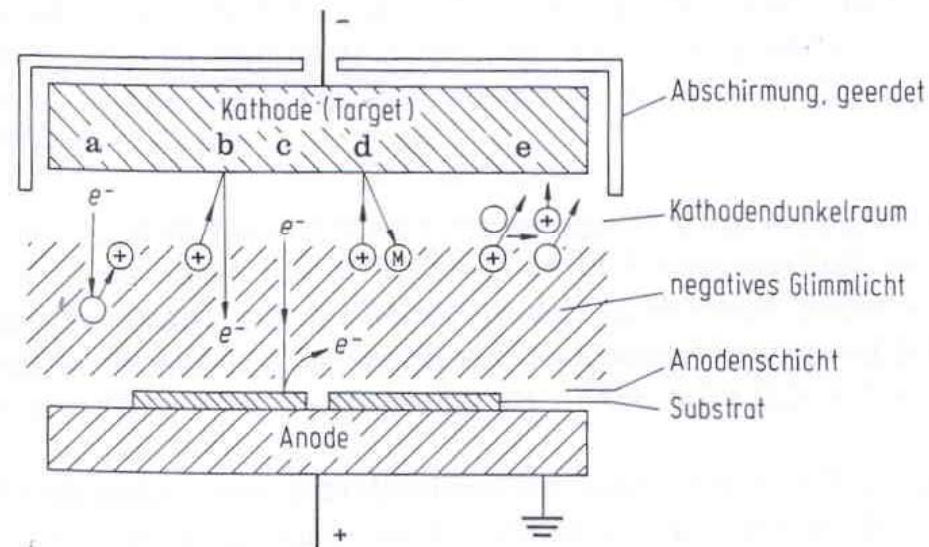


Abb. 6.1 Schematische Darstellung von Prozessen in einer planaren Sputter-Diode: **a** Ionisation durch Elektronenstoß, **b** ioneninduzierte Elektronenemission an der Kathode, **c** elektroneninduzierte Sekundäremission an der Anode, **d** Sputtern durch Ionenstoß, **e** Umladungsprozeß: schnelles Argonion + langsames Argonatom \rightarrow schnelles Argonatom + langsames Argonion



Einführung

Sputterdeposition

Mehrkomp. Film
 Dünnschichtbildung
 Diodensystem
 Magnetron Sys.
 Triodensystem
 Ionenstrahl g. D.
 Ionenplattieren
 Bedampfungstechn.
 therm. Verd.
 Aufd.materialien
 Verd.quellen
 Elektr.strahlverd.
 Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Sputterdeposition

