

# Deposição por feixes Energéticos

Bruno Lupino  
Lucas Caniati Escalante

## Feixes de energéticos

- Energia primária não é de origem térmica;
- Energia entregue por elétrons, fótons ou íons;
- Vantagens: todos os materiais podem ser vaporizados; energias altas; vaporização estequiométrica.

Tech. am.	Insolent source Technology	Vaporization behavior				Typical beam characteristics		Evaporation typical characteristics				Requirements for handling vapor target materials
		Mechanism	Dir.	Power	Operating pressure, Pa	Beam energy, eV	Beam spot size, μm	Evaporation rate, g/s	Angular spread, °	Macroscopic profile		
0.1	Electron beam	10 <sup>10</sup> W	Thermal	0.1 mm	10 <sup>10</sup> W	<10 <sup>-6</sup>	1.5	0.1 to 10	0.1	Small	None	T <sub>v</sub> > 1
0.2	Cathodic arc	10 <sup>4</sup> W	Thermal	10 mm	2 kW	<10	0.2	0.1 to 10	0.1	Large	None	None
0.3	Arc discharge	10 <sup>4</sup> W	Thermal	0.1 mm	2 kW	<10	0.2	0.1 to 10	0.1	Small	None	None
0.4	Pulsed laser	0.1-10 <sup>4</sup> W	Thermal	0.1 mm	0.1-10 <sup>4</sup> W	<10 <sup>-6</sup>	10 <sup>10</sup>	0.1 to 10	0.1	Large	None	None
0.5	Ion beam sputtering	1-10 <sup>4</sup> W	Momentum transfer	10 mm	1 kW	10 <sup>-4</sup> to 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>4</sup> to 10 <sup>6</sup>	0.1 to 10	0.1 to 10	None	Beam neutralizing element	None
0.5.1	Electron-beam sputtering	10 <sup>4</sup> W	Momentum transfer	10 mm	1 kW	10 <sup>-4</sup> to 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>4</sup> to 10 <sup>6</sup>	0.1 to 10	0.1 to 10	None	Beam neutralizing element	None

## Geração de elétrons

- Por emissão direta de uma superfície
- Por ionização de átomos de gases ou moléculas

Compreendem em:

- Emissão termiônica
- Emissão em campo elétrico
- Impacto de fóton
- Partícula energética

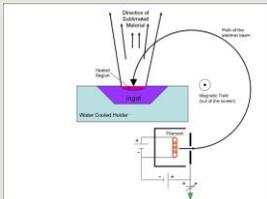
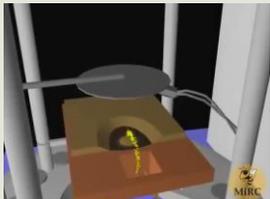
## Feixe de elétrons (e-beam)

- Evaporação através da aceleração de elétrons termicamente emitidos por um filamento;
- A energia cinética é transformada em calor;
- Raios-x também são gerados nesse processo;
- Materiais isolantes também podem ser empregados.



## Feixes de elétrons (e-beam)

Funcionamento do e-beam

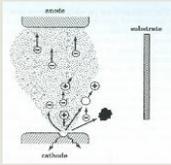



## Plasmas de arco catódico

- Um arco elétrico é usado para vaporizar material a partir de um alvo catódico;
- Consiste basicamente de um canhão de plasma, filtro de partículas e porta amostras dentro de uma câmara de vácuo;
- Desvantagem: Pode haver expulsão de grande quantidade de macro-partículas ou gotículas
- Há dois tipos distintos descritos na literatura

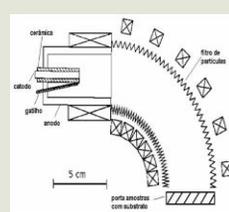
### Plasmas de arco catódico

- Possui alvo condutivo elétrico de forma cilíndrica curta em cátodo com uma extremidade aberta;
- Os pontos de arco são gerados por gatilho atingindo a extremidade aberta do alvo fazendo um curto-circuito temporariamente entre o cátodo e o ânodo;



### Plasmas de arco catódico

- O plasma é focalizado por um campo magnético axial gerado por uma bobina enrolada no próprio anodo, em série com o canhão, de forma que a corrente de descarga passe por ela;
- O filtro de partículas consiste de uma bobina enrolada na forma de um tubo metálico curvado como um quarto de toróide

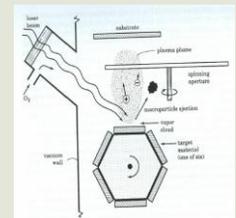


### Plasma de arco anódico

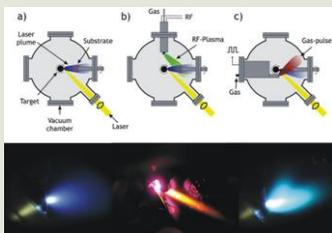
- Se o ânodo for pequeno em diâmetro e não for resfriado, a evaporação pode ocorrer também.
- Se, ao mesmo tempo, o cátodo é feito de um material muito refratário, como grafite, vapor de ânodo pode ser feito para dominar o plasma, e então nós temos um arco anódico.

