

Sputtering

Sputtering

Sputtering é uma técnica de deposição física de materiais. Utiliza para isso, um gás ionizado (plasma).

O objetivo principal desta técnica, é a deposição de camadas uniformes de diversos materiais (metais, ligas e dielétricos).

Tem suas principais aplicações em microeletrônica, mas também é empregada nas indústrias metalúrgica, óptica e automobilística.

Aplicações da técnica de deposição por sputtering

O objetivo principal desta técnica, é a deposição de camadas uniformes de diversos materiais (metais, ligas e dielétricos), mas hoje em dia, outras indústrias como a óptica e a automobilística já estão investindo em novos processos, para assim, acompanhar o desenvolvimento tecnológico.

Aplicações em microeletrônica

- ☒.Deposição de metais (Ti, W, Al, Co, Cr, Ni, Au, etc.).
- ☒.Deposição de dielétricos (Si, C, SiO₂, Si₃N₄).
- ☒.Deposição de ligas metálicas (NiCr) .
- ☒.Deposição de ligas compostas (CoSi, TiSi, TiC, SiC, etc.).
- ☒.Deposição de novos materiais (a-C:H, NC, DLC, etc.).

Outras aplicações industriais

Indústria óptica:

- ☒.Deposição de materias dielétricos para filtros.
- ☒.Deposição de camadas antirefletoras.
- ☒.Deposição de camadas antirisco.
- ☒.Deposição de camadas refletoras (CDs) .

Outras aplicações industriais

Indústria metalúrgica:

- ☒.Deposição de camadas anti desgaste em ferramentas de corte.
- ☒.Deposição de camadas de passivação.
- ☒.Deposição de camadas isolantes.

Outras aplicações industriais

Indústria automobilística:

- ☒ Fabricação de faróis.
- ☒ Deposição de camadas anti-desgaste.
- ☒ Deposição de camadas promotoras de aderência.
- ☒ Deposição de camadas de passivação.

Vantagens da deposição por sputtering

- Indepe~~n~~de do substrato.
- Indepe~~n~~de do material a ser depositado.
- Possibilita depositar metais, ligas e dielétricos.
- Baixa toxidade dos gases utilizados.
- Baixo consumo de gases.
- Baixa contaminação do meio ambiente.
- Alta produtividade.
- Alto rendimento.
- Alta reprodutibilidade dos processos.

Desvantagens da deposição por sputtering

- Alto custo dos equipamentos.
- Alta especialização dos operadores.
- Necessita de equipe técnica especializada.
- Alto custo da manutenção dos equipamentos.
- Alto custo dos gases utilizados.

Tipos de equipamentos de deposição por sputtering.

Existem diversos sistemas de deposição por sputtering, a sua principal diferença está no modo que é usado para gerar o plasma, que define o tipo de aplicação do sistema utilizado.

A principal característica mantida em todos os sistemas de deposição por sputtering, é a relação entre as áreas do alvo e do sistema de deposição.

Esta relação define a eficiência da deposição:

$$A_{\text{sistema}} = N A_{\text{alvo}}$$

Ideal é que a área do alvo seja de **5 a 9 vezes** menor que a área aterrada do sistema. Quanto maior a relação, maior o ataque iônico no alvo, obtendo assim, maior taxa de deposição e menos ataque a amostra depositada.

Sputtering DC

É o sistema mais simples, pois utiliza uma fonte de corrente contínua para a geração do plasma. Possibilita somente a deposição de metais, é bastante empregado na deposição de linhas de interconexão e para a preparação de amostras para microscopia eletrônica.

Sputtering RF

É o sistema mais empregado, pois permite a deposição de qualquer tipo de material (metal, ligas ou dielétricos), mantendo, aproximadamente, a mesma estequiometria do alvo.

Sputtering reativo

Este sistema é uma variação do sputtering RF, e utiliza uma mistura gasosa que reage com o material do alvo, possibilitando depositar novos materiais, em especial dielétricos (CN, DLC, AlN, SiC).

Sputtering de alta densidade tipo ICP

É uma excelente alternativa aos processos de sputtering convencional. Neste sistema, utiliza-se um acoplamento capacitivo para a retirada do material do alvo, associado a um acoplamento indutivo, que possibilita a obtenção de plasmas de alta densidade.