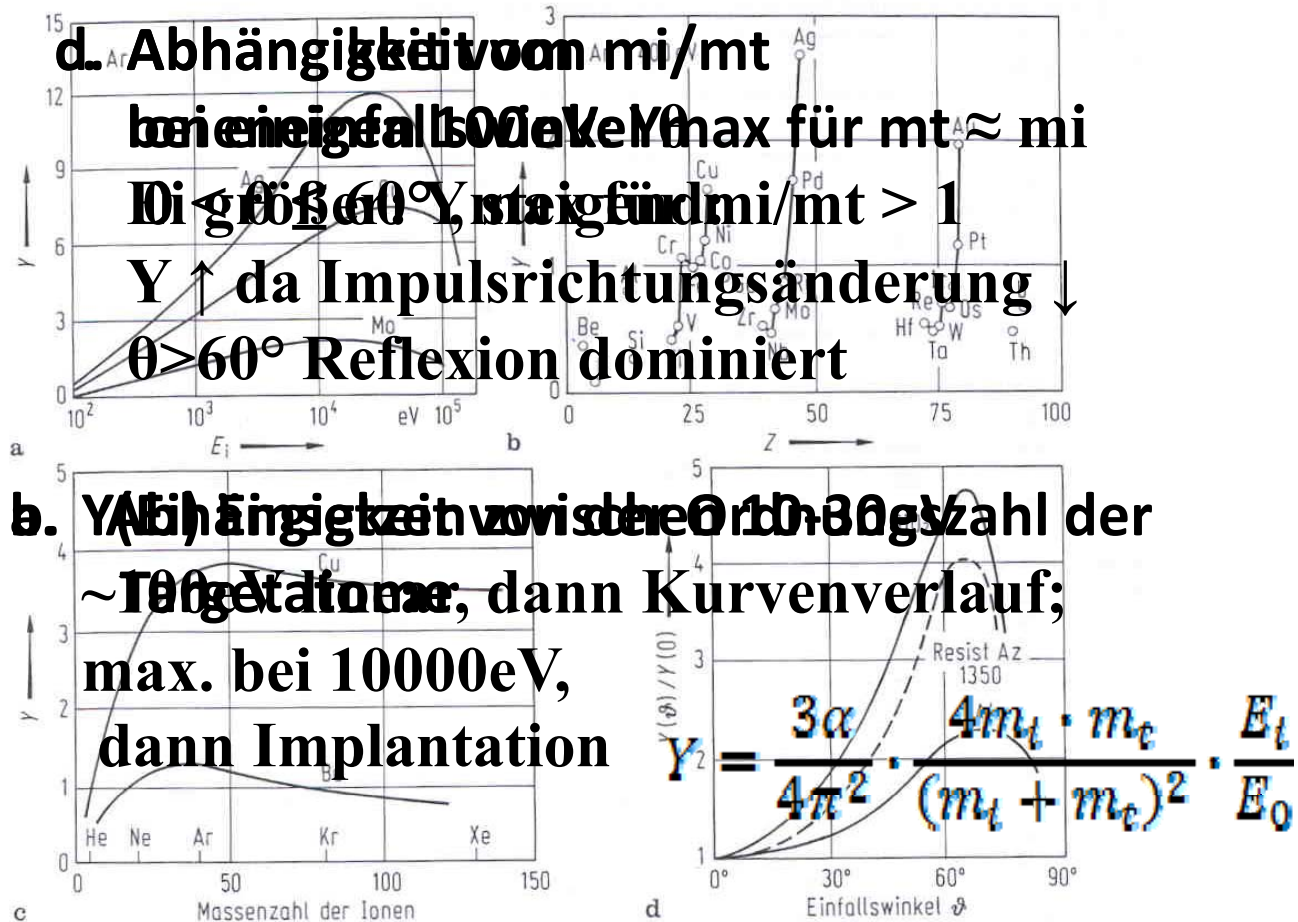


Abb. 6.2. Sputterausbeuten Y verschiedener Materialien in Abhängigkeit von a der Energie E_i von Ar^+ -Ionen bei senkrechter Inzidenz [6.8.], (die Kurven mitteln über verschiedene Meßergebnisse); b der Ordnungszahl Z der Targetelemente bei senkrechtem Beschuß mit 400 eV- Ar^+ -Ionen [6.5]; c der molaren Masse M_i der Ionen bei senkrechtem Beschuß mit $E_i \approx 1$ keV [6.10]; d dem Einfallswinkel ϑ der Ar^+ -Ionen von $E_i \approx 1$ keV [6.6; 6.8]



Einführung

Sputterdeposition

Mehrkomp. Film

Dünnschichtbildung

Diodensystem

Magnetron Sys.

Triodensystem

Ionenstrahl g. D.

Ionenplattieren

Bedampfungstechn.

therm. Verd.

Aufd.materialien

Verd.quellen

Elektr.strahlverd.

Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Sputterdeposition

$$Y = \frac{3\alpha}{4\pi^2} \cdot \frac{4m_t \cdot m_e}{(m_t + m_e)^2} \cdot \frac{E_t}{E_0} \quad (\text{Sigmund, Gl. Transporttheorie})$$

gültig für $100\text{eV} < E_i < 1\text{keV}$

$$\rightarrow Y \sim \frac{1}{E_0} \quad \leftrightarrow \quad \text{Therm. Ausbeute} \sim \exp(-c \cdot E)$$

Y weniger von Prozessänderungen am Target beeinflusst als therm. Ausbeute



Einführung

Sputterdeposition

Mehrkomp. Film

Dünnschichtbildung

Diodensystem

Magnetron Sys.

Triodensystem

Ionenstrahl g. D.

Ionenplattieren

Bedampfungstech.

therm. Verd.

Aufd.materialien

Verd.quellen

Elektr.strahlverd.

Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Mehrkomponentenfilme

Legierung aus Komponenten mit untersch. γ :
Anreicherung der schwächer zerstäubenden
Komponente

Nach Anl.zeit ergibt sich stat. Zustand \rightarrow Strom aus
dem zerstäubten Teilchen, dieser besitzt Zus. des
Targetvolumens

Verbindungen Molekül und Bruchstücke gesputtert
 \rightarrow Filmzus.setzung weicht vom Target ab



Einführung

Sputterdeposition

Mehrkomp. Film

Dünnschichtbildung

Diodensystem

Magnetron Sys.

Triodensystem

Ionenstrahl g. D.

Ionenplattieren

Bedampfungstech.

therm. Verd.

Aufd.materialien

Verd.quellen

Elektr.strahlverd.

Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Mehrkomponentenfilme

Reaktives Sputtern:

zusätzl. reaktivem Gas reagiert mit Gesputtertem

→ Definierte Schichtzus durch Partialdruck.

Prozesse:

1. Molekülbildung auf Target; anschl. gesputtert
2. In Gasphase: Dreierstoß nötig (unwahrscheinl.)
3. Adsorption an Oberfläche → Reaktion mit Sputterteilchen



Einführung

Sputterdeposition

Mehrkomp. Film

Dünnschichtbildung

Diodensystem

Magnetron Sys.

Triodensystem

Ionenstrahl g. D.

Ionenplattieren

Bedampfungstechn.

therm. Verd.

Aufd.materialien

Verd.quellen

Elektr.strahlverd.

Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Dünnschichtbildung

Abgeschiedenes Material in
atomarer/molekularer Form

→ Schichtbildungsprozesse wurden im Vortrag
vom 8.01.2009 bereits behandelt

Zusätzliche Einflüsse:

- Verunreinigendes Restgas
- Viele Schnelle/langsame Sputtergasatome (N,PA)
- Angeregte metastabile Ar-Atome
- Elektronenbombardement des Substrates



Einführung

Sputterdeposition

Mehrkomp. Film

Dünnschichtbildung

Diodensystem

Magnetron Sys.

