

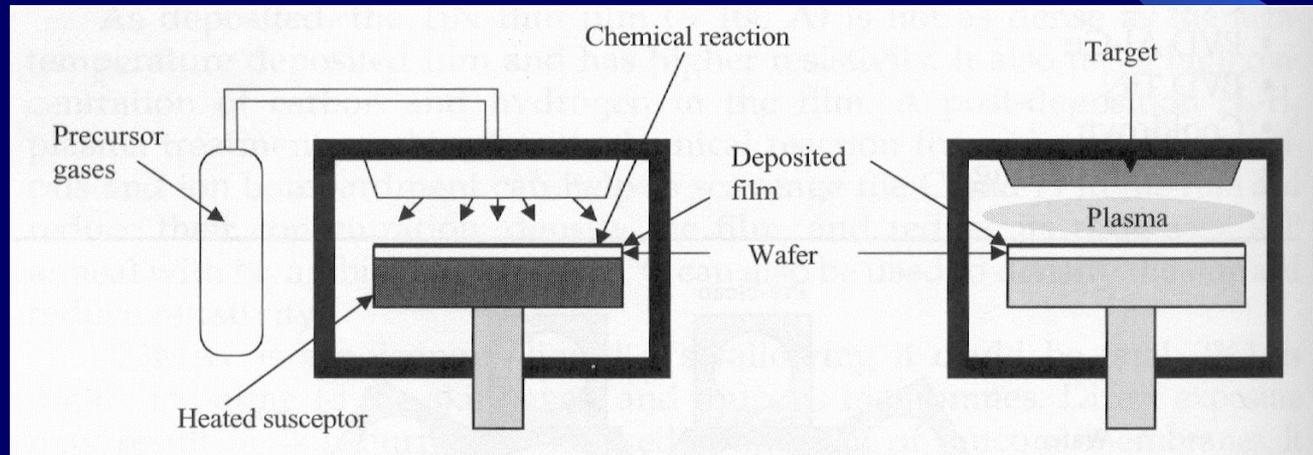
Capítulo 12
Deposição de Filmes Finos
por PVD – Pt I

Ioshiaki Doi
FEEC/UNICAMP

Capítulo 12 - Deposição de Filmes Finos por PVD – Pt I

• Comparação entre os Processos CVD e PVD

CVD



PVD

- **CVD:** usa gases or precursores em estado vapor e o filme depositado a partir de reações químicas sobre superfície do substrato.
- **PVD:** vaporiza o material sólido por calor ou sputtering e recondensa o vapor sobre a superfície do substrato para formar o filme fino sólido.

- **Filmes CVD:** melhor cobertura de degrau.
- **Filmes PVD:** melhor qualidade, baixa concentração de impurezas e baixa resistividade
 - **Processos PVD : empregados em processos de metalização na manufatura de CIs.**

- **Filmes Finos Metálicos são utilizados para:**
 - Interconexão dos diversos dispositivos
 - Alimentação dos dispositivos com tensões

- **Metal mais empregado:**

- Alumínio para CIs de Silício

- Baixa resistividade

(Al – $2.65\mu\Omega\text{-cm}$, Ag – $1.6\mu\Omega\text{-cm}$,
Cu – $1.7\mu\Omega\text{-cm}$ e Au- $2.2\mu\Omega\text{-cm}$).

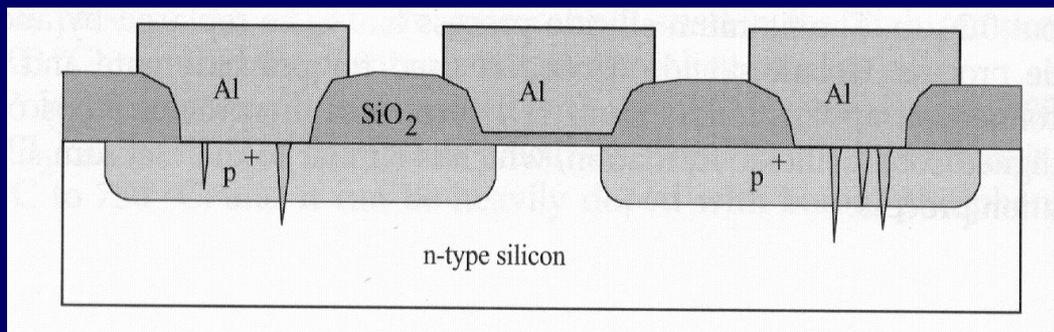
- Boa estabilidade e aderência sobre o SiO_2 e Si

Porém, o Alumínio apresenta baixo ponto de fusão (660°C). → Limita as etapas térmicas após a deposição do Al.

