



INSTITUTO
TECNOLÓGICO
DE AERONÁUTICA



www.lpp.ita.br

www.ita.br

MT-203

Ciência e Tecnologia de Filmes Finos

Prof. Douglas M G Leite

leite@ita.br

Sala LPP-203

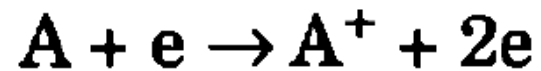
www.lpp.ita.br/leite

Aula 08 – Plasmas – cap 8 e 9

- Plasmas – básico/revisão
- Descarga Luminescente
- Estrutura da descarga
- Bainha
- Plasma DC
- Plasma RF
- Magnetron
- Aplicações em Filmes Finos

Plasmas

- Ionização do gás



- Emissão secundária de e^-
- Efeito cascata
- Recombinação (emissão Luz)
- Sustentação

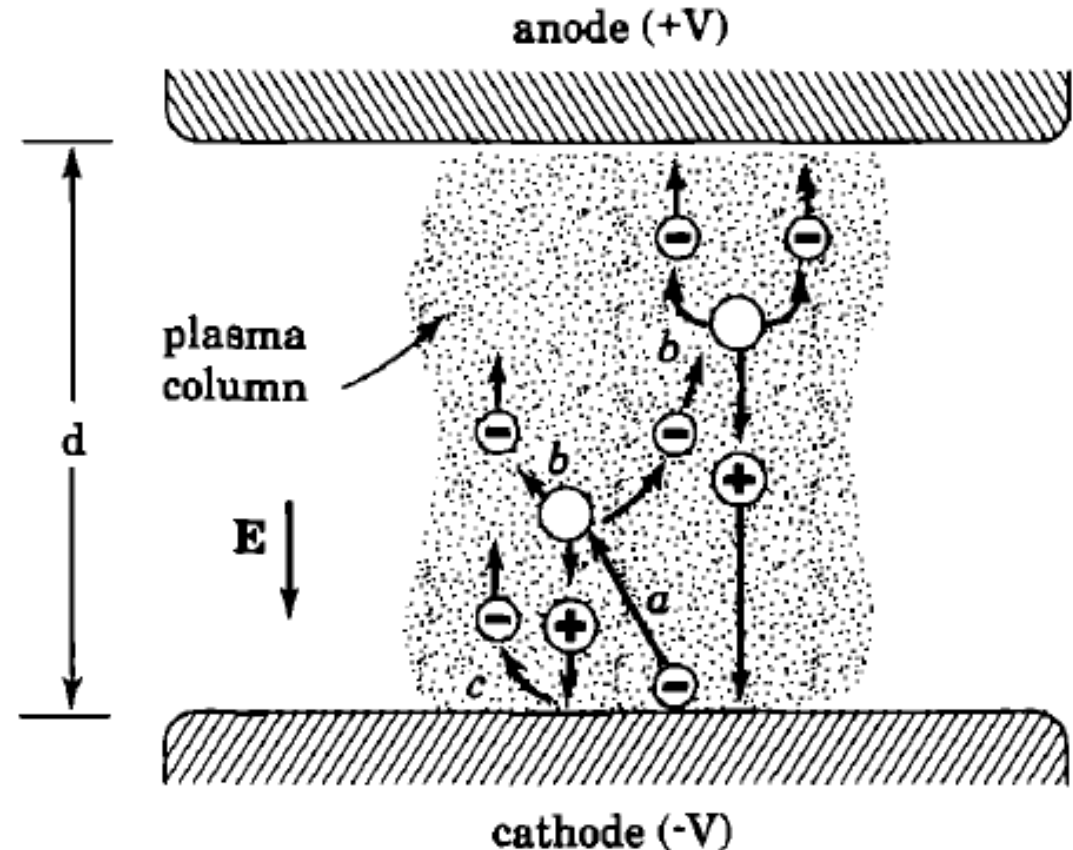


Figure 8.2 Ionization and current flow in a plasma sustained between electrodes: (a) initiating electron, (b) electron-impact ionization per Eq. (8.14), and (c) ion bombardment-induced secondary electron emission. White circles = gas atoms or molecules.

Plasmas

- Tensão de Ruptura
- Ignição do plasma
- $10^2 \text{ Pa} \sim 1 \text{ Torr}$

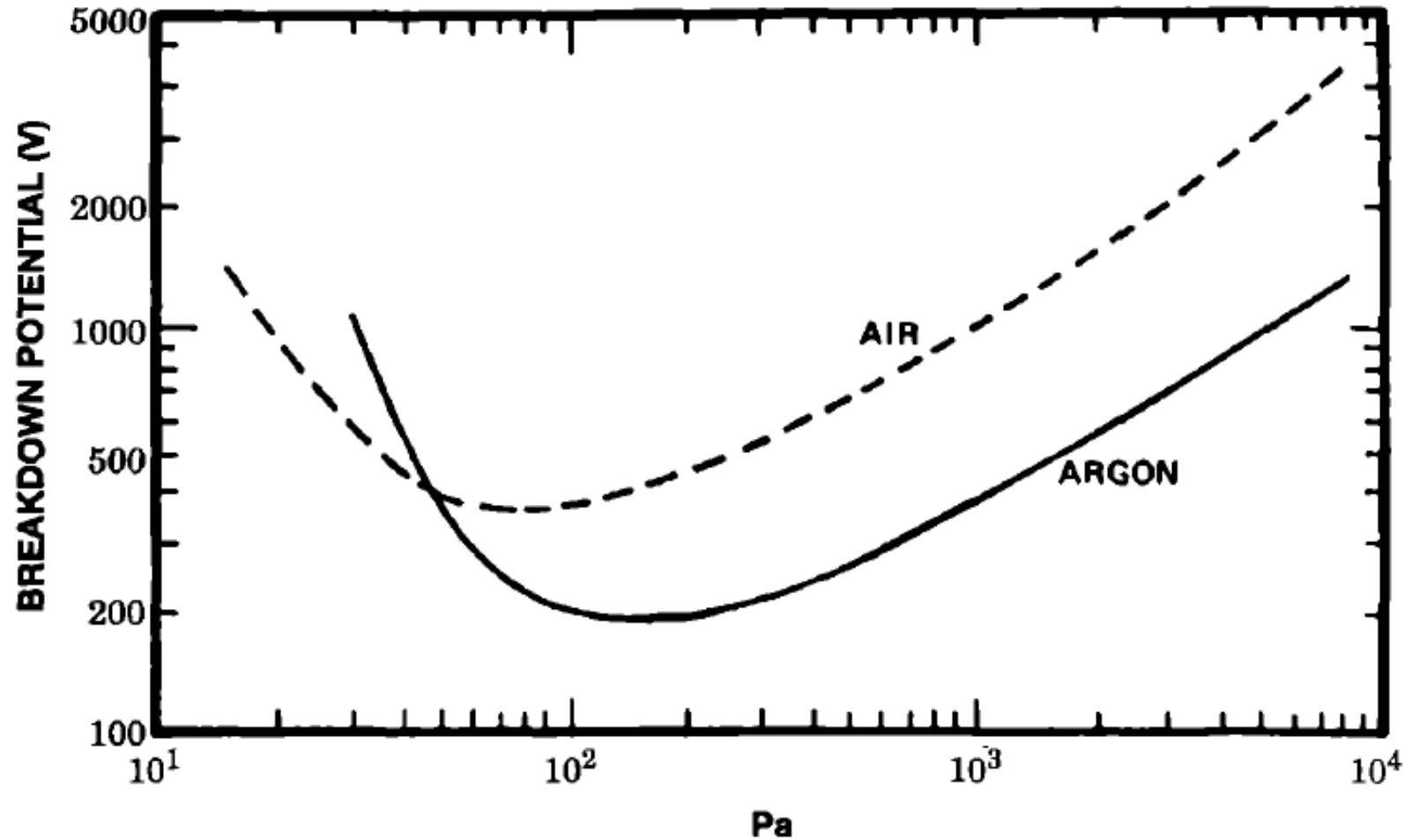
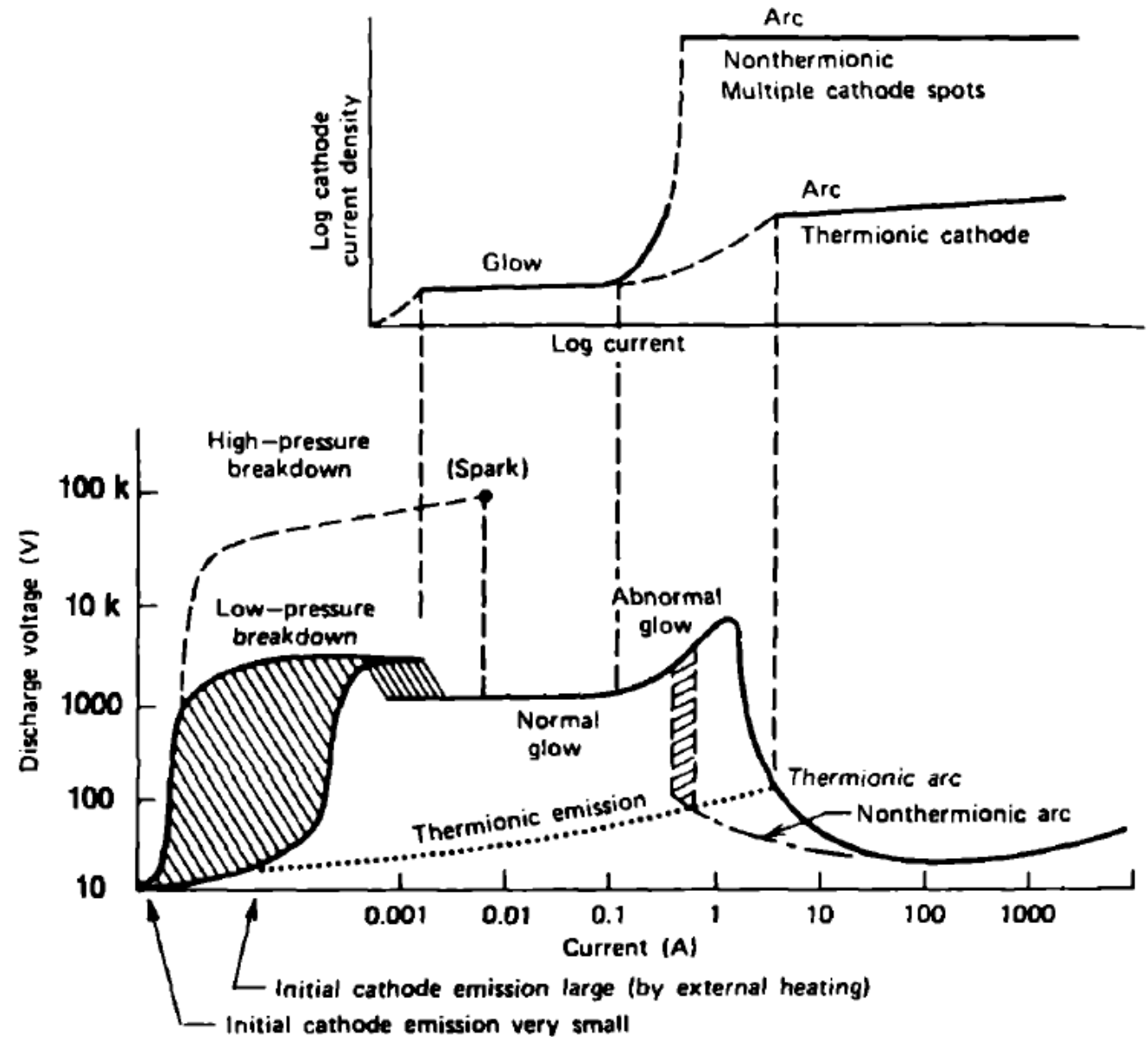