Triodensystem

Ionenstrahl g. D.

Ionenplattieren

Bedampfungstech.

therm. Verd.

Aufd.materialien

Verd.quellen

Elektr.strahlverd.

Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Dünnschichtbildung

Elektronenbombardement des Substrates:

- größter Einfluss durch geladene Teilchen
- davon größter Anteil energiereiche thermische Elektronen
 - schnelle Elektronen: fast gesamter Energieeintrag zur Substrataufheizung
 - Wechselwirkung: Filmwachstum an- abregen (nach Chapman, et al, 1974)
- Ionen: Defekte in wachsender Dünnschicht
 - Versetzen von Schichtatomen



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung

Diodensystem

Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Diodensystem

Diodensysteme:

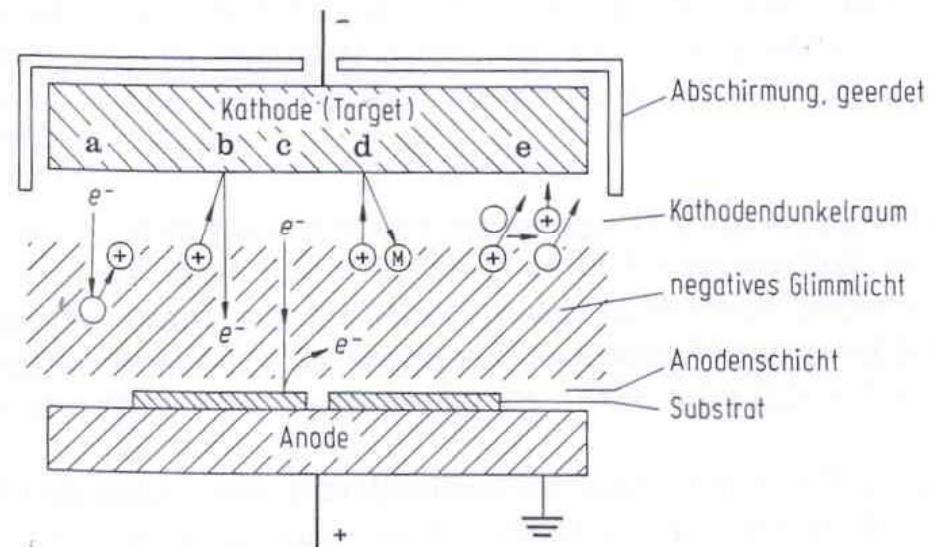


Abb. 6.1 Schematische Darstellung von Prozessen in einer planaren Sputter-Diode: a Ionisation durch Elektronenstoß, b ioneninduzierte Elektronenemission an der Kathode, c elektroneninduzierte Sekundäremission an der Anode, d Sputtern durch Ionenstoß, e Umladungsprozeß: schnelles Argonion + langsames Argonatom \rightarrow schnelles Argonatom + langsames Argonion



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Magnetron System

- Idee: gekreuztes E-B-Feld → Elektronenfalle über Target
→ 3 Systeme: zylindrische, planare, Sputter-Guns-Magnetron
- 2 zylindrische Grundtypen (Stabkathoden-, Hohlkathoden Magnetron)



Einführung
 Sputterdeposition
 Mehrkomp. Film
 Dünnschichtbildung
 Diodensystem
Magnetron Sys.
 Triodensystem
 Ionenstrahl g. D.
 Ionenplattieren
 Bedampfungstech.
 therm. Verd.
 Aufd.materialien
 Verd.quellen
 Elektr.strahlverd.
 Lichtbogenverd.
 Quellen
 Schlusswort

Magnetron System

Zylindrische Magnetrons :

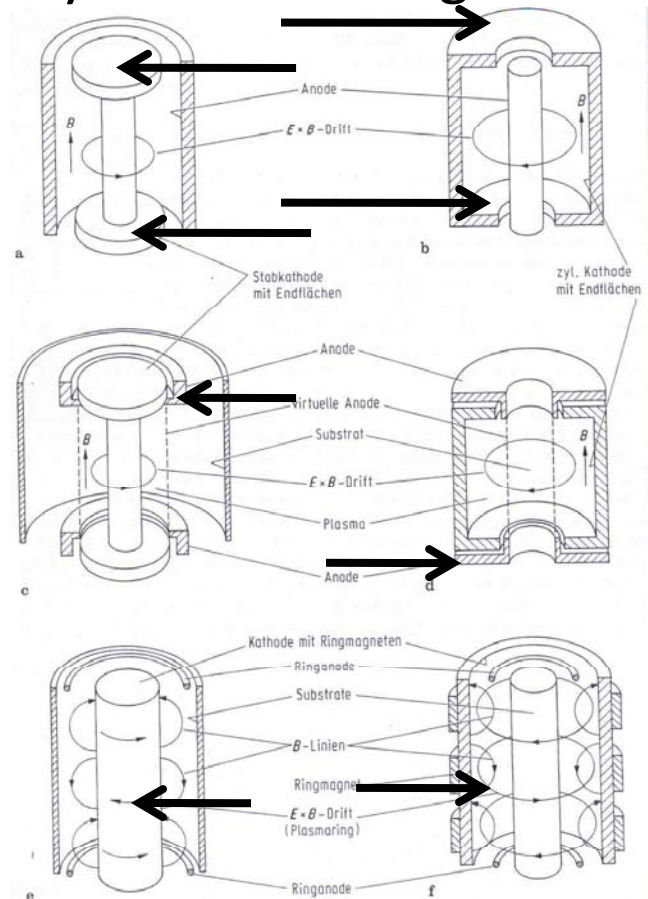


Abb. 6.5 a-f. Zylindrische Magnetron-Anordnungen mit kalter Kathode, Links: Das ursprüngliche Magnetron a und darunter die Varianten c und e; Rechts: Das zu a inverse Magnetron b und darunter die Varianten d und f