- **Problemas do Al**

- a) **Junction spiking**

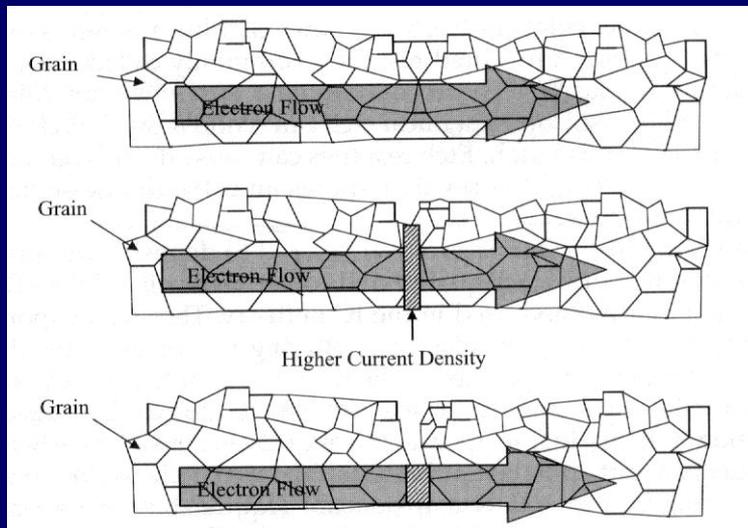
- Na região de S/D onde a linha metálica de Al faz contacto direto com Si, o Si pode dissolver em Al. \Rightarrow o Al difunde no Si formando *spikes* de Al (*junction spiking*), põe em curto S/D com o substrato e danificar o dispositivo.



Efeito *junction spiking*

b) Eletromigração

- Al metálico: material policristalino.

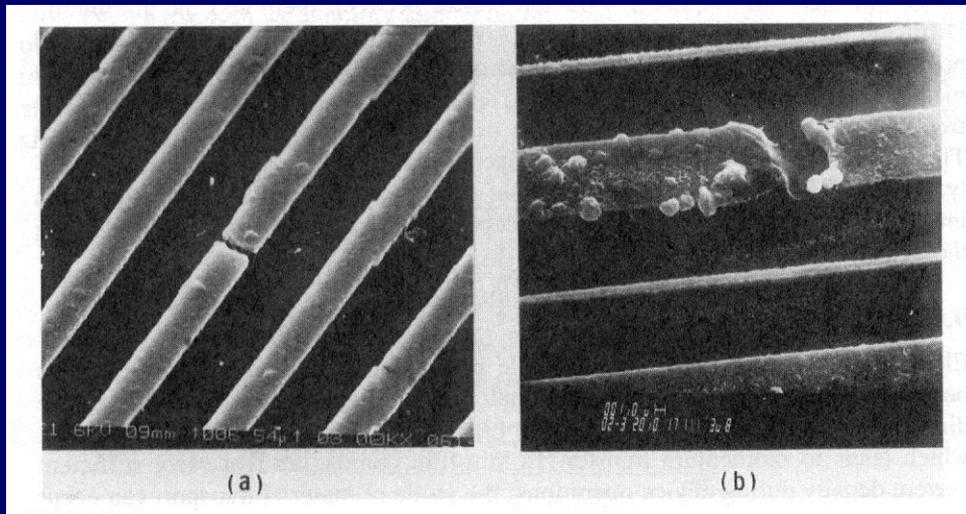


Processo de Eletromigração:

- Fluxo de corrente elétrica \Rightarrow os elétrons bombardeiam constantemente os grãos \Rightarrow os grãos movem como pequenas rochas (eletromigração).
- A eletromigração causa sérios danos na linha de Al. O movimento dos grãos danifica alguns pontos da linha metálica e causa aumento da densidade de corrente na linha remanescente desses pontos. Gera aquecimento elevado e pode romper a linha de metal.

- A eletromigração afeta a confiabilidade do chip de CI pois causa um loop aberto depois de sua aplicação no sistema eletrônico.

Fotos SEM de falhas de eletromigração.