Figure 8.4 Paschen curves for gas breakdown voltage between planar electrodes at spacing d , 293 K. (Source: Reprinted from Ref. 6 by permission. Pressure units changed to Pa.)

Plasmas

➤ Regimes Corrente–Tensão



Estrutura do Plasma

Descarga Luminescente:

- Quase neutralidade $\rightarrow n_+ \approx n_e$ (exceto bainha!)
- Velocidade dos elétrons (v_e) $\gg$ velocidade dos íons (v_i) = vel. dos átomos neutros (gás)

n_e = número de elétrons / volume (densidade de elétrons)

n_+ = número de íons / volume (densidade de íons)

Estrutura do Plasma

Descarga Luminescente:

- Densidade de Plasma (n_e) da ordem de 10^{10} cm^{-3} podendo chegar a 10^{12} cm^{-3}
 - Uma descarga em $p = 1 \text{ Torr}$ ($n \sim 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) $\rightarrow$ fração ionizada $\sim 10^{-4}$ a 10^{-6}
- $\rightarrow$ somente 1 íon para cada 1.000 a 100.000 espécies neutras**

n_e = número de elétrons / volume (densidade de elétrons)

n_+ = número de íons / volume (densidade de íons)

Estrutura do Plasma

Comprimento de Debye

$$\lambda_D (\text{cm}) = 0.1 \left(\frac{\epsilon_o \tilde{T}_e}{n_e q_e} \right)^{1/2} = 743 \sqrt{\tilde{T}_e / n_e}$$

where ϵ_o = electrical permittivity of vacuum = 8.84×10^{-12} F/m

$\tilde{T}_e$ = electron T in eV [Eq. (9.11)]

n_e = plasma density, e/cm^3

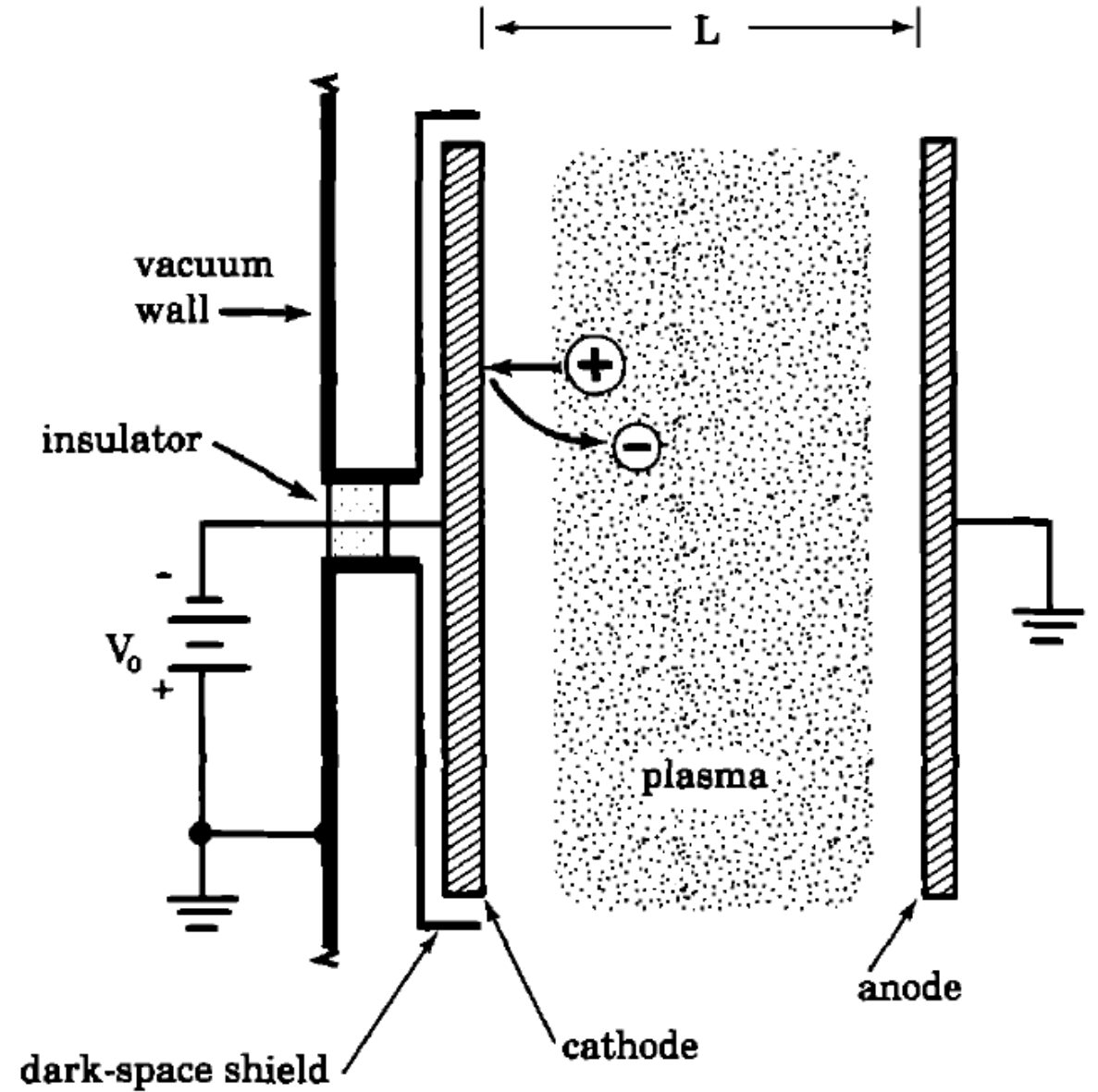
q_e = electron charge = 1.60×10^{-19} C

Traduzindo: λ_D = raio de ação do potencial elétrico de cada íon

Plasma típico ($n_e = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $T_e = 3 \text{ eV}$): $\lambda_D \sim 0,01 \text{ cm (100 } \mu\text{m)}$