- Koaxiale Elektroden
- El. aus Target auf Zykloidenbogen → Stöße nähert es an Anode
- K.Endflächen o. A.ringe schließen nur Elektronen ein (el. stat. Einschluss)
- Gleichmäßige Kathoden Zerstäubung
- Anode ist Substrat
- Magnet. Einschluss: Inh. B-Feld u. K.e.platten Plasma in Ringform über K. → nur dort



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Magnetron System

Nachteile des magnet. Einschlusses:

- Zerstäubung nur im Plasmaringbereich
- Elektronen zw. Ringen bombardieren Substrat
- Zeitabhängige Depositionsrate
- Häufige Ersetzung des Targets

Vorteil:

- Einfacher Aufbau für lange Sputter-Systeme



Magnetron System

Einführung
Sputterdeposition
Mehrcomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

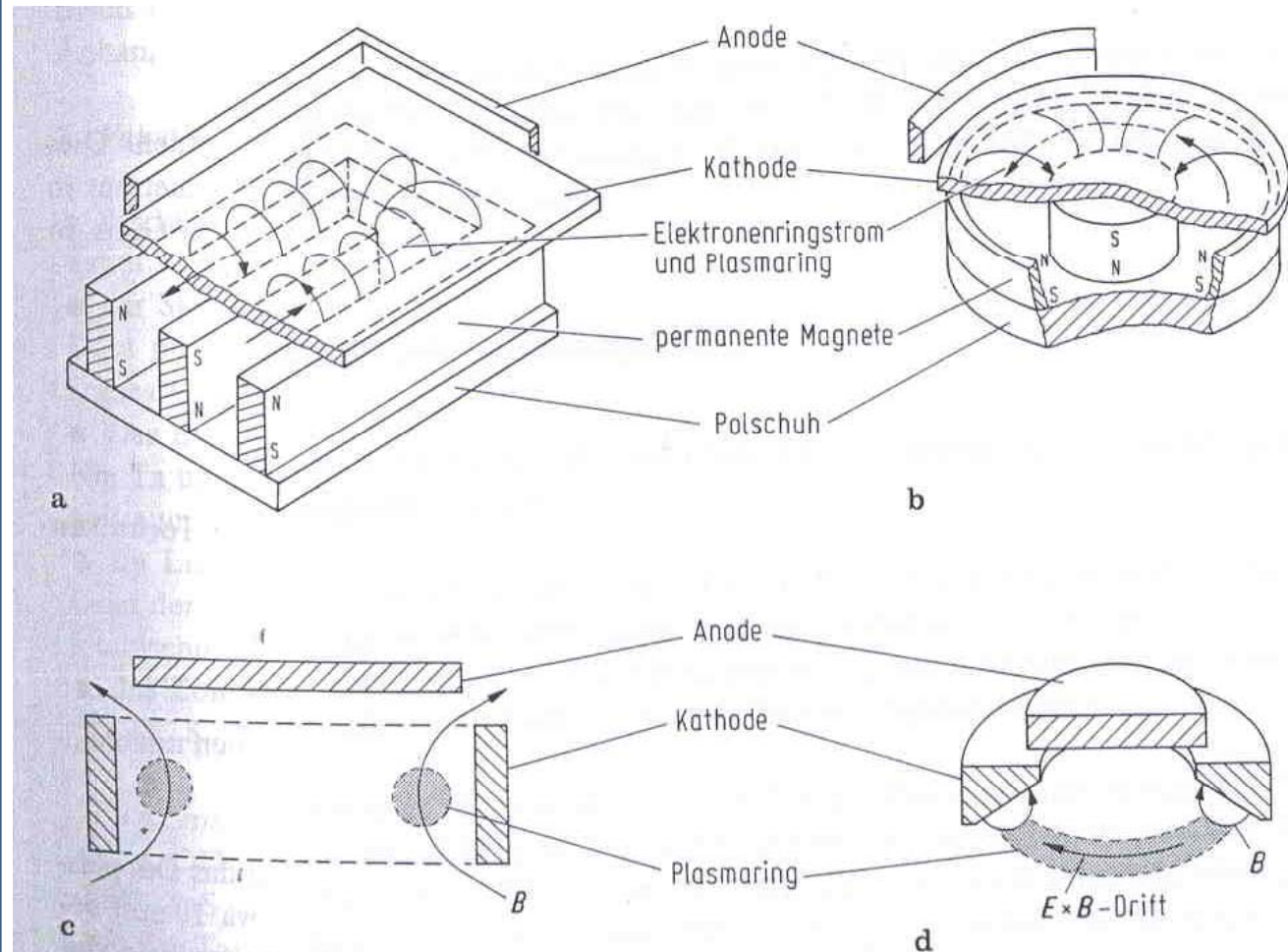


Abb. 6.8 a-d. Magnetrons mit magnetischem Plasmaeinschluß. a, b: planare Magnetrons, c Sputter Gun, Sloan Technology, d S-Gun, Varian Associates