Mecanismos do processo de sputtering:

Os elétrons são acelerados pelo campo elétrico contra os eletrodos, com energia suficiente para causar a emissão de elétrons secundários, que geram mais íons, devido a colisão com os átomos (ou moléculas) do gás.

Em paralelo, os elétrons criados por colisões e processos secundários, são removidos do plasma por colidirem com as paredes e recombinarem com outros íons.

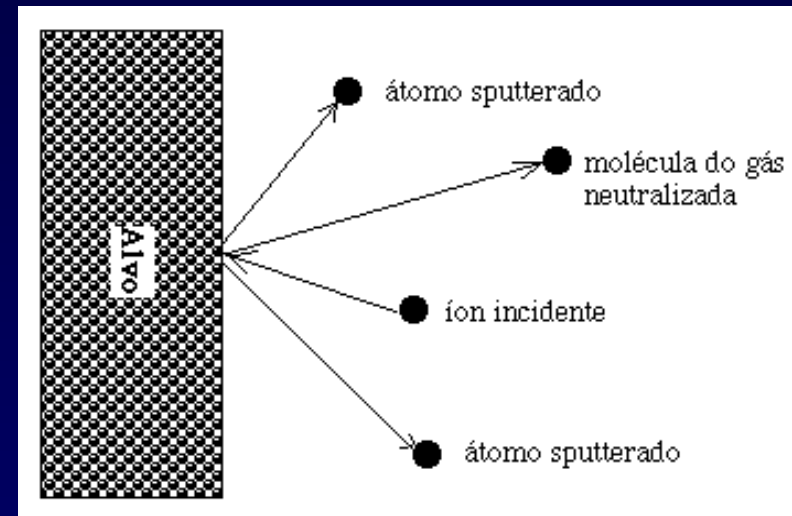
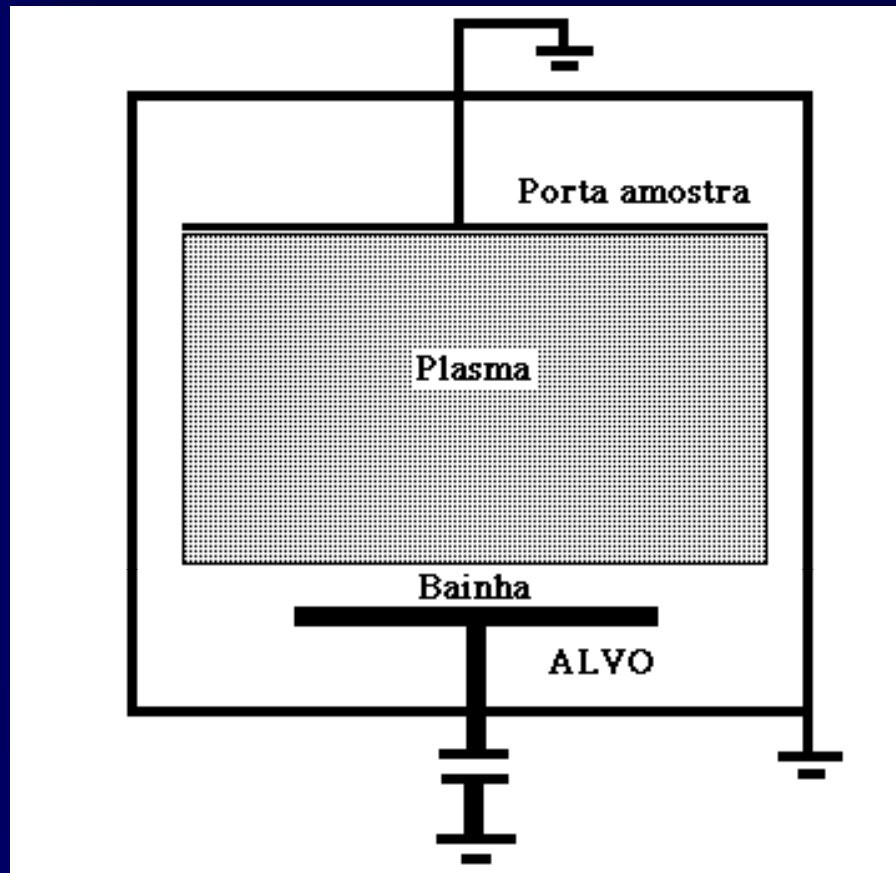
Ionização do gás por fótons.

