

Corrosão por plasma

A técnica de corrosão por plasma, é uma boa alternativa para os processos químicos utilizados nas décadas de 60 e 70 nas indústrias de microeletrônica.

O aumento nas aplicações dos processos utilizando plasmas, é devido a redução das dimensões dos dispositivos eletrônicos. A redução é tão grande, que os dispositivos atuais não podem ser obtidos pelas técnicas químicas convencionais.

Atualmente, existem estudos para que, praticamente todos os processos químicos (corrosão ou deposição), sejam feitos por plasma. Com isso, é possível aumentar o rendimento e baixar os custos dos dispositivos em microeletrônica.

Aplicações da corrosão por plasma

As principais aplicações da corrosão por plasma se encontram em indústrias de microeletrônica, mas hoje em dia outras indústrias como a óptica e a automobilística já estão investindo em novos processos de corrosão por plasma, para assim, acompanhar o desenvolvimento tecnológico.

Aplicações em microeletrônica

- ☒ Corrosão isotrópica de silício.
- ☒ Corrosão anisotrópica de silício.
- ☒ Corrosão de óxido de silício.
- ☒ Corrosão de alumínio.
- ☒ Corrosão de polímeros .
- ☒ Corrosão de tungstênio.
- ☒ Corrosão de titânio.
- ☒ Corrosão de carbono.
- ☒ Corrosão de cobalto.
- ☒ Corrosão de arseneto de gálio.

Vantagens da corrosão por plasma

- ☒ Independe da orientação cristalográfica.
- ☒ Baixa toxidade dos gases utilizados.
- ☒ Baixo consumo de gases.
- ☒ Baixa contaminação do meio ambiente.
- ☒ Alta produtividade.
- ☒ Alto rendimento.
- ☒ Alta reprodutibilidade dos processos.

Desvantagens da corrosão por plasma

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

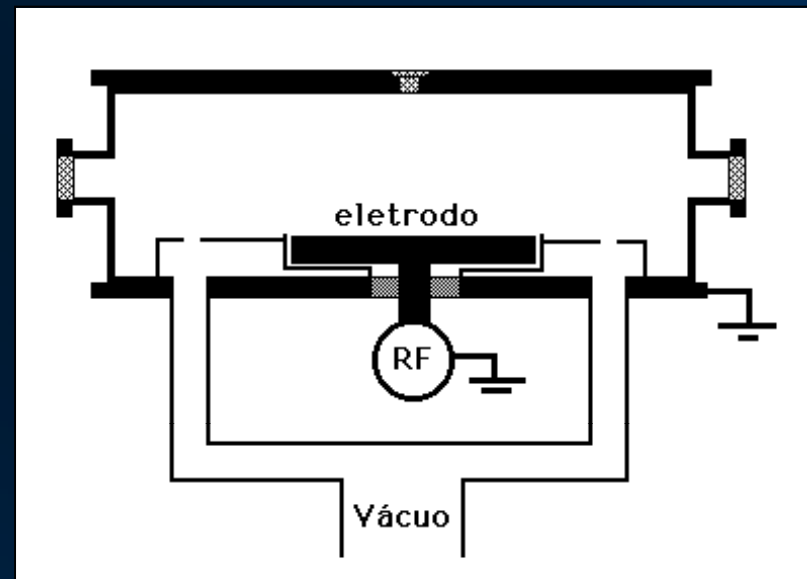
Tipos de equipamentos de corrosão por plasma

- Sistema tipo **RIE** (*Reactive Ion Etching*)
- Sistemas tipo **PE** (*Plasma Etching*)
- Sistema tipo **ECR** (*Electron Cyclotron Resonance*)
- Sistema tipo **ICP** (*Inductively Coupled Plasmas*)

Sistema tipo RIE

(Reactive Ion Etching)