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Triodensysteme

- Target als dritte Elektrode im fremderregten Plasma
- Heiße Glühdrahtkathode ist Quelle thermisch emittierter Elektronen; erhält Gasentladung
- Axiales B-Feld verhindert Rekombination der Elektronen → Ionisationsraten↑
- Vorteil: Depositionsrates ↑, Druck ↓



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Fazit

Bisher bespr. Systeme mit Plasmaeinschluss durch
e.-m. Felder

→ ↑ Effizienz der Elektronennutzung

→ Sputtergasdruck ↓

→ Substrataufheizung durch El.einschluss ↓



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Ionenstrahl gestützte Depositionsverfahren

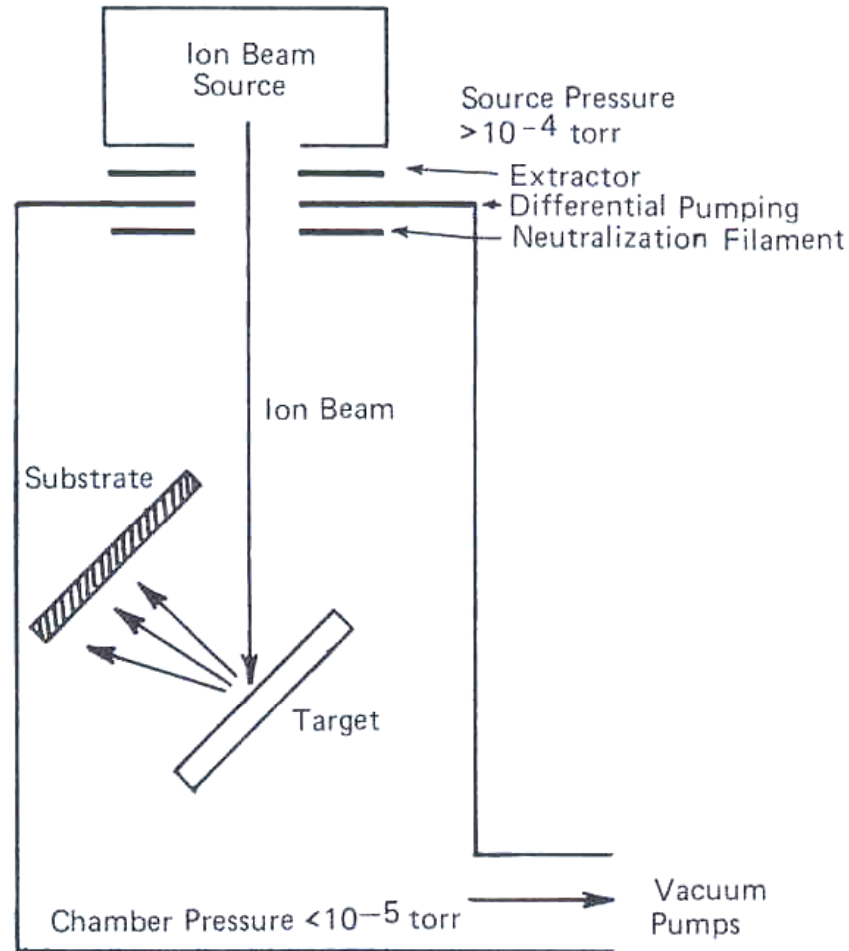
- Ionenstrahl aus externer Quelle auf Target im UHV gerichtet
- Substrat isoliert von energiereichen Teilchen
→ Aufheizung leichter begrenzt
→ Minimierte Kontamination des Films
- Energie, Richtung und Stromdichte der Ionen einstellbar
- Nachteil: Sputterrate < Magnetron



Einführung
Sputterdeposition
Mehrcomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren

Bedampfungstechn.
therm. Verd.
Aufd. materialien
Verd. quellen
Elektr. strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

- Kc
- Zu
- St
- 1
- 2
- 3



g von
:)
in
on

Figure 6-71. Typical configuration for ion beam sputter deposition

Vorteil. gute BEDECKUNG 3D-OBJEKTE
Maschinenbau: Überzüge von Drehmotoren ,
Turbinenblätter



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren

Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.