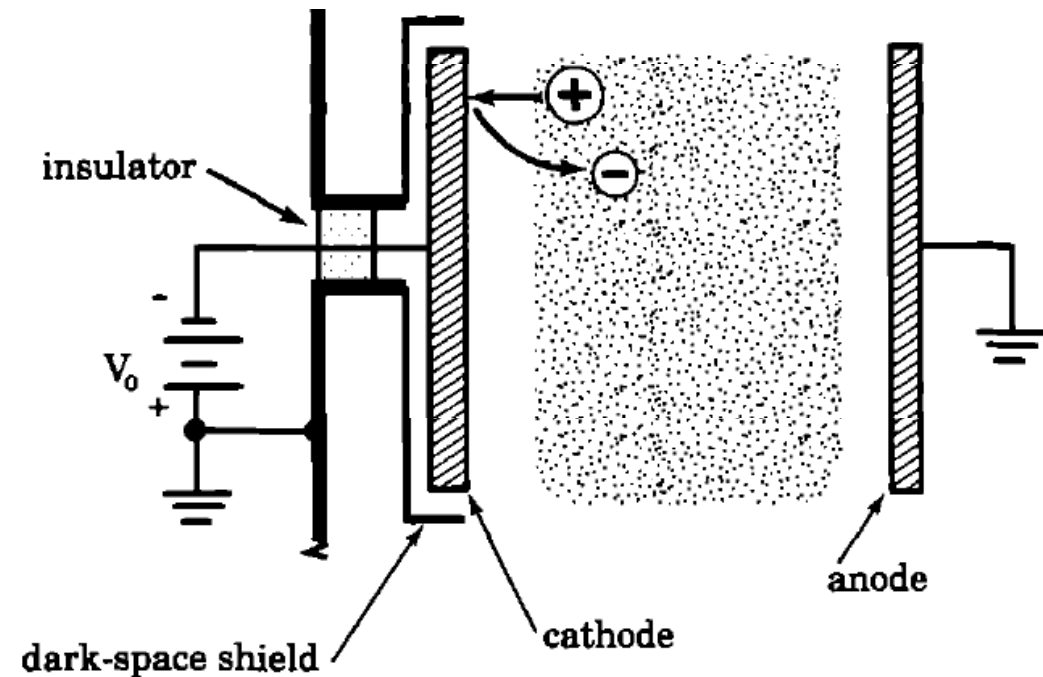
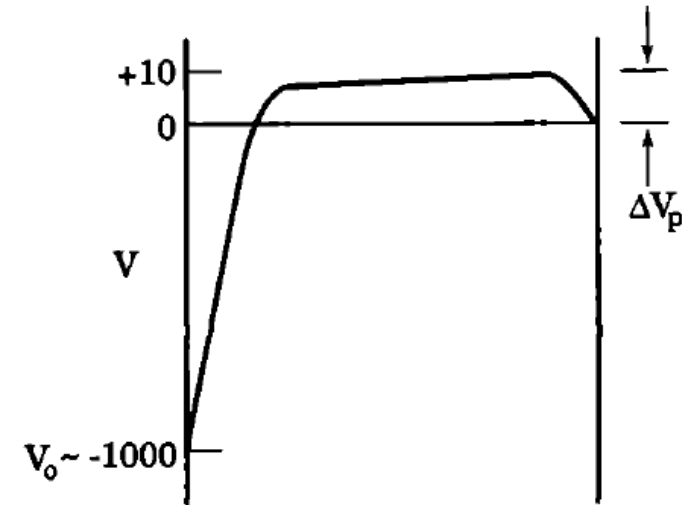
Plasma DC

➤ Eletrodos paralelos



Plasma DC

- Eletrodos paralelos
- Perfil de potencial



Plasma DC

- Eletrodos paralelos
- Perfil de potencial
- Bainha

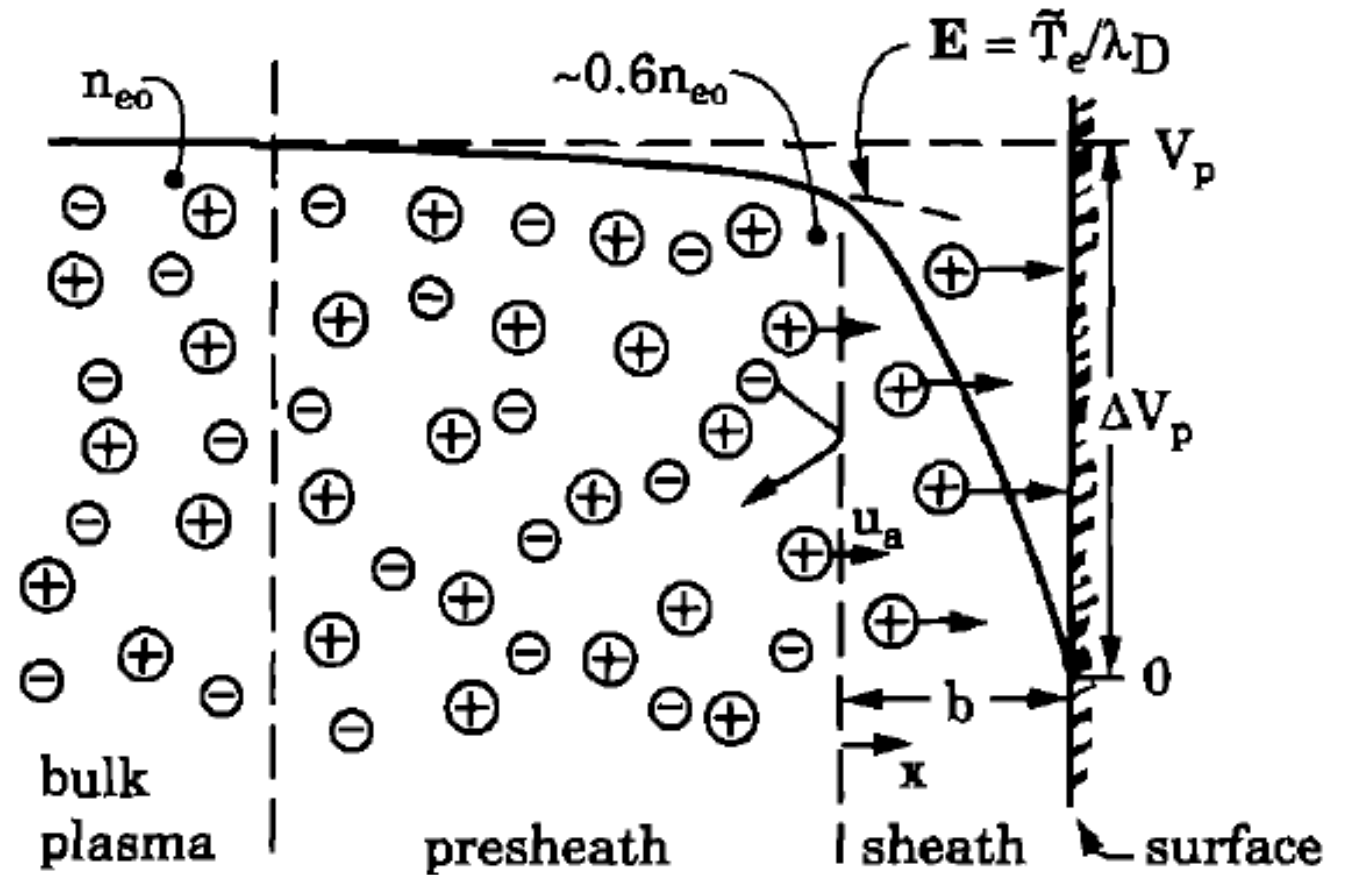
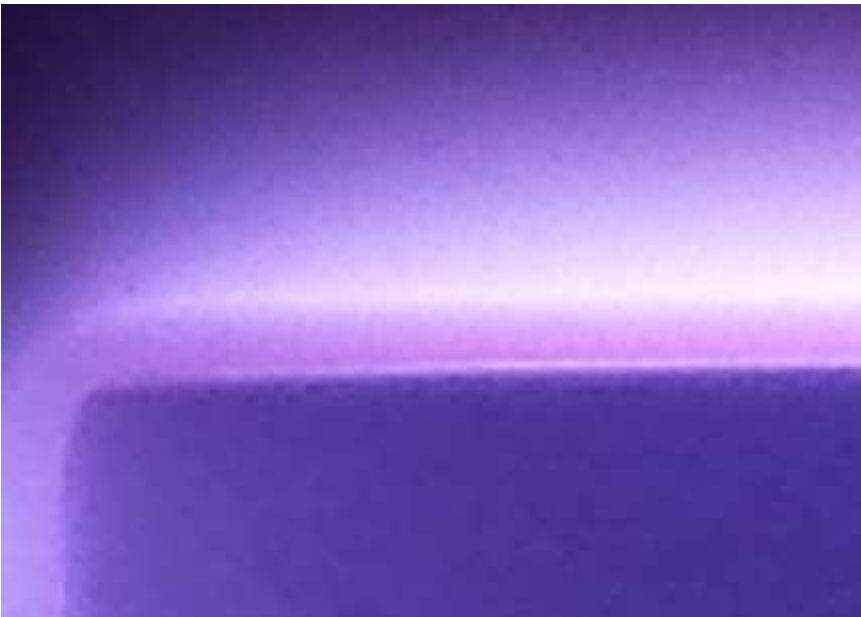


Figure 9.3 Charge distribution and voltage profile near a surface abutting a glow-discharge plasma. ΔV_p is the *minimum* (anode) sheath voltage drop.

Plasma DC

Bainha no catodo:

- Região escura (ausência de e^- não há recombinação)
- Queda brusca de tensão → aceleração dos íons contra a superfície



Plasma DC

Bainha no catodo:

- Largura depende fortemente da pressão e da tensão aplicada

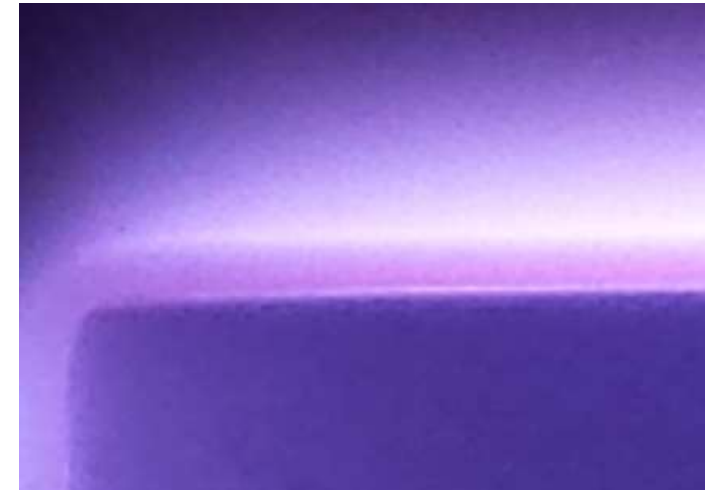
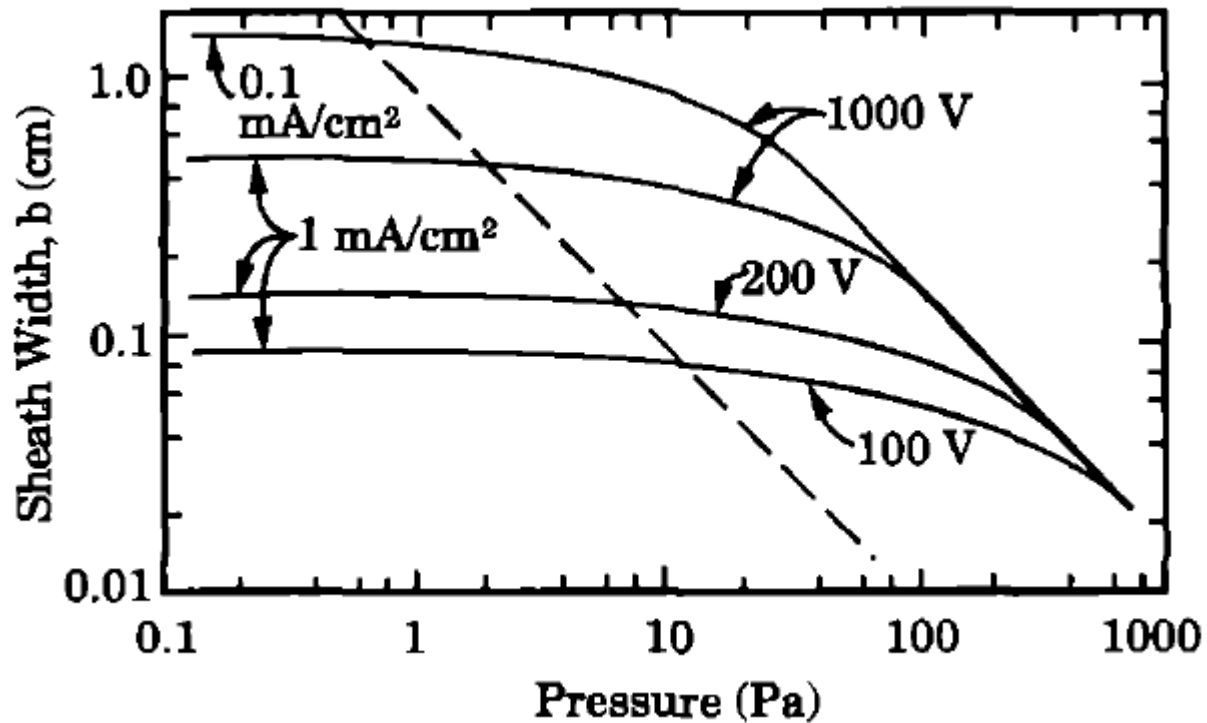


Figure 9.4 Calculated effect of pressure, sheath voltage, and injected-current density, j_+ , on the sheath width in an Ar dc plasma. The dashed line is the mean free path of Ar^+ between charge-exchange collisions. (Source: Adapted from a figure in Ref. 16.)

Plasma DC

Problemas/Desvantagens

- Baixa eficiência de ionização
- Valores de pressão e tensão bem limitados para sustentar descarga
- Carregamento de alvos ou superfícies isolantes
- Geração de arco

Plasma RF

➤ Frequência 13,56 MHz

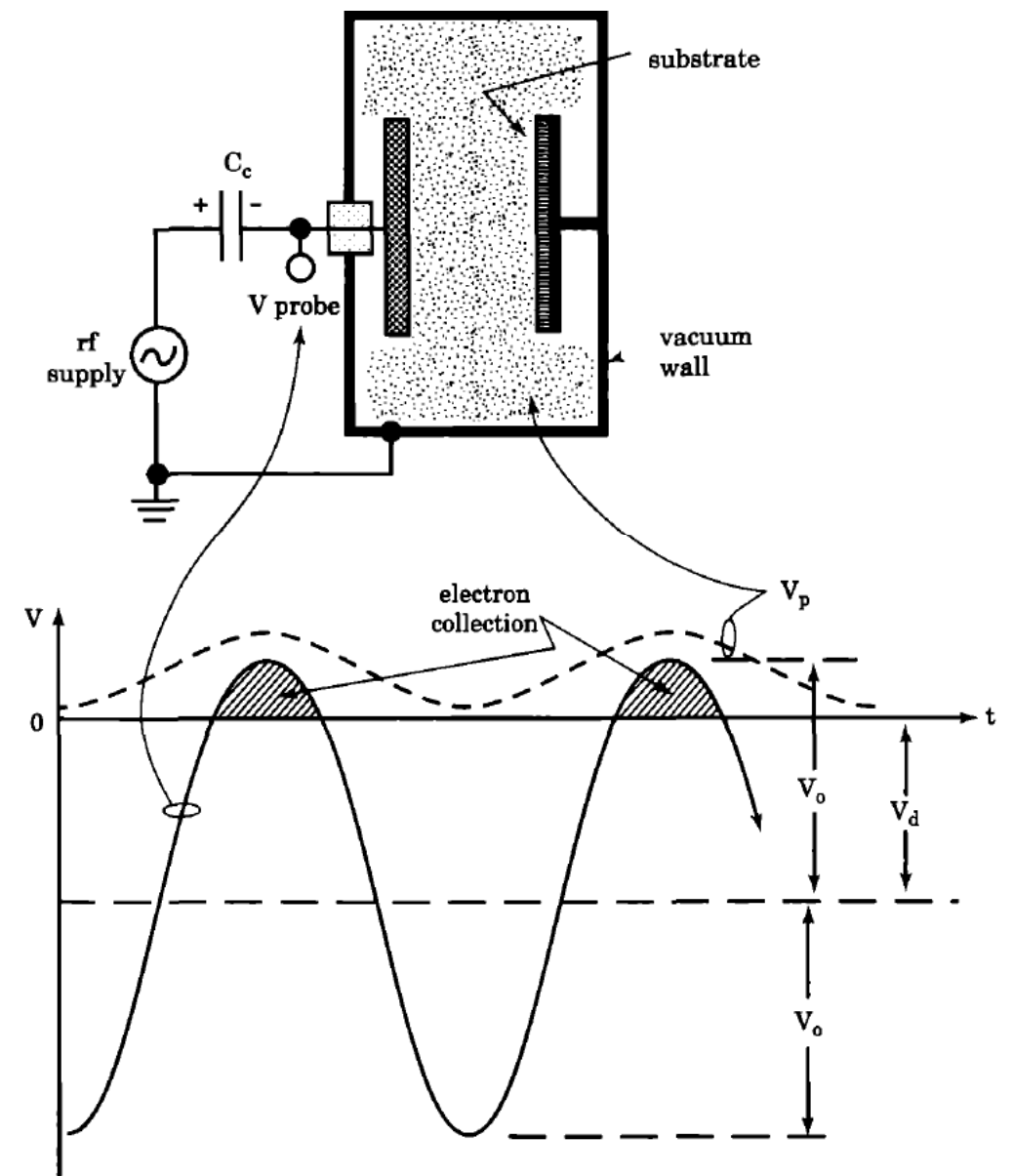


Figure 9.19 DC self-biasing of a capacitively coupled rf waveform due to plasma-electrode asymmetry.

Plasma RF

Auto-Bias (DC-Bias ou Bias-Voltage)

- Assimetria de eletrodos
- Elétrons mais rápidos
- Corrente de elétrons consegue acompanhar o ciclo RF e é drenada pelos eletrodos de forma igual, não importando sua área
- Corrente de íons (maior inércia) é drenada mais efetivamente pelos eletrodos de maior área
- Eletrodo com menor área assume potencial DC (V_d) NEGATIVO