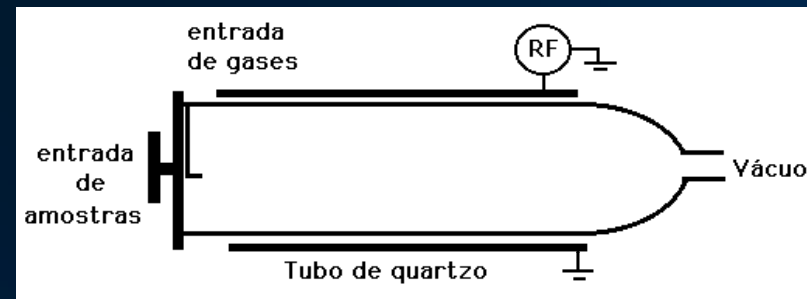
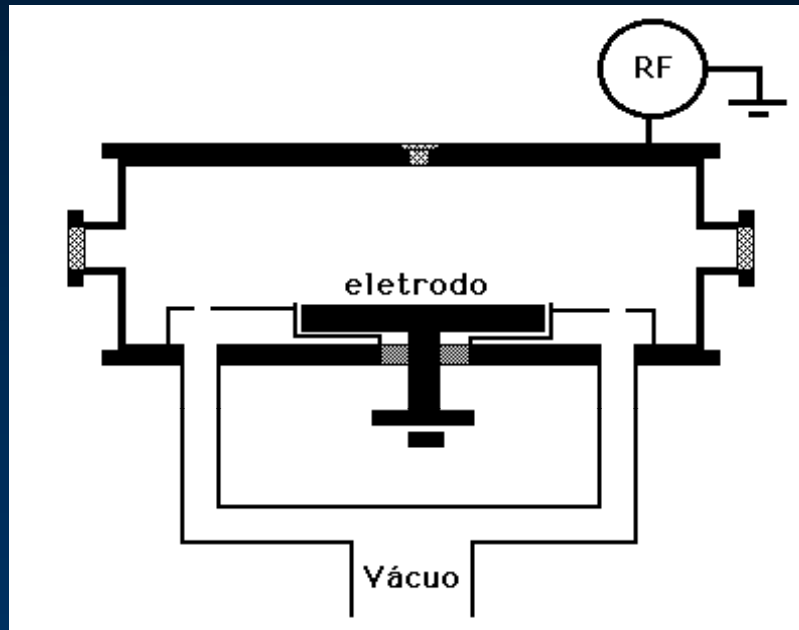
É o sistema mais usado na indústria de microeletrônica, possibilita o controle da anisotropia da corrosão.



Sistemas tipo PE (Plasma Etching)

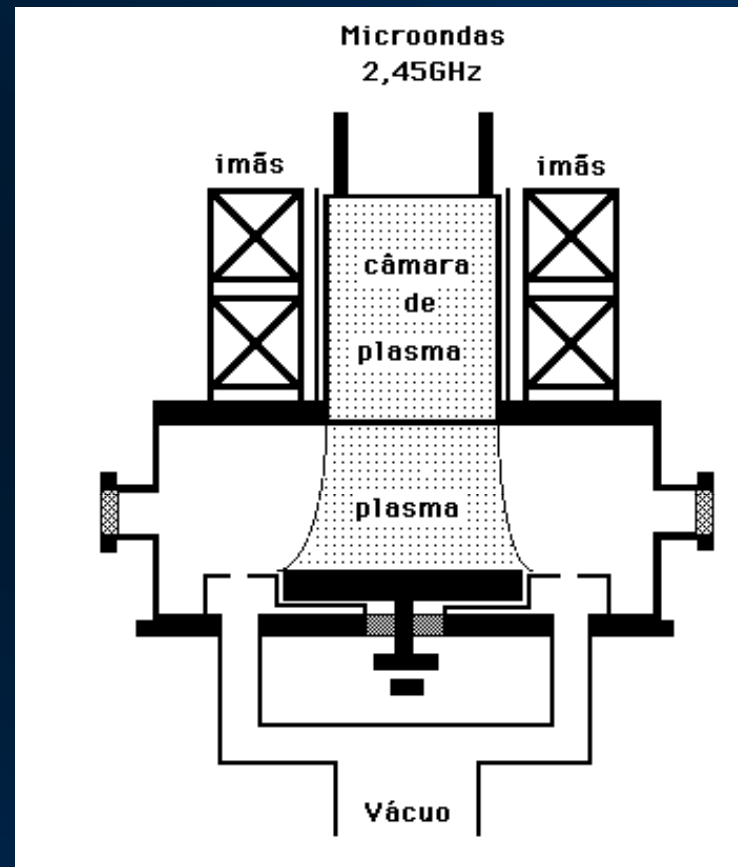
Estes sistemas podem ser tanto “planares”, como cilíndricos tipo “barril”. Estes sistemas só possibilitam corrosões isotrópicas, normalmente, são usados para retirada (stripping) de fotorresiste ou de óxido de silício.