Emissão de elétrons secundários pelo catodo, por efeito fotoelétrico.

Mecanismos do processo de sputtering:

Os íons gerados no plasma são acelerados através da bainha e se chocam com o alvo, liberando átomos do material a ser depositado. Este material se redeposita e condensa em todas as paredes.

Mecanismos do processo de sputtering



Física do sputtering

$E < 5 \text{ eV}$ \Rightarrow reflexão, adsorção física.

$5 \text{ eV} < E < 10 \text{ eV}$ \Rightarrow migração superficial, danos superficiais

$10 \text{ eV} < E < 10 \text{ KeV}$ \Rightarrow desalojamento dos átomos (sputtering).

$10 \text{ KeV} < E$ \Rightarrow implantação iônica.

Os átomos retirados do alvo têm energia em torno de **$3 - 20 \text{ eV}$** , essa energia é suficiente para a migração na superfície da amostra, permitindo a formação de sítios ativos.

Física do sputtering

É possível acrescentar um potencial DC para aumentar a energia dos íons incidentes sobre a amostra gerando sítios ativos, melhorando assim, a formação do filme sobre a lâmina de silício.

Crescimento do filme depositado

Um átomo retirado do alvo pode chegar na lâmina, fixando-se ou difundindo-se na superfície da amostra, ou pode ser retroespalhado para o alvo ou ainda perder-se por difusão.

Espécies que podem chegar a lâmina:

- ☒ Átomos do alvo.
- ☒ Átomos neutros do gás.
- ☒ Íons negativos de impurezas.
- ☒ Elétrons secundários do alvo.
- ☒ Átomos neutros do gás com baixa energia.
- ☒ Impurezas reativas neutras do gás.

Espécies que podem chegar a lâmina:

Estas impurezas podem alterar a estrutura do filme depositado, gerando defeitos tais como: aumento da resistividade do filme depositado, porosidade, centros de recombinação e encrustações.

Para evitarmos estes problemas, devemos eliminar as fontes de impurezas (impurezas dentro do gás de processo, vazamentos, desgaseificação, retirada de átomos das paredes do reator).

Parâmetros controláveis no processo de sputtering

- ☒ Tipo de gás
- ☒ Pressão
- ☒ Potência: $V \times I$
- ☒ Vdc

Tipo de gás

Em processos convencionais é usado o argônio em sputtering reativo, podemos usar nitrogênio, hidrogênio , metano, freon etc.

Pressão

Pressão: 1- 5 mTorr em sistemas com Magnetron ou com ICP.

< 100 mTorr em processos DC e RF para evitar colisões com o gás.

Potência: $V \times I$

$V > 10 \text{ KeV}$: rendimento de sputtering cai, aumentando a implantação iônica.

Quanto maior a corrente (I), maior a taxa de sputtering, valores típicos são de $0,1$ a 1 A/cm^2 em magnetron sputtering.