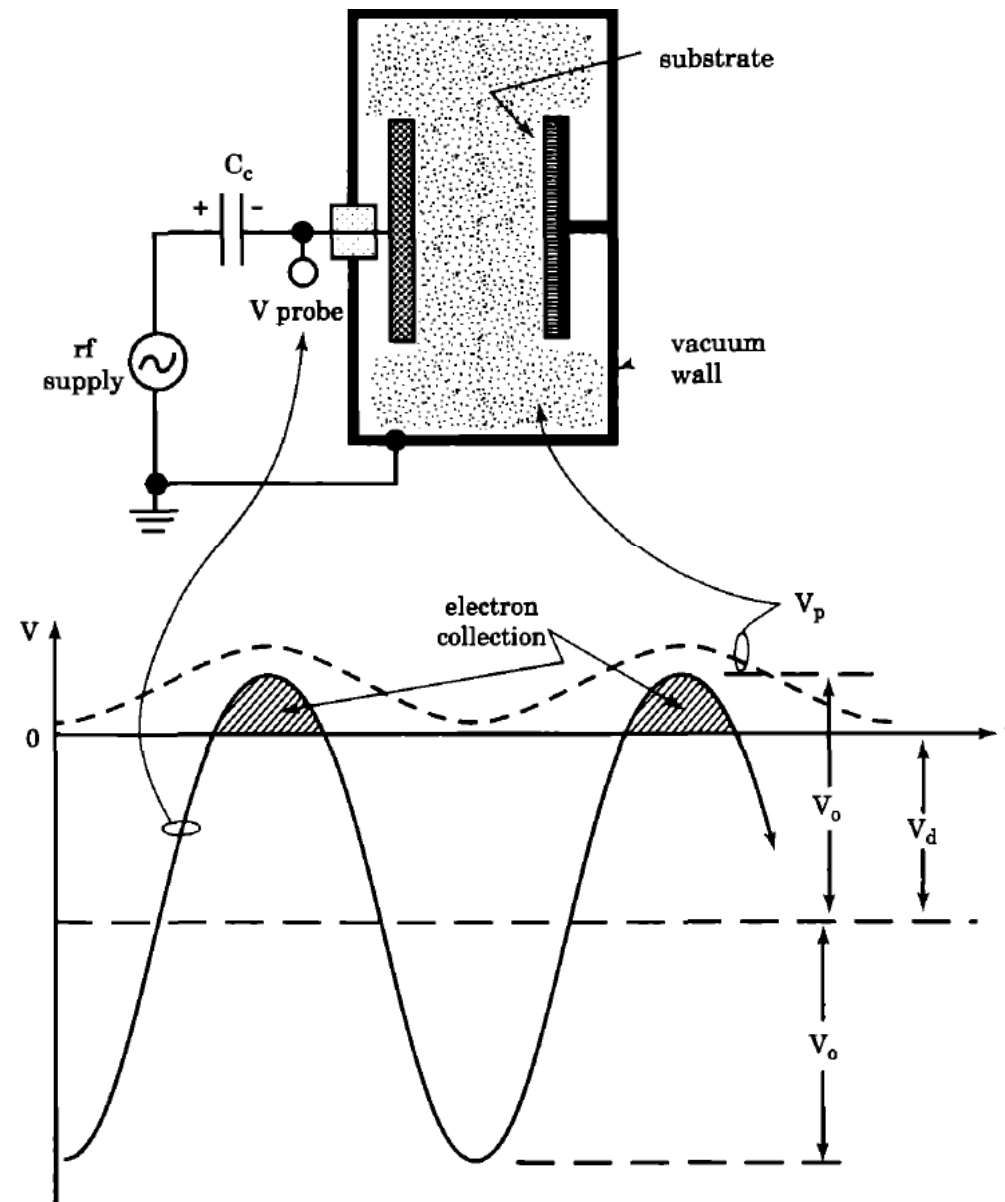


Figure 9.19 DC self-biasing of a capacitively coupled rf waveform due to plasma-electrode asymmetry.

Plasma RF

➤ Projeto genérico de Sensor de DC-Bias

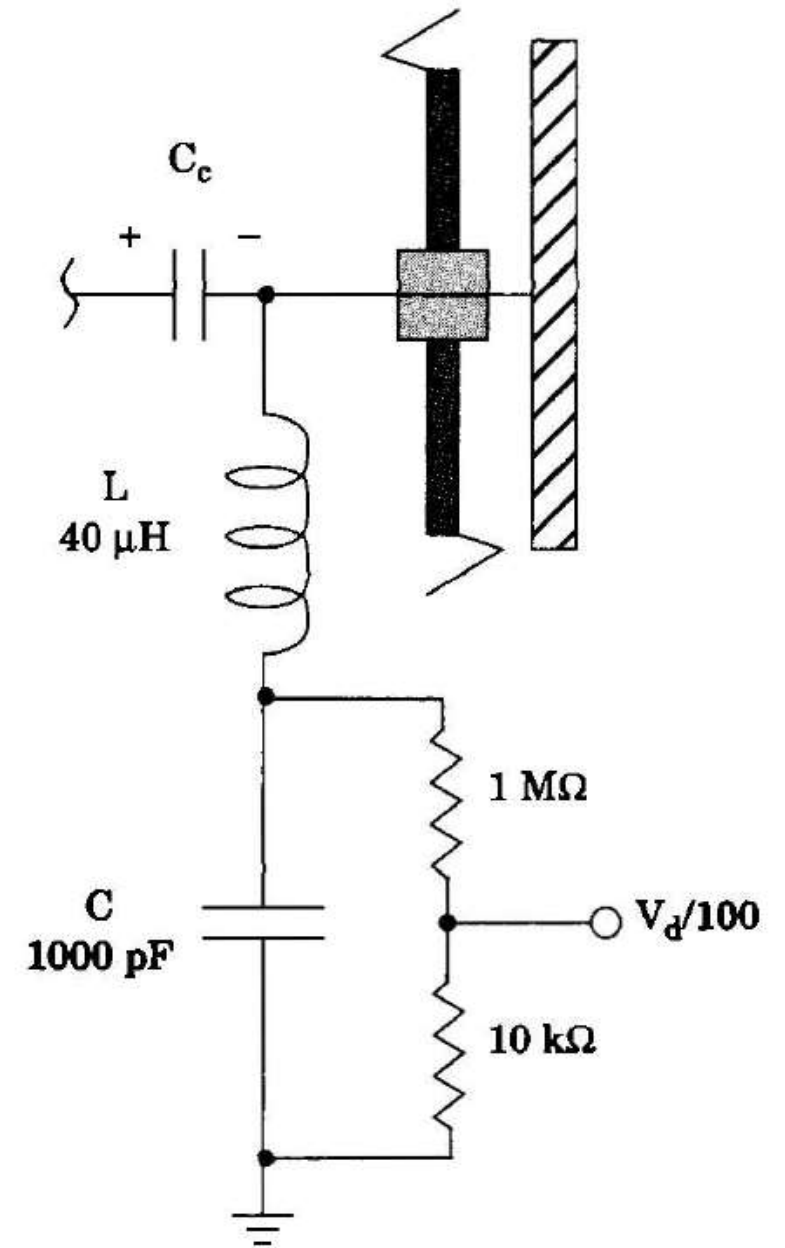


Figure 9.20 DC-bias probe with L and C sized for 13-MHz operation.

Plasma RF

- Acoplamento – transferência de potência
- CASADOR DE IMPEDÂNCIA

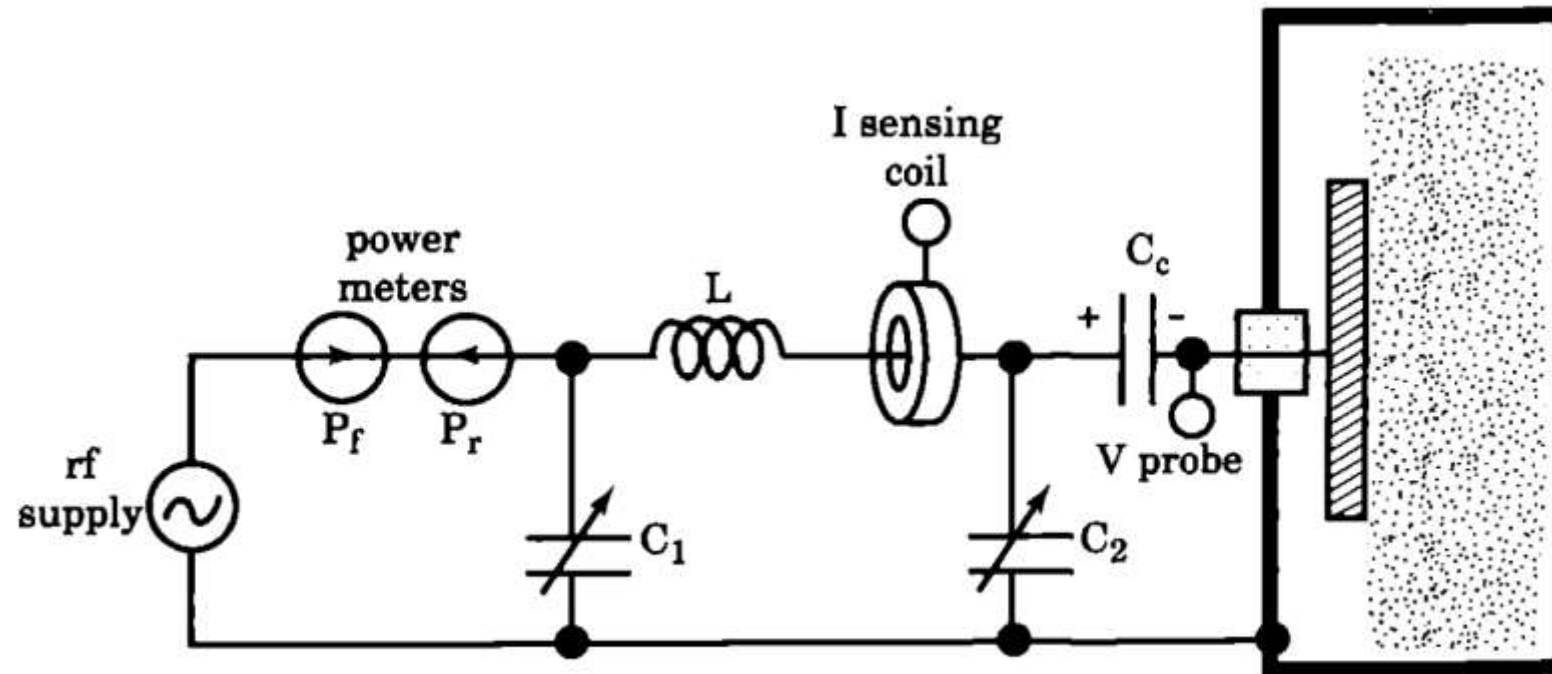


Figure 9.21 Typical matching network for high-frequency rf plasma coupling.