Sistemas tipo PE (Plasma Etching)



Sistema tipo ECR (Electron Cyclotron Resonance)

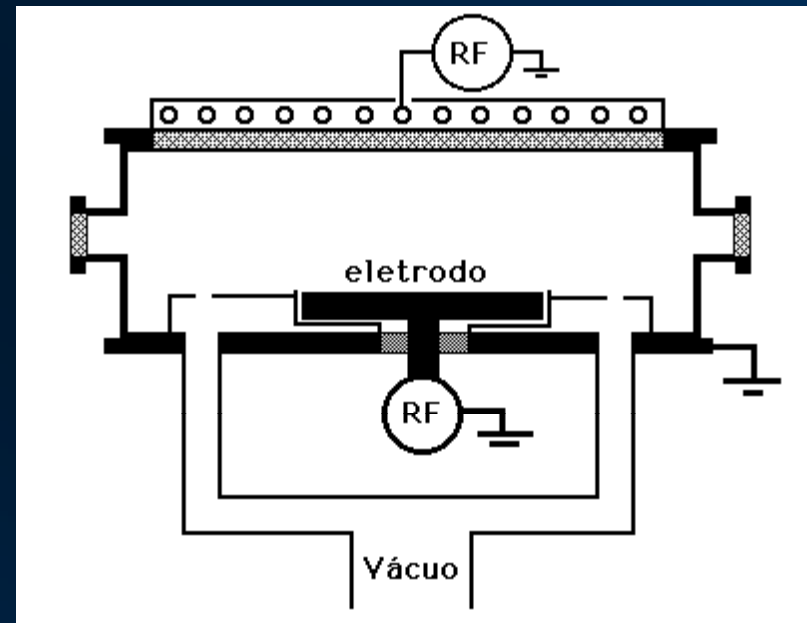
Este é um sistema que gera plasmas de alta densidade, bastante usado para corrosões com alta anisotropia, pois trabalha com pressões bastante baixas.



Sistema tipo ICP

(Inductively Coupled Plasmas)

É uma excelente alternativa ao ECR, pois consegue o mesmo resultado com menor custo. Neste sistema, utiliza-se um acoplamento capacitivo associado a um acoplamento indutivo, para possibilitar a obtenção de plasmas de alta densidade.



Principais aplicações da corrosão por plasma

- **Corrosão de resiste**
- **Corrosão de silício**
- **Corrosão de óxido de silício**
- **Corrosão de alumínio**

Corrosão de resiste

Mecanismo:



Em geral: A corrosão do resiste é feita com plasmas de O_2 .

Corrosão de resiste

Para retirada (*stripping*) do resiste, é utilizado um processo isotrópico com baixo ataque iônico, por isso, são usados sistemas de “*plasma etching*” (PE) tipo “barril” ou plasma remoto.

Corrosão de resiste

Para o processo de litografia de três camadas, é necessária uma corrosão anisotrópica, pois devemos manter o perfil obtido na litografia óptica, assim é usado um sistema tipo “*reactive ion etching*” (RIE), que apresenta um grande ataque iônico.

Corrosão de resiste

Também podem ser usados sistemas com plasma de alta densidade tipo “*inductively coupled plasma*” (ICP), quando queremos altas taxas de corrosão associadas a perfís anisotrópicos ($> 10 \mu\text{m}/\text{min}$).

Corrosão de silício

Mecanismo:



Corrosão de silício

Plasmas baseados em Flúor: apresentam alta taxa de corrosão, excelente seletividade, mas têm baixa anisotropia.

Corrosão de silício

Plasmas baseados em Cloro: apresentam taxa de corrosão média, boa seletividade e alta anisotropia, quando combinado com carbono.

Corrosão de silício

Plasmas baseados em Bromo: apresentam baixa taxa de corrosão, boa seletividade, alta anisotropia devido a formação de polímeros podendo ocorrer redução da taxa de corrosão com o tempo.

Corrosão de silício policristalino

Corrosão de silício policristalino para a porta dos transistores:

- a) Bom controle da largura de linha (comprimento da porta).
- b) Boa seletividade com o óxido de porta.
- c) Boa uniformidade da retirada do silício.

Corrosão de trincheiras em silício

Principais aplicações:

- Isolação de dispositivos.
- Isolação de dispositivos de potência.
- Corrosão de micromáquinas.

Isolação de dispositivos

Esta etapa essencial é para isolação e formação de capacitores de memórias. Tem tipicamente **5 μm** de profundidade. Portanto, precisa-se de uma razoável seletividade em relação a máscara de fotorresiste ou de óxido de silício. Importante é o arredondamento na parte baixa da trincheira, para evitar problemas de corrente de fuga.