Al-0.5%Cu

- a) Depositado por S-gun magnetron
- b) evaporado

- **Processo de Deposição:**
 - **Normalmente utiliza-se o processo PVD**
 - a) O material a ser depositado (fonte sólida) é convertido a fase vapor por processo físico.**
 - b) O vapor é transportado da fonte até o substrato através de uma região de baixa pressão.**
 - c) O vapor condensa sobre o substrato para formar o filme fino.**

- **Conversão para Fase Gasosa**

- **A conversão para a fase gasosa pode ser feita por:**

- a) Adição de Calor → **EVAPORAÇÃO.**

- b) Pelo desalojamento dos átomos da superfície da fonte através de transferência de momento por bombardeio iônico – **SPUTTERING.**

- MÉTODOS DE DEPOSIÇÃO:

- a) - EVAPORAÇÃO

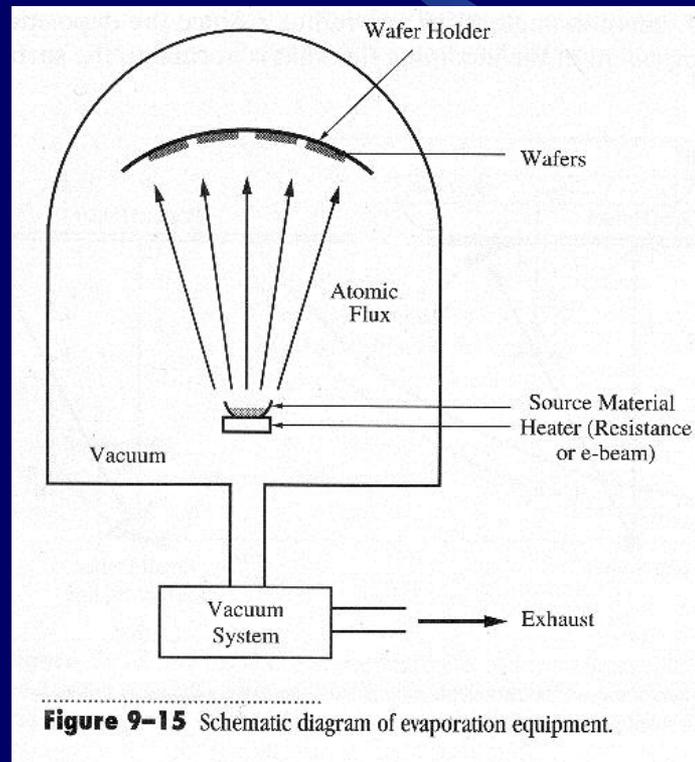
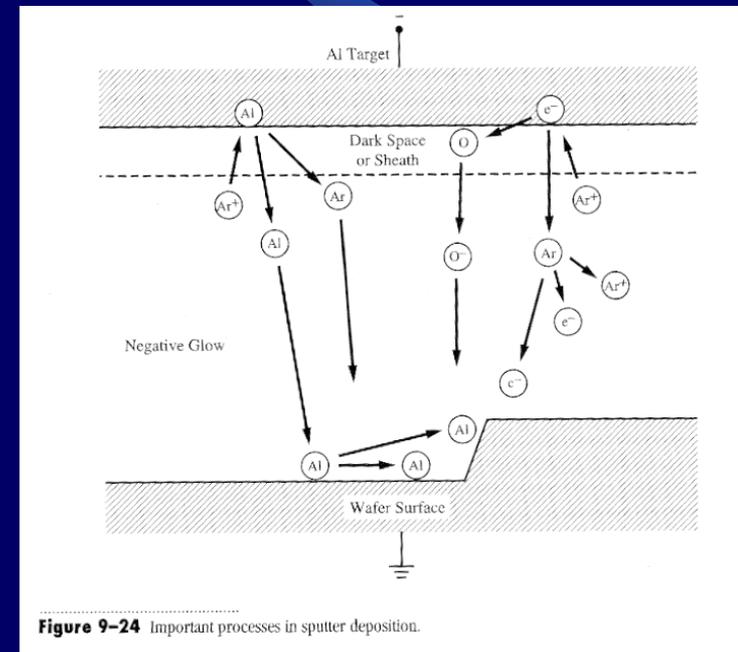
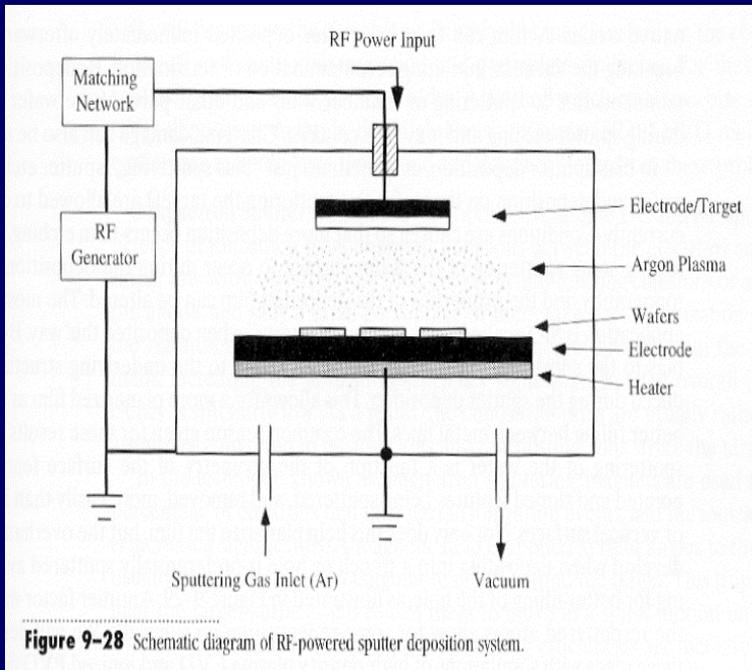