Plasma RF

Vantagens

- Maior eficiência de ionização
- Neutralização de acúmulo de cargas de superfícies (alvos) isolantes (chuva de e^-)
- Redução das ocorrências de arco (chuva de elétrons)
- Sustenta plasma em mais baixas pressões (até 10 mTorr)
- Descarga em forma de antena – indutivo

Desvantagens/Cuidados

- Espalha plasma por toda a câmara
- Aterramento e isolamento pode ser desafiador

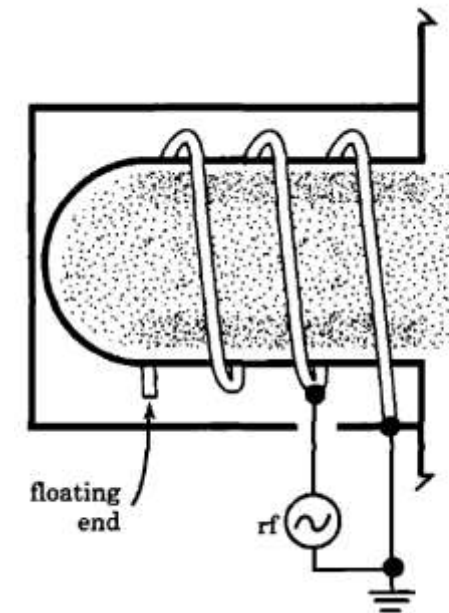


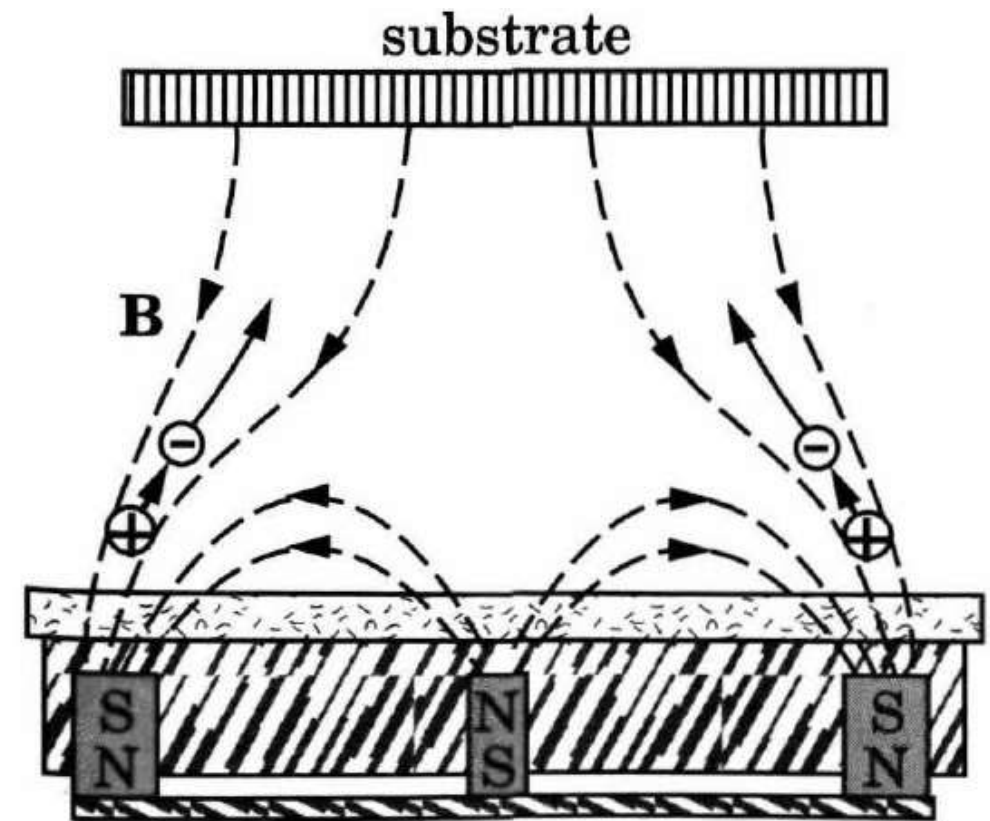
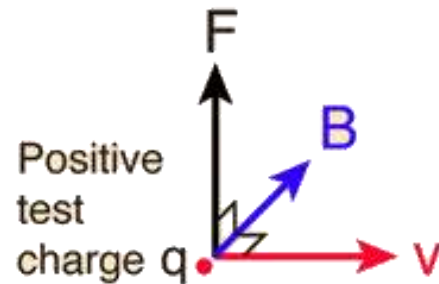
Figure 9.30 Geometry of a helical resonator.

Magnetron

- Aprisionamento de elétrons pela aplicação de campo magnético com forte componente paralela à superfície do eletrodo/alvo
- Aumento do grau de ionização do plasma

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

Electric force *Magnetic force*



Magnetron

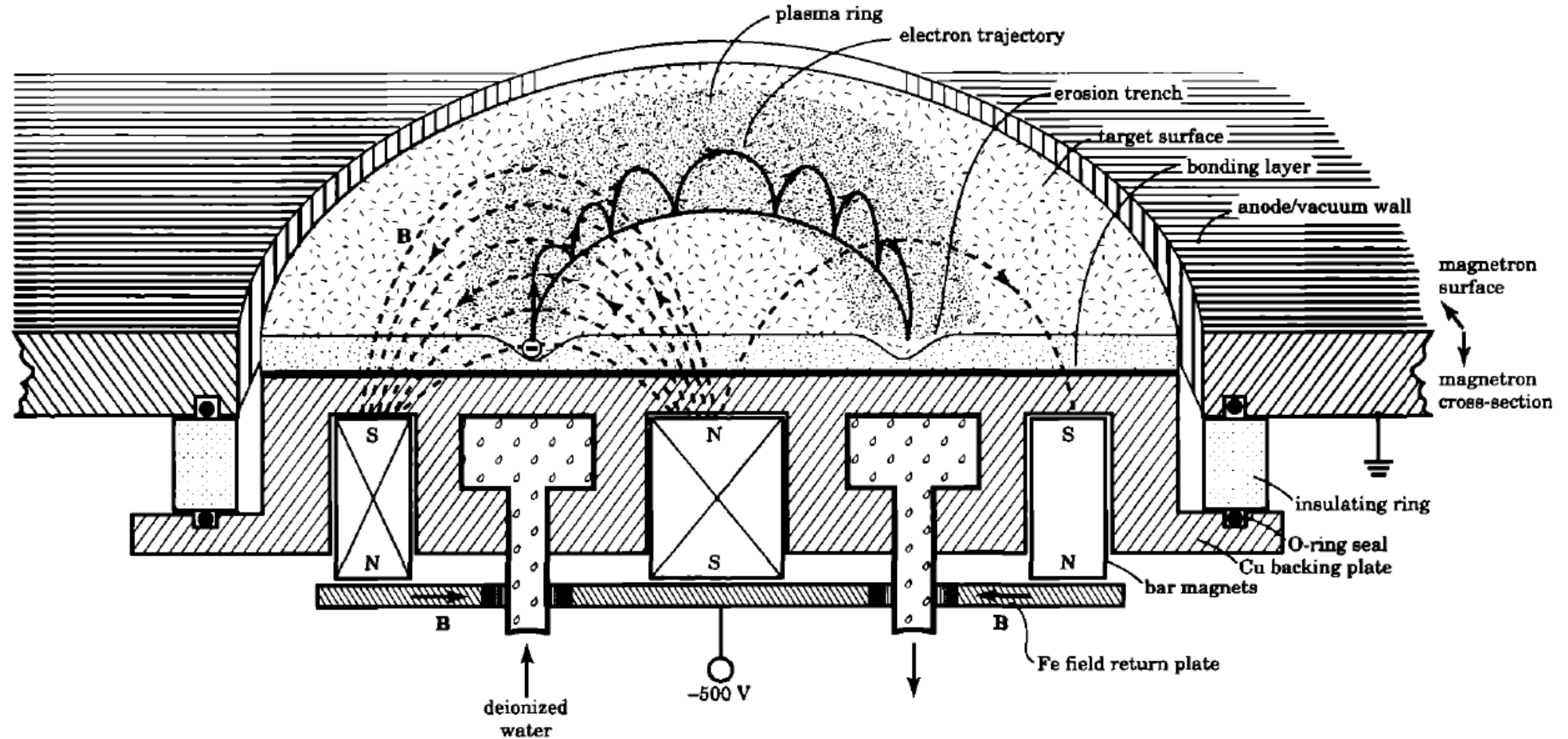
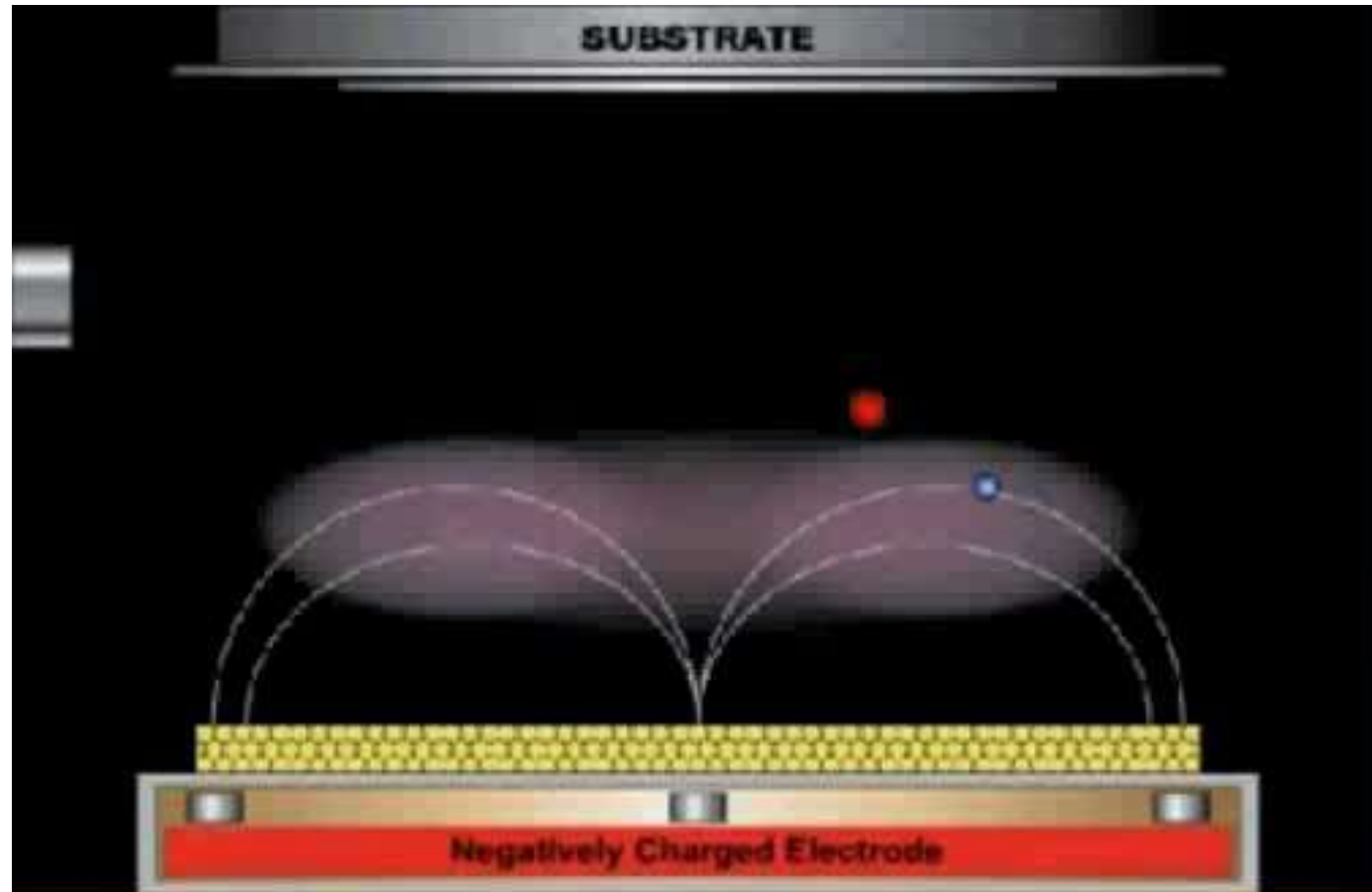