Quellen
Schlusswort

Ionenplattieren

Exkurs Adhäsion von dünnen Schichten:

- Adhäsion(Qualität Kontakt-WW Substrat u. Film)
- Viele interessierende Substrat-Film-Kombinationen wegen fehlenden Adhäsionsbindungen nicht möglich
- ungenügendes (empirisches) Wissen, da schwer messbar



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Ionenplattieren

Exkurs Adhäsion von dünnen Schichten:

- Adhäsionsarten:
 1. Grenzflächenad.: Verb. auf def. Grenzfläche
 2. Austauschdiffusion zw. zwei Festkörpern
 3. Zwischenschicht-Ad.: mehrere Verbindungszwischenschichten
- Erhöhung der Haftfestigkeit durch
 - Reinigung der Substratoberfläche,
 - jedoch nach 1s 1ML Restgas bei 10^{-6} Torr
 - Einf. Zwischenschicht aus Metalloxiden
 - (geringe) Substrattemperatursteigerung



Bedampfungstechniken

Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Techniken im Einzelnen:

- Thermisches Verdampfen
- Elektronenstrahlverdampfen
- Lichtbogenverdampfen



thermisches Verdampfen

Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Prozess: Oberflächenteilchen d. Aufdampfmaterial (AM) in Tiegel in HV nahe Siedepunkt verdampfen
geradlinig* → kondensieren auf Substrat**/
Kammerwände

Verdampfungsrate $a_V \sim \sqrt{\frac{M}{T}} (p_s(T) - p_0)$ (nach Hertz/Knudsen)

- Sättigungsdampfdruck \gg Vakuumdampfdruck
- Verd.rate kontroll. durch Tiegeltemperatur



Aufdampfmaterialien

Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

- Chemische Verbindungen zerfallen bei Verdampfung. Diese können stöchiometrische Schichten bilden (in Relation zu Verfahren)
- Legierungen Dampfdruckverhältnis bestimmt Dampfzusammensetzung (Verarmung flüch. Komponente)



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Aufdampfmaterialien

Verfahren zur Erzielung def. Zusammensetzungen:

- Mehrquellenverdampfung
- Eintiegelverfahren (Bsp. Stab Legierung A1B1)
- Flashverdampfung (kleine Mengen; auf Verd.block)
- Reaktive Bedampfung (Mat.dampf reagiert mit verschiedenen zusätzlichen Gasen)
 - Darstellung gewünschter Verbindungen auf Substrat (Nitride aus Metallen in Stickstoff)



Verdampfungsquellen

Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

- Einteilung nach Heizprinzip:
→ Stromwärme, e.-m. Induktion,
Elektronenstrahl
- Oberflächenbez. Heizleistung unterschiedlich
- Mögl. chem. Reaktion zw. Dampf u. Quellen



Verdampfungsquellen

Einführung
Sputterdeposition
Mehrcomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

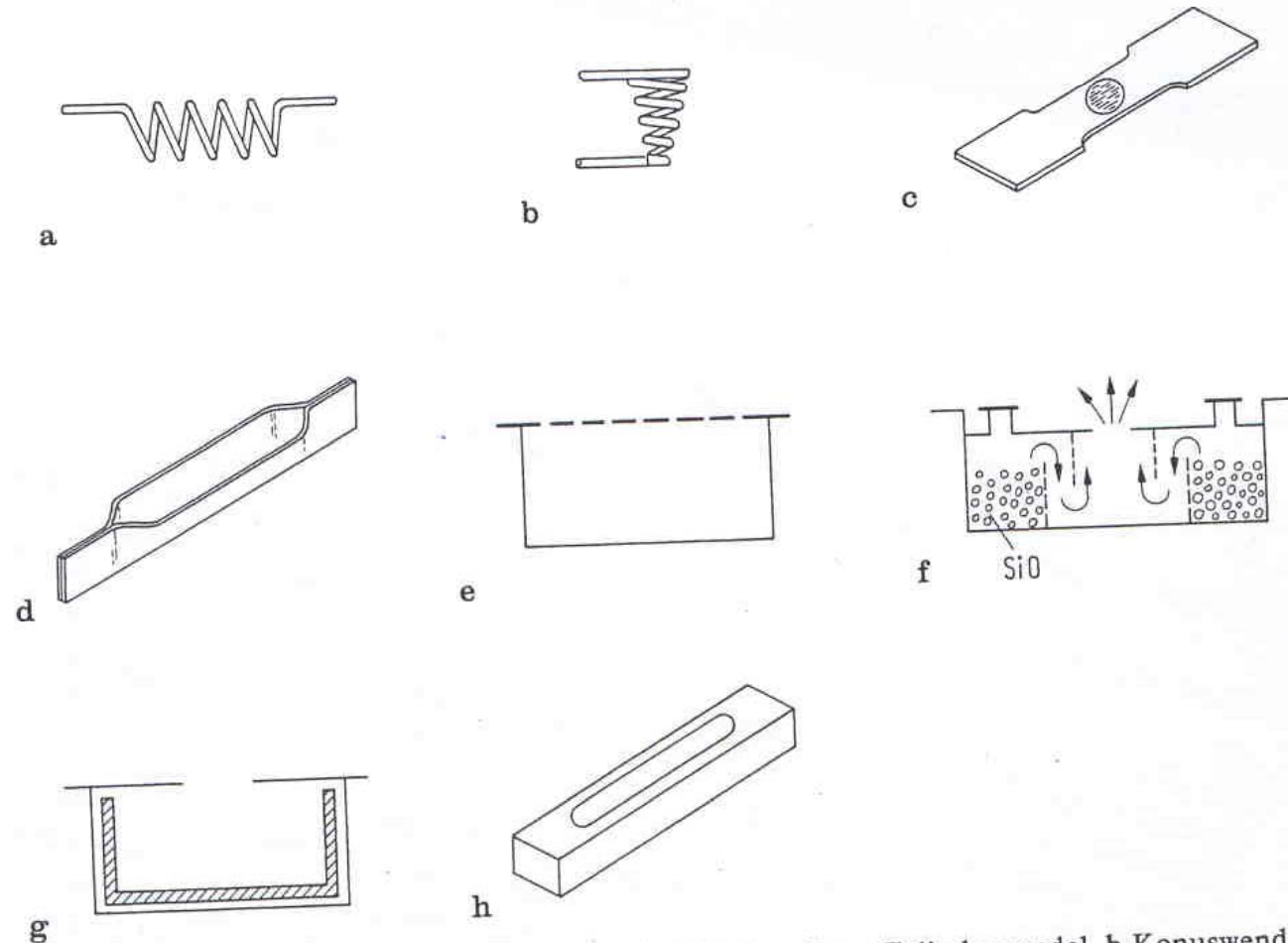
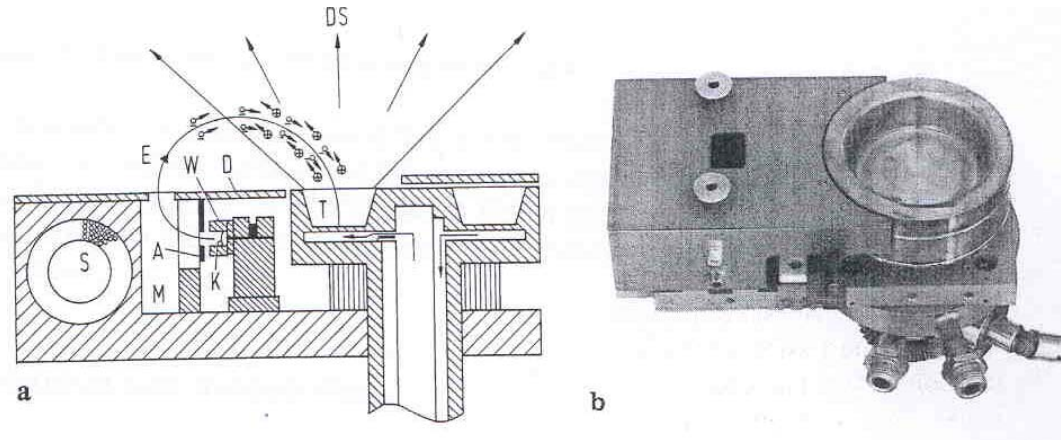