Figure 9-15 Schematic diagram of evaporation equipment.

b) - SPUTTERING



- **Evaporação**

- Taxa de evaporação:

$$R = 5.83 \times 10^{-2} (M/T)^{1/2} P_e \quad [\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})]$$

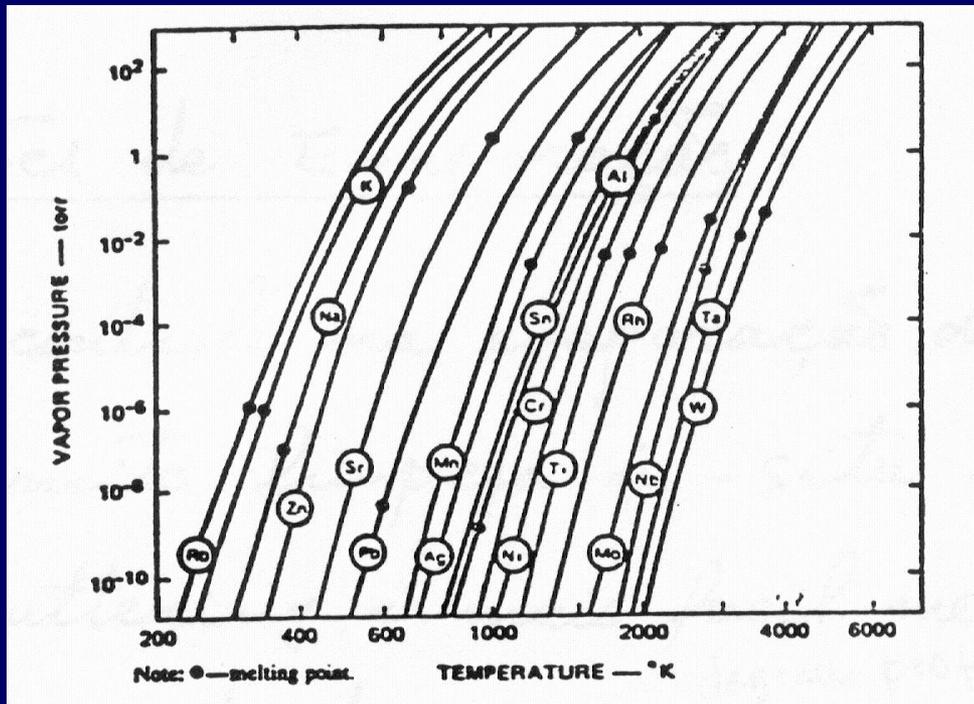
onde :

M = massa molar

T = temperatura em graus Kelvin

P_e = pressão de vapor em Torr

• Pressão de Vapor de Metais



Pressão de Vapor x Temperatura

Pressão de Vapor de Metais
comumente depositados por
Evaporação.