Figure 9.10 Planar-magnetron structure and behavior. The electron-orbit radius is shown much larger than actual size for clarity.

Magnetron



Magnetron

Vantagens

- Maior eficiência de ionização na proximidade do alvo/eletrodo
- Confinamento de plasma na vizinhança do alvo/eletrodo
- Aumento do limite inferior de pressões (até 1 mTorr)

Desvantagens/Cuidados

- Erosão não uniforme (formação de trilha)
- Materiais ferromagnéticos aprisionam as linhas de campo

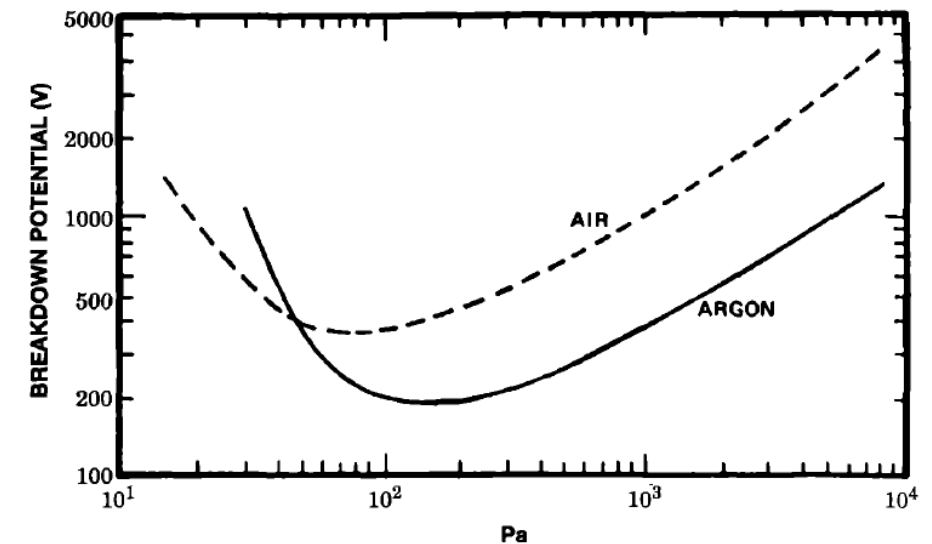


Figure 8.4 Paschen curves for gas breakdown voltage between planar electrodes at spacing d , 293 K. (Source: Reprinted from Ref. 6 by permission. Pressure units changed to Pa.)

Aplicação de Plasmas em Processos de Deposição

Limpeza/Polimento de Superfície/Substrato

- RIE (Reactive Ion Etching)

Geração de Precursores

- Ion Beam
- Sputtering

Reação/Ativação

- PECVD (Plasma Enhanced CVD)
- PEALD (Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition)
- ARE (Activated Reactive Evaporation)