Isolação de dispositivos de potência

Este processo de corrosão é utilizado para isolar a região ativa do dispositivo de potência: diodos ou tiristores, normalmente, é usada a **corrosão isotrópica** com profundidades da ordem de **100 μm** .

Corrosão de micromáquinas

São corrosões anisotrópicas aplicadas na fabricação de sensores e micromáquinas com profundidades de **dezenas de μm** .

Características importantes da corrosão do silício.

Taxa de corrosão é função da dopagem:

Quando o silício é tipo n, ocorre um aumento na taxa de corrosão, pois essa dopagem influencia a ligação Si-A ($A = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}$).

A taxa de corrosão também é influenciada pelo método usado para a dopagem: implantação iônica ou difusão.

Corrosão de óxido de silício

Normalmente é usado o CF_4 , devido a baixa seletividade do silício, quando usamos o flúor para a corrosão.

Mecanismos:



Em geral, a taxa de corrosão do silício em plasmas fluorados é maior que a do óxido de silício. Para obter maior seletividade utiliza-se o CF₄, para possibilitar a formação de polímero. Quanto maior a relação C/F, menor a taxa de corrosão e maior a taxa de deposição de polímero.

A taxa de deposição de polímero é função da relação C/F, da pressão, da potência, da área exposta de fotorresiste e da taxa de liberação de oxigênio.

Comumente é usado o $\text{CF}_4 + \text{H}_2$, que aumenta a taxa de corrosão do óxido, mantendo a seletividade com o silício.

Aplicações da corrosão do óxido de silício

- Fabricação de contatos e vias.
- Planarização.
- Fabricação de espessadores.

Contatos e vias

Esse tipo de corrosão deve apresentar bom controle da dimensão do contato e alta seletividade com o material da camada de baixo. Como em geral a corrosão do óxido de silício é anisotrópica, pois depende do ataque iônico, é necessário modificar o processo para obter perfís inclinados.

Planarização

Normalmente são desenvolvidos dispositivos com vários níveis de conexão. Para planarizar essa estrutura, precisa-se depositar uma camada de planarização, normalmente **SOG** (*Spin On Glass*) ou óxido PECVD e após isso, é feita uma corrosão de nivelamento.

Espaçadores

A formação de espaçadores é importante para estruturas LDD e *“salicide”*. Normalmente, deposita-se uma camada de óxido de silício por cima da porta (com excelente uniformidade) e corroe-se novamente, são necessários para este processo: alta uniformidade, boas seletividade e anisotropia.

Corrosão de alumínio

Mecanismos:



Como o AlF_3 e o AlBr_3 não são voláteis, a única corrosão possível é com o Cl .

Corrosão de alumínio

O principal problema deste tipo de corrosão é a remoção do Al_2O_3 , que é bastante fino, mas muito estável.

Portanto, a corrosão do alumínio é composta de três etapas:

- ☒ Perfuração da camada de Al_2O_3 .
- ☒ Corrosão da camada de alumínio.
- ☒ Corrosão da camada de alumínio.

Perfuração da camada de Al_2O_3

Nesta etapa, devemos corroer a camada de óxido de alumínio sem prejudicar o fotorresiste, e podermos observar o ponto final desta corrosão.

Para esta etapa precisa-se de um “**reduzidor**”, tipicamente **BCl_3** ou o **CCl_4** , e bastante ataque iônico .

Um problema encontrado nesta etapa, é a grande erosão do fotorresiste pelo ataque iônico.

Corrosão da camada de alumínio

Devemos ter bom controle do perfil obtido (alta anisotropia), boa uniformidade, boa seletividade em relação ao fotorresiste e em relação ao óxido de silício.

Durante esta etapa, devemos criar um polímero que inibe a corrosão lateral do alumínio, promovendo a anisotropia do perfil, normalmente, usa-se um gás que contenha carbono para isso.

Remoção dos resíduos da corrosão do alumínio.

Esta terceira etapa, deve ter excelente seletividade em relação ao óxido de silício, e não deve mudar os perfís obtidos no alumínio na etapa 2.

Esta etapa, deve ser feita em pressão alta associada a baixa potência, para garantir a alta seletividade.

Um outro problema associado a corrosão com cloro, é a permanência deste elemento químico no interior do fotorresiste e do polímero criado durante a corrosão, que pode degradar as estruturas geradas no alumínio.