Abb. 5.7 a-h. Verschiedene widerstandsbeheizte Verdampfer. a Zylinderwendel, b Konuswendel, c Band, gedimpelt, d Schiffchen, e Kastenschiffchen, f Baffle-Schiffchen, g Schiffchen mit keramischem Tiegeleinsatz, h Verdampferblock. Materialien: a-g: W, Mo, Ta; h: Bornitrid, Titandiborid



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstechn.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Elektronenstrahlverdampfer



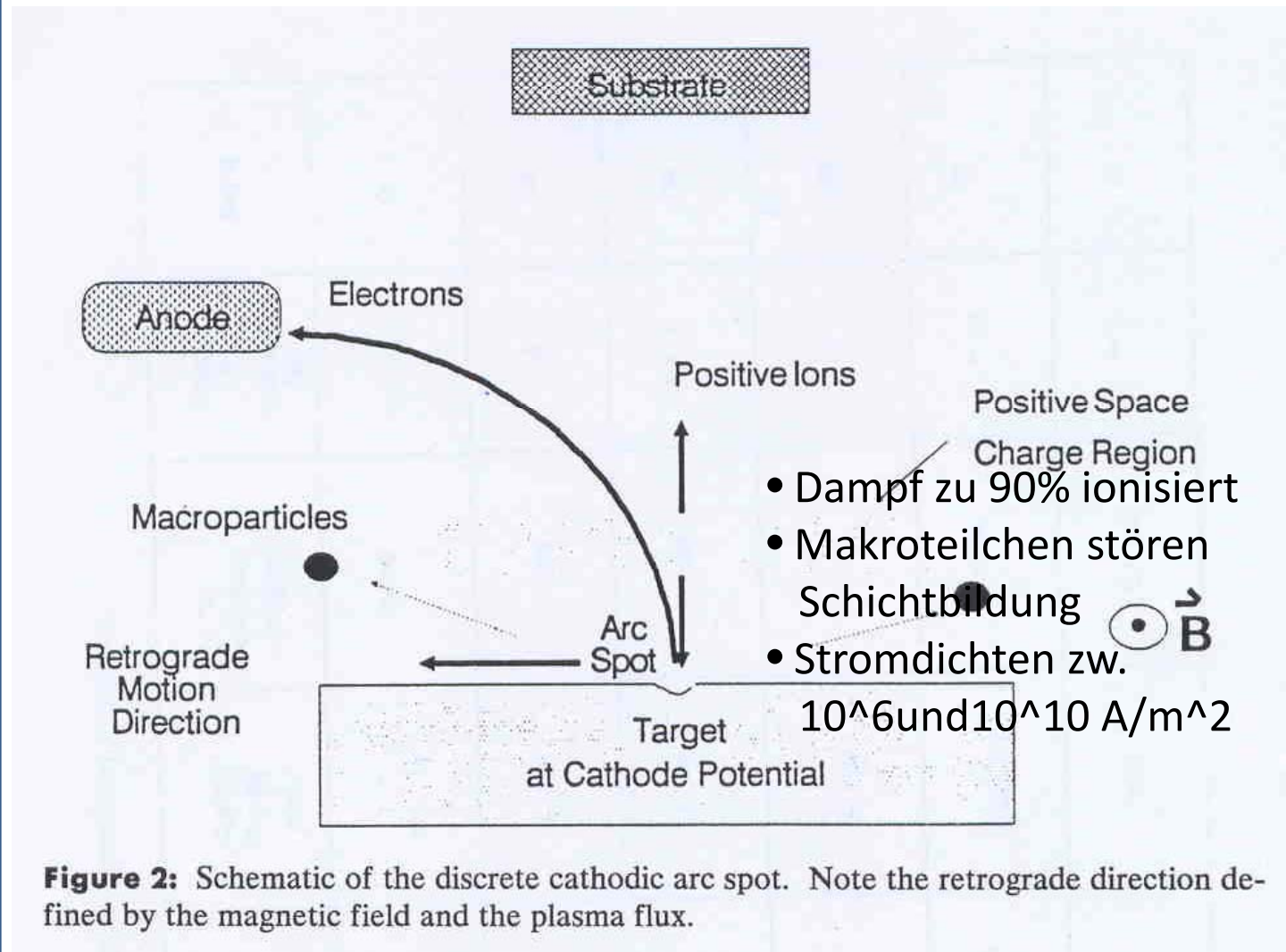
- Elektronen von Kathode emittiert und zu Anode beschleunigt, zw. Anode und Wehneltblende zu Hochspannungsgesetz, Bedampfung von evap. Materialien, Verstärkungselemente auf Gleichstromföhlerreflektoren
- Wehneltspannung stark \rightarrow Brechungsflächen