Para uma taxa prática: $\Rightarrow P_e > 10 \text{ mTorr}$

$\therefore \text{Al} \rightarrow T = 1200 \text{ K}$

$\text{W} \rightarrow T = 3230 \text{ K}$

- **Evaporação de Al:**

- a) **Taxas são compatíveis ($0.5 \mu\text{m}/\text{min.}$) ;**

- b) **Átomos do metal impingem na lâmina com baixa energia**

- ($\sim 0.1 \text{ eV}$) \therefore sem danos;**

- c) **Uso de alto vácuo \Rightarrow baixa incorporação de gases;**

- d) **Aquecimento não intencional deve-se apenas a :**

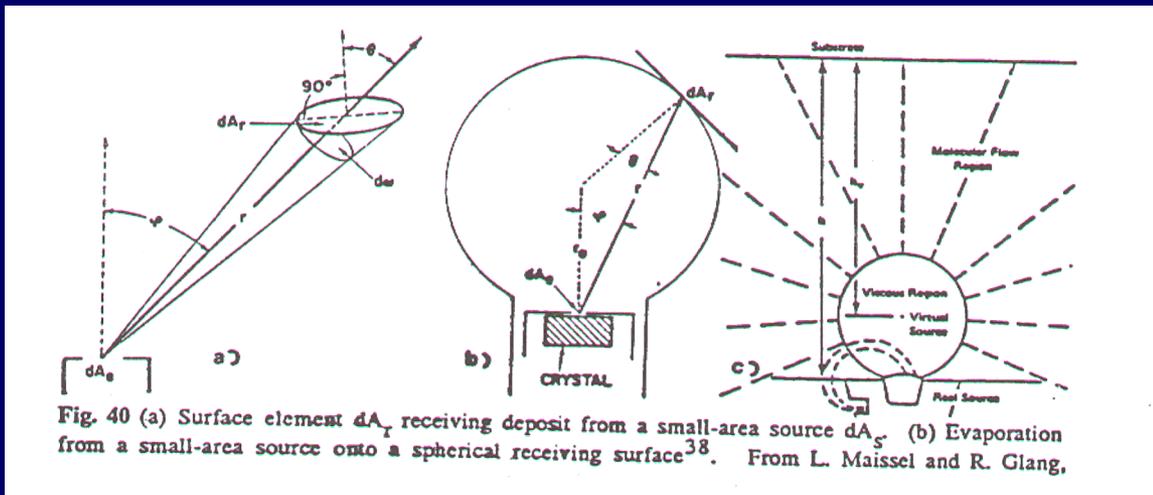
- calor de condensação;**

- radiação da fonte.**

- **Limitações da Evaporação:**

- a) Difícil controle na evaporação de ligas;**
- b) Com sputtering é mais fácil melhorar cobertura de degrau;**
- c) e-beam \Rightarrow gera raio X quando os eletrons energéticos incidem sobre o metal alvo \Rightarrow causan danos no dispositivo.**

- **Uniformidade do Filme:**
Fonte pontual resultaria num filme uniforme sobre uma esfera.



(θ, ϕ, r) varia através da superfície do cado e do substrato.

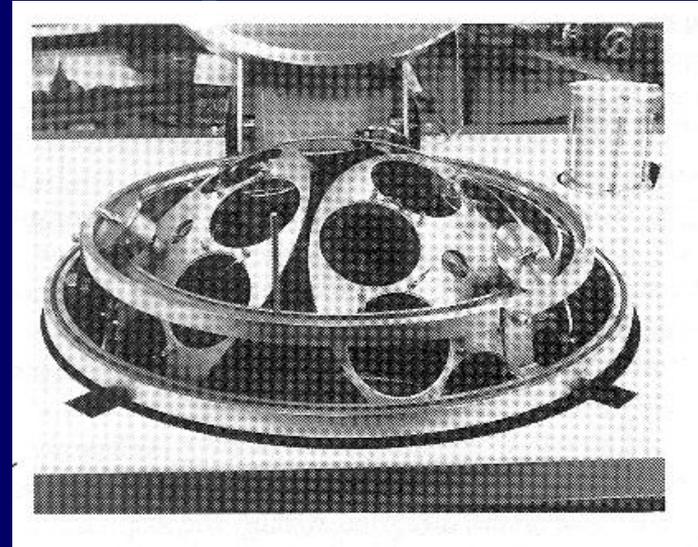
Na prática :

- fonte não é pontual.
- acima da fonte forma-se uma região viscosa.
- ∴ uniformidade ↓