### Lasers pulsados

- Independente do laser usado, a energia do feixe absorvido é convertida em energia térmica, química e mecânica, causando excitação eletrônica de átomos-alvo e formação de plasma;
- Desvantagem: Salpicos de partículas macroscópicas durante a evaporação induzida por laser é uma das principais preocupações e pode ser diminuída com um depurador do tipo cata vento.



### Lasers pulsados

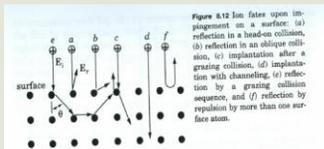


### Bombardeamento iônico

- O bombardeamento iônico produz vários efeitos, benéficos e maléficos;
- Importante parâmetro de processos na obtenção de filmes finos;
  - Os efeitos dividem-se em quatro categorias:
    1. Efeitos de superfície;
    2. Implantação iônica;
    3. Deslocamentos atômicos;
    4. Sputtering.

### Bombardeamento iônico – Efeitos superficiais

- Reflexão
1. Reflexão em ângulos oblíquos;
  2. Reflexão por repulsão atômica;
  3. Implantação após colisão;
  4. Implantação sem colisão;
  5. Implantação por sequencia de colisões;

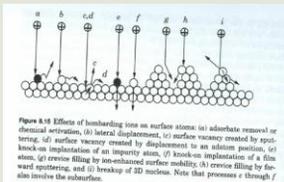


### Bombardeamento iônico – Efeitos superficiais

- Ativação química de átomos

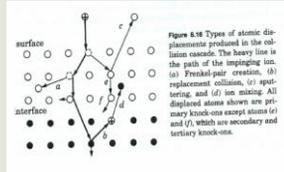
### Bombardeamento iônico – Efeitos superficiais

- Deslocamentos atômicos
1. Adsorção
  2. Deslocamento lateral;
  3. Abrir vacâncias;
  4. Deslocar outros átomos devido a colisões de impurezas ou átomos depositados;
  5. Formar fendas.



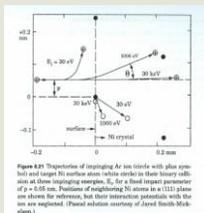
### Bombardeamento iônico – Implantação

- Deslocamentos atômicos
1. Frenkel-pair;
  2. Substituição por colisão;
  3. Sputtering;
  4. Troca de posições.



### Bombardeamento iônico – Implantação

- O limite de penetração é depende diretamente do tamanho do ion e o tamanho atômico;
- A taxa de perda de energia quando um elétron penetra é proporcional a concentração atômica e pelo fator denominado "força de parada", que é dependente da energia de colisão e da área.

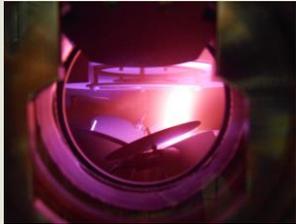


### Bombardeamento iônico – Modificações no bulk

- Implantação de gás inerte: Distorcendo a rede cristalina, confere tensão de compressão, aumenta a resistividade e pode se difundir quando a película é aquecida posteriormente, produzindo bolhas de gás na interface;
- Deslocamentos nos átomos do filme: Aumentam a concentração local de vacâncias e defeitos de pontos intersticiais, e também causam a mistura dos dois materiais na vizinhança de uma interface;
- Difusão por radiação: Há a modificação da estrutura dos materiais que estão sendo depositados, causados pelo excesso de vacâncias.

## Bombardeamento iônico – Sputtering

- Sputter é o bombardeamento de íons positivos em um material para se conseguir a ejeção de átomos;
- É amplamente usado como fonte de vapor para deposição de filmes finos;
- O plasma pode ser melhor confinado utilizando técnicas de “magnetrons”



## Bombardeamento iônico – Sputtering

- Vantagens:
  1. Qualquer material pode ser volatilizado por pulverização catódica;
  2. Compostos são volatilizados estequiometricamente;
  3. Há a possibilidade de crescimentos em larga escala;
  4. Compatibilidade de crescimento a menores temperaturas de substrato;
  5. Excelente reprodutibilidade;
  6. Custo relativamente baixo quando comparado a técnicas mais elaboradas.

## Bombardeamento iônico – Sputtering