Lichtbogenverdampfen

Einführung
Sputterdeposition
Mehrcomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.

Quellen
Schlusswort





Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Lichtbogenverdampfen

- Substrat neg. vorgespannt
 - höhere kin. Energien in Dampf einbringbar
 - Beeinflusst Schichtwachstum
 - Sputtern Oberfläche → aufwachsen
 - Adsorbat mobil genug gleichmäßige Bed
 - Hohe Dichte
 - Implantation in obersten Schichten
 - Verst. adhäsive Bindung → festhaftend



Einführung
Sputterdeposition
Mehrcomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.
Quellen
Schlusswort

Lichtbogenverdampfen

Mechanismen

- der Substratheizung
 - Inneren Spannungen
 - Charakter Plasma in Hochspannungsbögen
- sind weitgehend unverstanden

Jedoch kleiner Schichtspannungen und
Substrattemperaturen als bei den meisten anderen
Techniken



Einführung
Sputterdeposition
Mehrcomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Anwendungen

Opt. Anwendungen:

- Al-Spiegel
für Projektorlampen und Automobilscheinwerfer
- Entspiegelungs-(Antireflex)-Schichten
auf Linsensystemen und Brillengläsern
- Interferenzfilter, Kantenfilter, Wärmeschutzfilter
- Laser-Beläge für Transmission und Reflexion
- Sputtertechnik :Beschichtung von Architekturglas
(Wärmedämmung/Sonnenschutz mit MO.M.MO Schichtsys.)

Elektronik-Industrie:

- Aufged. (und gesp.) Schichten verbinden Bauelemente und Gehäuse
- Dünnschicht-Widerstände, -Kapazitäten, Magnetbänder, supral. Schichten, Solarzellen, el.stat. Abschirmungen



Einführung
Sputterdeposition
Mehrkomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Anwendungen

Schutzschichten:

Al-besch. Kunststofffolien zur Wärmeisolation

Vielschichtensysteme (Superisolation) in Kryotechnik und Raumfahrt

Dekorative Schichten:

Für die Autom.-Industrie : Kunststoffteile mit Grundlack mit Al, Cr oder Inox beschichtet; weitere Schicht als Schutz vor mech. Und Umwelteinflüssen

Beschichten von Schmuck, Brillengestellen u.a.
Gebrauchsgegenständen



Einführung
Sputterdeposition
Mehrcomp. Film
Dünnschichtbildung
Diodensystem
Magnetron Sys.
Triodensystem
Ionenstrahl g. D.
Ionenplattieren
Bedampfungstech.
therm. Verd.
Aufd.materialien
Verd.quellen
Elektr.strahlverd.
Lichtbogenverd.

Quellen

Schlusswort

Quellen

Quellenangabe:

- R.A. Haefer ; „Oberflächen- und Dünnschichttechnologie; Teil 1 : Beschichtung von Oberflächen“, 1987
- S. M. Rossnagel, J. J. Cuomo, W. D. Westwood ; „Handbook of Plasma Processing Technology“; Noyes Publications, 1990
- B. Chapman ; „Glow Discharge Processes“; Wiley 1980
- R. Hippler, H. Kersten, M. Schmidt, K. H. Schoenbach; „Low Temperature Plasmas“ ; VCH-Wiley, 2008

Schlusswort

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