- **Solução:**

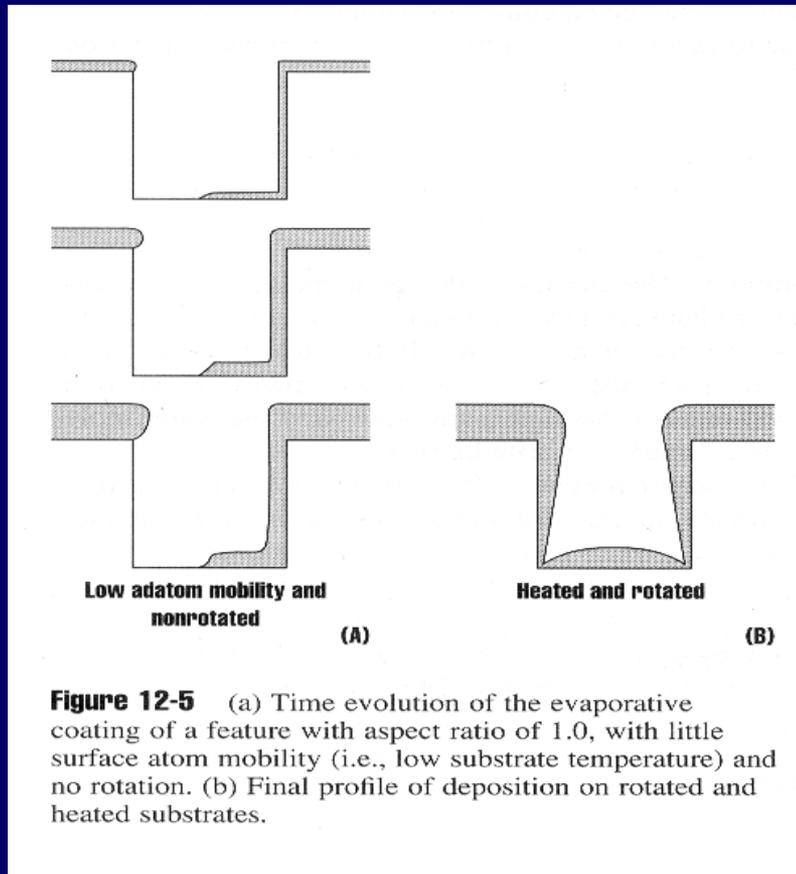
Sistema planetário girante.

Superf. Esférica: $\theta = \varphi$



- **Deposição: taxa uniforme e monitorada com fonte pontual.**

- Cobertura em Degrau



- **Evaporação: Deposição de Ligas e Compostos**

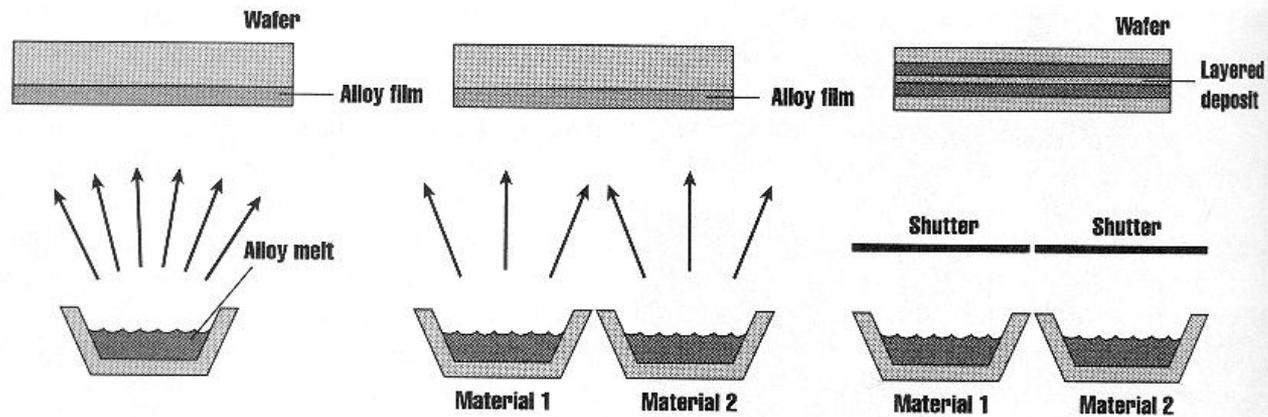
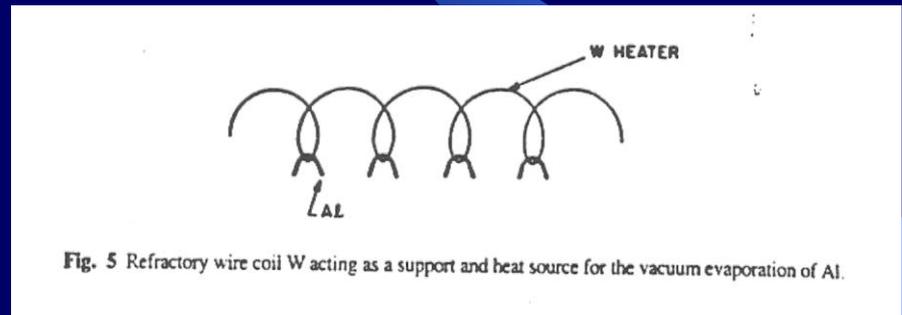
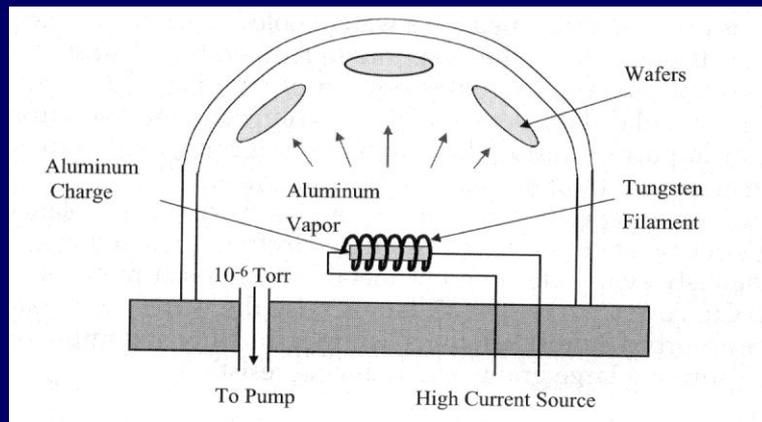