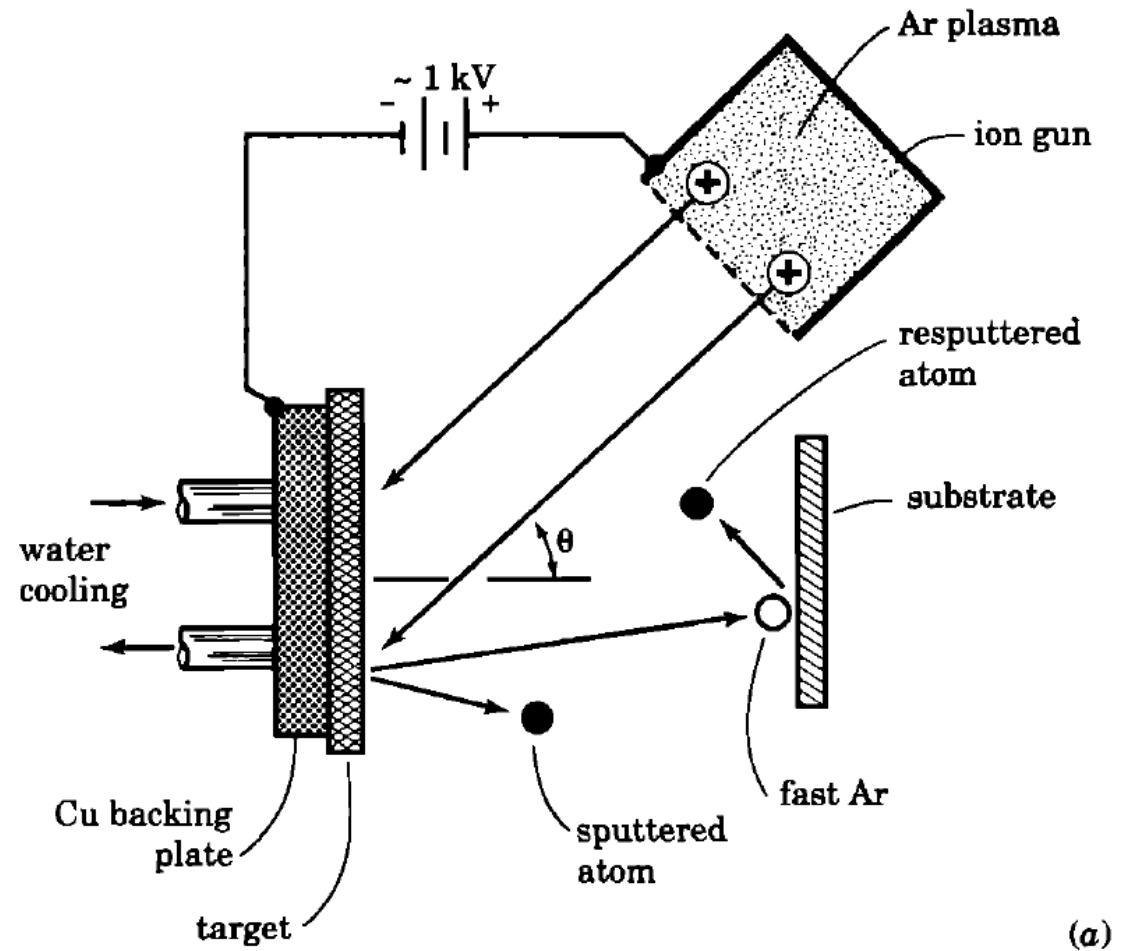
Pós-tratamento/Modificação

- Implantação iônica
- Ativação de superfície em pós-descarga

Aplicação de Plasmas em Processos de Deposição

Exemplos

➤ Ion Beam

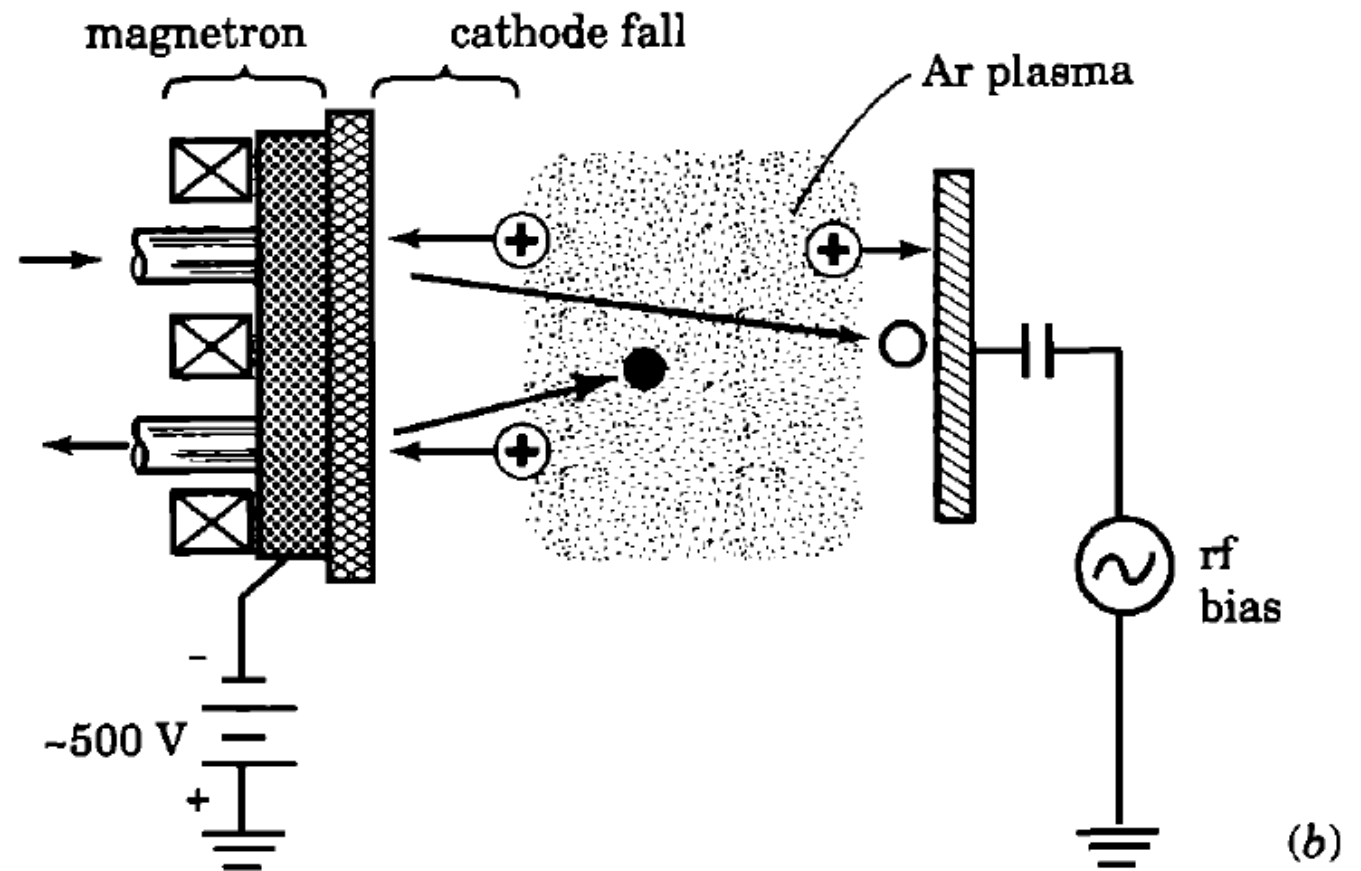


(a)

Aplicação de Plasmas em Processos de Deposição

Exemplos

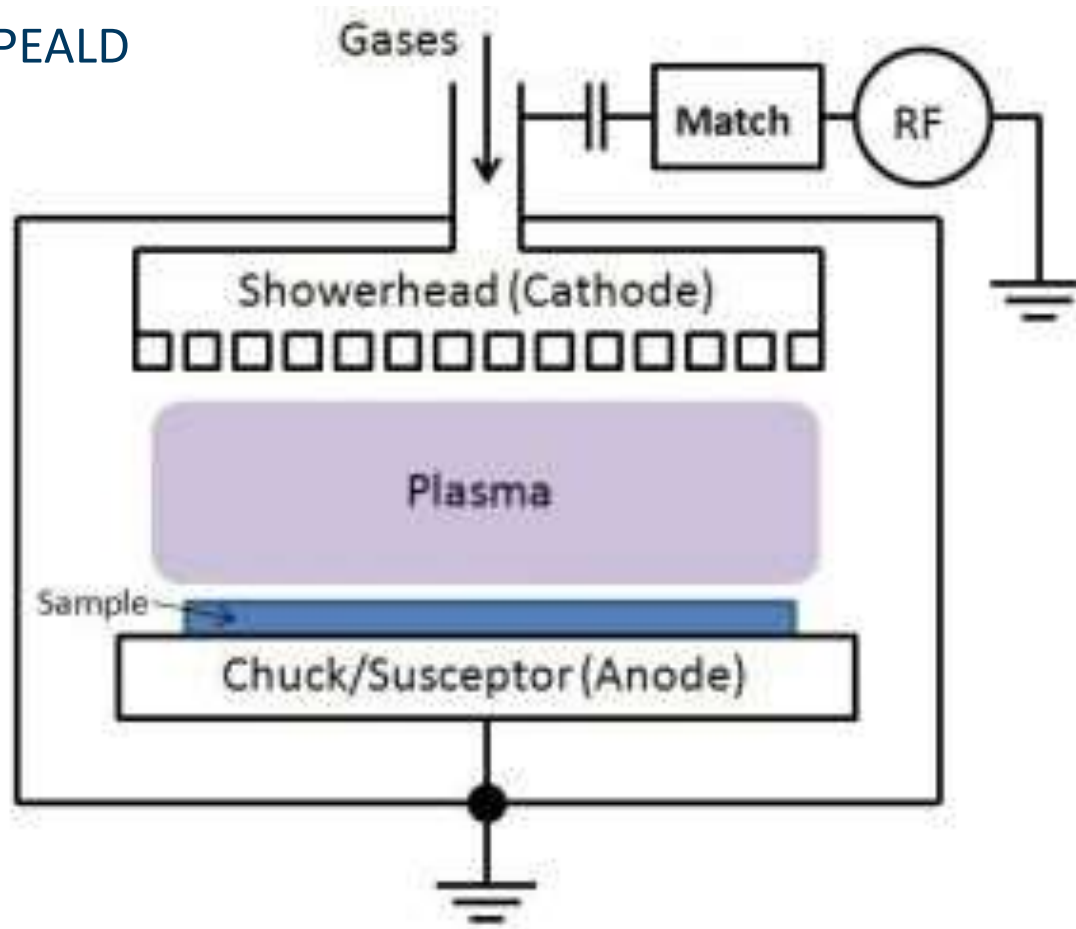
➤ Sputtering



Aplicação de Plasmas em Processos de Deposição

Exemplos

➤ PECVD/PEALD



Aplicação de Plasmas em Processos de Deposição

Exemplos

➤ ARE

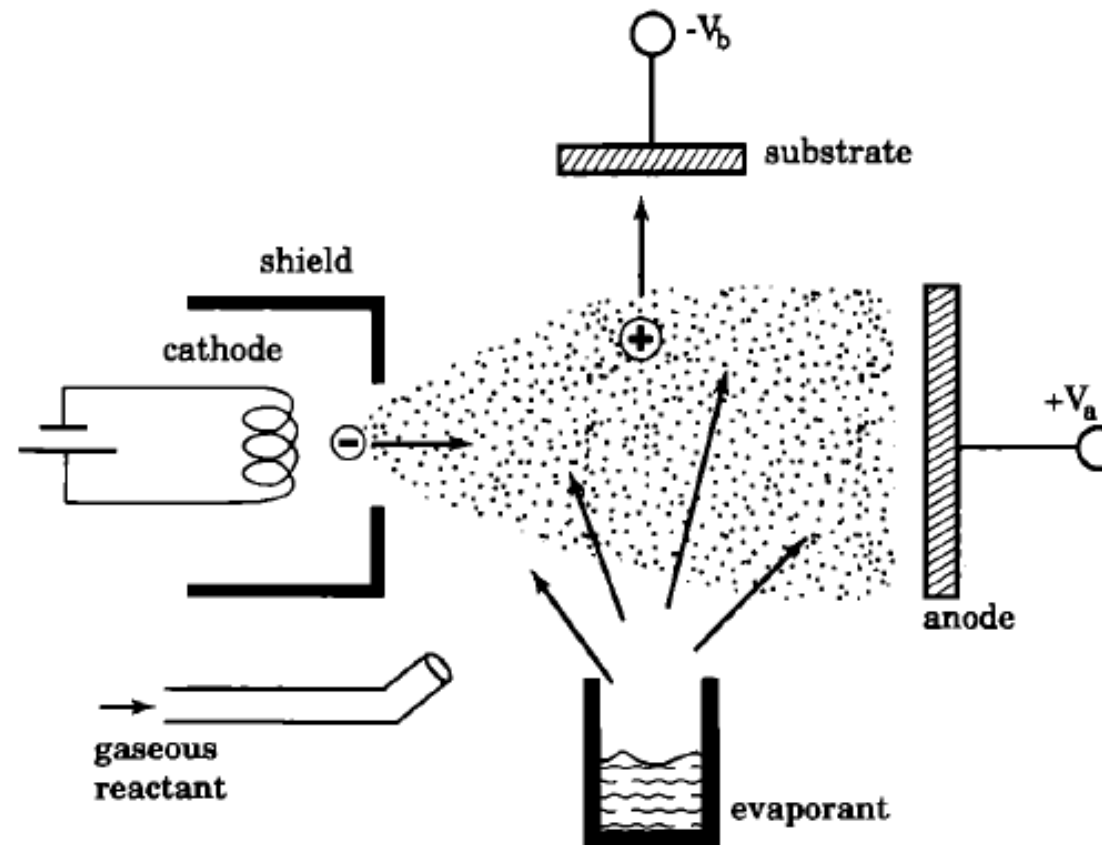


Figure 9.7 Typical geometry for compound-film deposition by plasma-activated reactive thermal evaporation.

Exercícios

Capítulo 8:

Exercícios 4,

Capítulo 9:

Exercícios 1, 4, 13