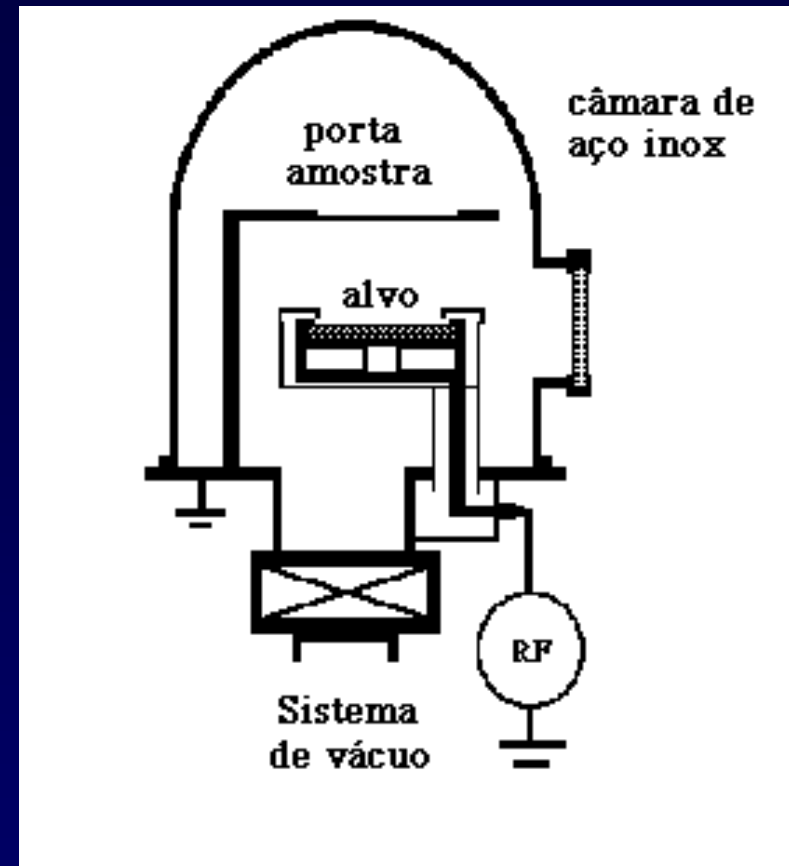
70% da potência usada para retirada de átomos do alvo, 30% geram elétrons secundários + fótons.

VDC

Podemos acrescentar um potencial DC a amostra, para aumentar a possibilidade de criação de sítios ativos.

Sputtering DC e RF

São sistemas bastante parecidos, onde a principal diferença é que, o sistema com RF deve ter paredes metálicas, para evitar fugas de RF. Neste sistema todo o corpo é de aço inox e é aterrado sendo o contra eletrodo.

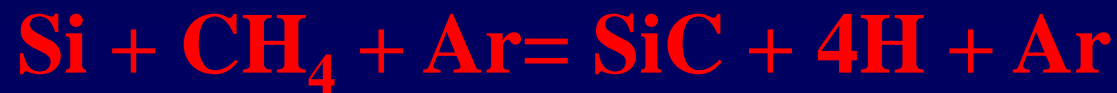
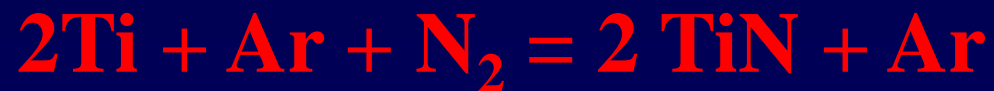


Sputtering reativo (DC e RF)

O sputtering reativo pode ser tanto DC quanto RF. A diferença básica entre um sistema de sputtering reativo e um sistema convencional, está no uso de um gás de processo diferente do argônio, que tem a função de reagir com os átomos retirados do alvo, normalmente de material puro e depositar uma liga na superfície de uma lâmina.

Sputtering reativo (DC e RF)

Alguns exemplos de materiais depositados com auxílio de sputtering reativo são:

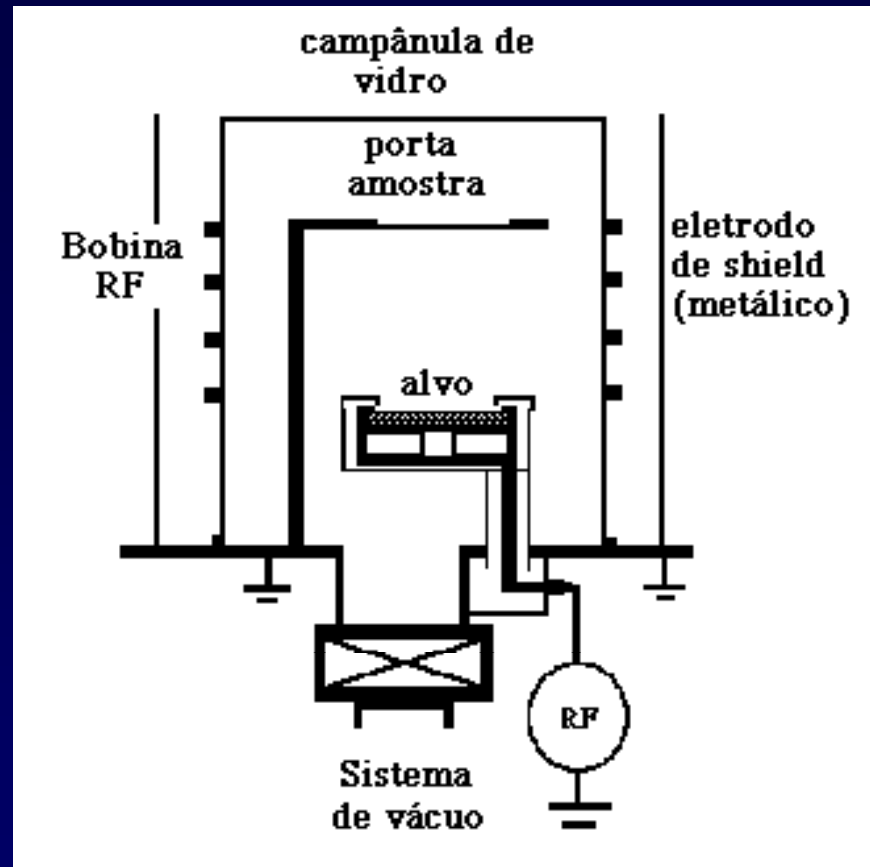


É possível controlar a estequiometria, controlando a proporção gasosa.

Sputtering de alta densidade tipo ICP

Este sistema foi criado para trabalhar com pressões bem mais baixas que os sistemas convencionais, para isso, é necessário gerar o plasma por outro modo, assim, é usado um sistema acoplado indutivamente por meio de uma bobina, para gerar o plasma e o potencial DC ou RF acoplado aos eletrodos, é usado para acelerar os íons contra o alvo, promovendo o efeito de sputtering. Outra característica deste sistema, é que um átomo do alvo ao atravessar a região de plasma pode ser ionizado, mudando assim, as características do filme depositado.

Sputtering de alta densidade tipo ICP



Magnetron sputtering

Em qualquer um dos sistemas de sputtering mencionados, podemos aumentar a taxa de deposição ao utilizarmos um sistema chamado “magnetron sputtering”. Neste sistema acrescentamos ao eletrodo onde está o alvo, um ímã permanente, que tem por função, espiralar a trajetória dos íons e elétrons, aumentando a densidade do plasma e também direciona os íons contra o alvo, aumentando a taxa de sputtering. Outra vantagem deste método, é a possibilidade de trabalhar com pressões menores, devido a maior probabilidade de ionização.

Magnetron sputtering



Características desejadas em um processo de sputtering

- Bom controle de espessura.
- Bom controle de uniformidade de espessura.
- Boa aderência.
- Boa cobertura de degrau.
- Boa uniformidade das características do filme depositado.
- Baixo “stress” do filme depositado.
- Tamanho de grão controlado.
- Baixa concentração de particulado.
- Baixa formação de “hilocks”.
- Bom controle da composição/estequiometria.
- Baixa rugosidade.
- Baixa resistência de contato, no caso de metais com o silício.

Bias sputtering

Podemos aplicar um potencial DC ou RF no porta amostra de tal modo que, ocorra um aumento no bombardeamento iônico nas lâminas. Esse bombardeamento iônico, pode provocar um re-sputtering e além, disso ocorre um aumento substancial da energia superficial da amostra, gerando um aumento na migração superficial e promovendo reações químicas de superfície.

A aplicação de um potencial de bias na amostra, auxilia no controle de diversas características do filme depositado, tais como: cobertura de degrau, stress, refletividade, tamanho de grão etc.

Aquecimento da amostra

O aquecimento da amostra à temperaturas compatíveis com os processos e materiais empregados em microeletrônica ($< 300^{\circ}\text{C}$), também pode afetar as características dos filmes depositados, principalmente na difusão superficial dos átomos, reações químicas de superfície e no controle do tamanho de grão.