Figure 12-10 Methods for evaporating multicomponent films include: (a) single source evaporation, (b) Multisource simultaneous evaporation, and (c) Multisource sequential evaporation.

• Métodos de Evaporação

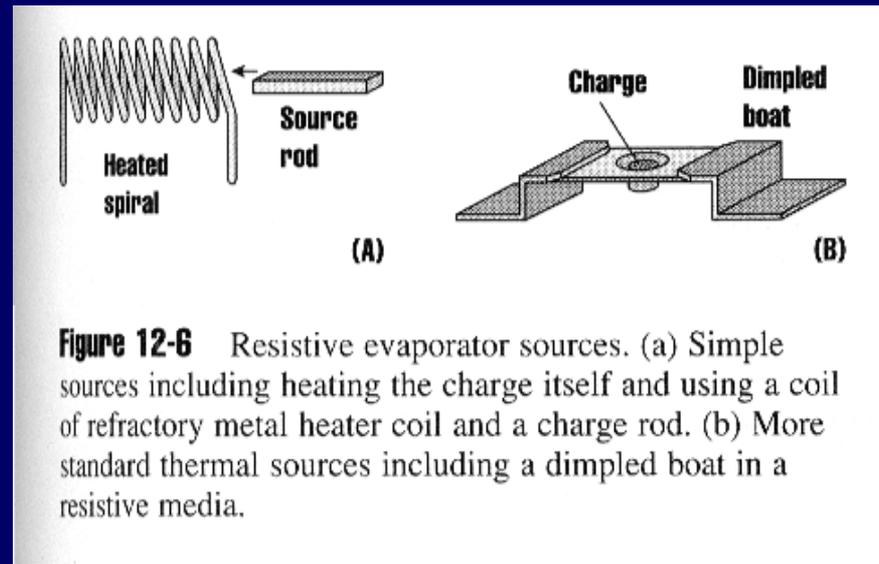
1) Aquecimento Resistivo :



- Material fonte em uma barquinha metálica suspensa por um filamento de W.

Al funde ⇒ molha o fio de W ⇒ evapora.

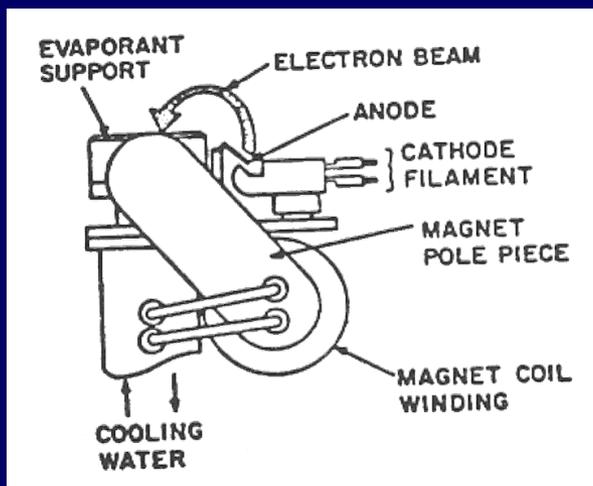
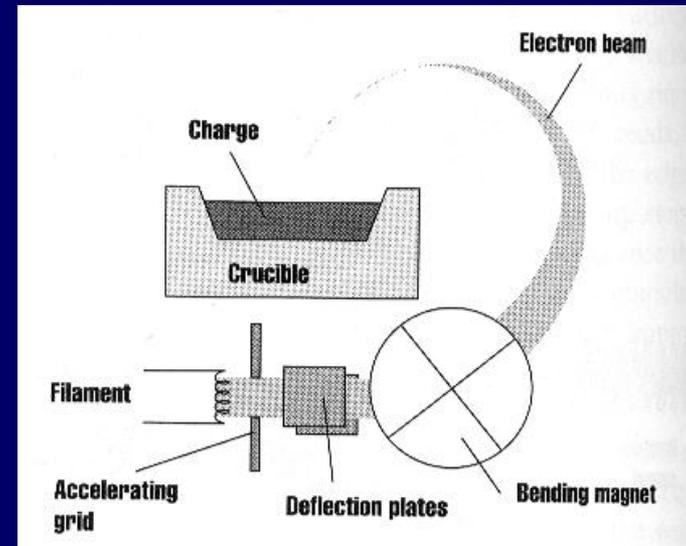
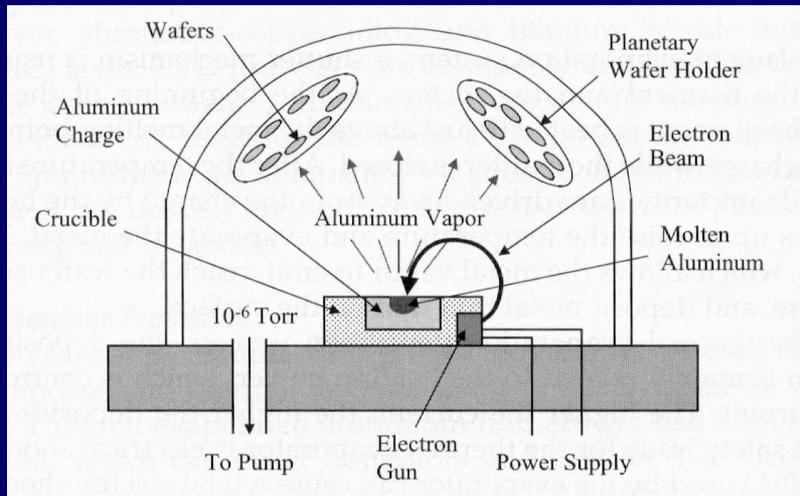
- **Tipos de Cadinhos**



Limitações:

- contaminação com impurezas do filamento;
- não permite evaporação de metais refratários;
- carga pequena \Rightarrow espessura limitada;
- não consegue controlar com precisão a espessura do filme e
- difícil controle da composição de ligas.

• 2) Evaporação por feixe de elétrons (e-beam) :



Sistema de Evaporação por e-beam. Fonte: arco de 270° , mais comum.

- **Características do e-beam**
 - **é livre de contaminação - aquecimento;**
 - **evapora qualquer material - função da potência e-beam;**
 - **produz raio X $\Rightarrow \Rightarrow$ recozimento.**

3) Aquecimento Indutivo :

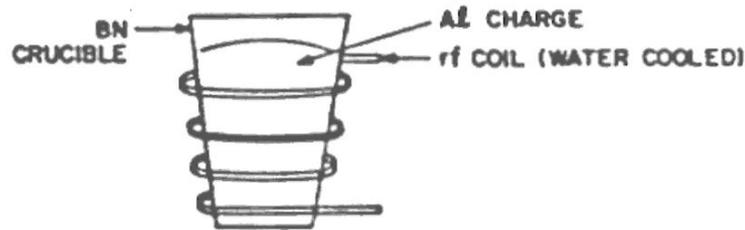


Fig. 7 Inductively heated evaporation source. The molten Al charge is contained by the dielectric BN crucible.

- **Vantagens :**

- taxa \uparrow e sem limite na espessura e
- não há raio X.

- **Desvantagens :**

- há contato entre o Al fundido e o cadinho \Rightarrow contaminação;
- complexidade do sistema RF e do processo.

- Referências :

- 1) S. Wolf and R. N. Tauber; Silicon Processing for the VLSI Era, Vol.1 – Process Technology, Lattice Press, 1986.
- 2) J. D. Plummer, M. D. Deal and P. B. Griffin; Silicon VLSI Technology – Fundamentals, Practice and Modeling, Prentice Hall, 2000.
- 3) S. A. Campbell; The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication, Oxford University Press, 1996.