

CVD

*Chemical Vapour
Deposition*

CVD –*Chemical Vapour Deposition*

A técnica de CVD é uma das mais importantes para a obtenção de filmes finos. As razões para essa importância, estão na sua versatilidade para depositar controladamente uma grande variedade de filmes (amorfos, cristalinos ou policristalinos) de alto grau de pureza, em uma temperatura relativamente baixa (≤ 800 °C). Outra grande vantagem desta técnica, é a relativa facilidade em obter-se controladamente, materiais com estequiometria e estruturas variadas.

Plasma

A principal vantagem que ocorre ao acrescentar o uso do plasma no processo de CVD, é a possibilidade de criar espécies reativas e até novas espécies, independentemente do uso da temperatura, assim, podemos obter bons resultados de deposição com temperaturas baixas e até conseguir novos materiais, que não são possíveis de serem obtidos com técnicas convencionais de CVD.

Aplicações da técnica de CVD assistido por Plasma

O objetivo principal desta técnica, é a deposição de camadas uniformes de diversos materiais (metais, ligas e dielétricos), principalmente em microeletrônica, 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).
- Deposição de dielétricos (Si amorfo, Si-poly, C, SiO₂, Si₃N₄).
- Deposição de ligas compostas (CoSi, TiSi, TiC, SiC, etc.).
- Deposição de novos materiais (a-C:H, NC, DLC, Diamante, 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 CVD assistida por plasma.

- ☒ Independe do substrato.
- ☒ Independe do material a ser depositado.
- ☒ Possibilita depositar materias amorfos , policristalinos e cristalinos.
- ☒ Baixo consumo de gases.
- ☒ Baixa contaminação do meio ambiente.
- ☒ Alta produtividade.
- ☒ Alto rendimento.
- ☒ Alta reprodutibilidade dos processos.
- ☒ Excelente controle dos parâmetros de processo.

Desvantagens da deposição por CVD assistida por plasma.

- ☒ Alto custo dos equipamentos.
- ☒ Alta especialização dos operadores.
- ☒ Alto custo da manutenção dos equipamentos.
- ☒ Alto custo dos gases utilizados.

Tipos de equipamentos de deposição

- *PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition)*
- **Plasma DC ou RF acoplado capacitivamente**
- *Helicon Plasmas*
- *ECR – Electron Cyclotron Resonance*
- *Very High Frequency capacitive plasmas*
- *Surface Wave Plasmas*
- **ICP – Plasma Acoplado Indutivamente**

PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition)

PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) é o nome genérico dado a qualquer técnica de deposição química assistida por plasma. Para a geração do plasma existem diversos modos, que se diferenciam pelo modo de acoplamento (capacitivo ou indutivo), pressão de trabalho, frequência de operação ou densidade de íons no processo.

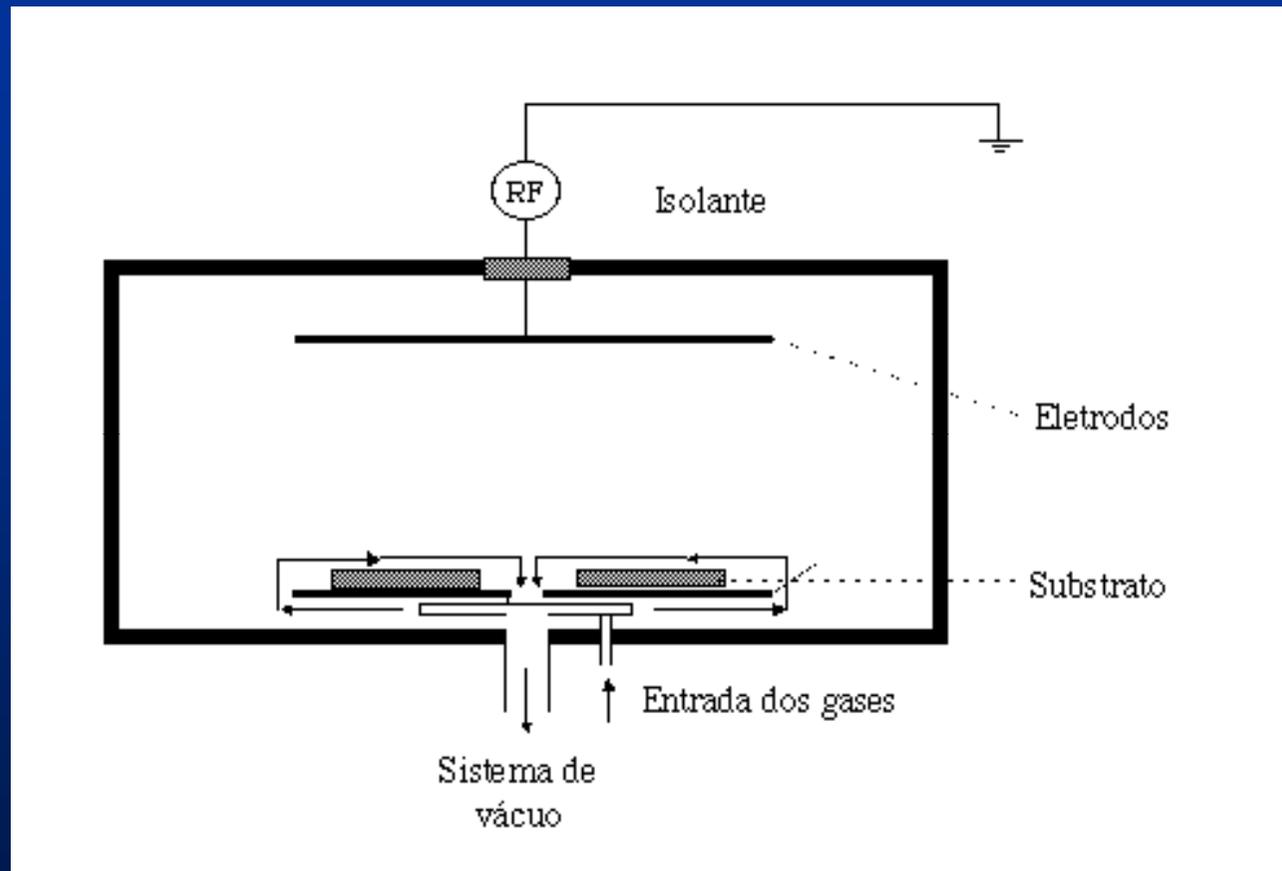
Essas diferenças influenciam as possíveis aplicações dos sistemas de deposição.

Plasma DC ou RF acoplado capacitivamente

Este é o primeiro sistema de deposição por plasma empregado nas décadas de 70 e 80 , por ser acoplado capacitivamente, tem baixas taxas de ionização (**10^9 a 10^{10} íons/cm³**).

A baixa densidade do plasma é resultado da baixa eficiência de ionização de uma descarga acoplada capacitivamente, operando em frequências baixas (DC à alguns MHz). Em pressões de 1 a 300 mTorr, apenas **3 a 10 %** da potência é absorvida pelos elétrons e é utilizada na ionização.

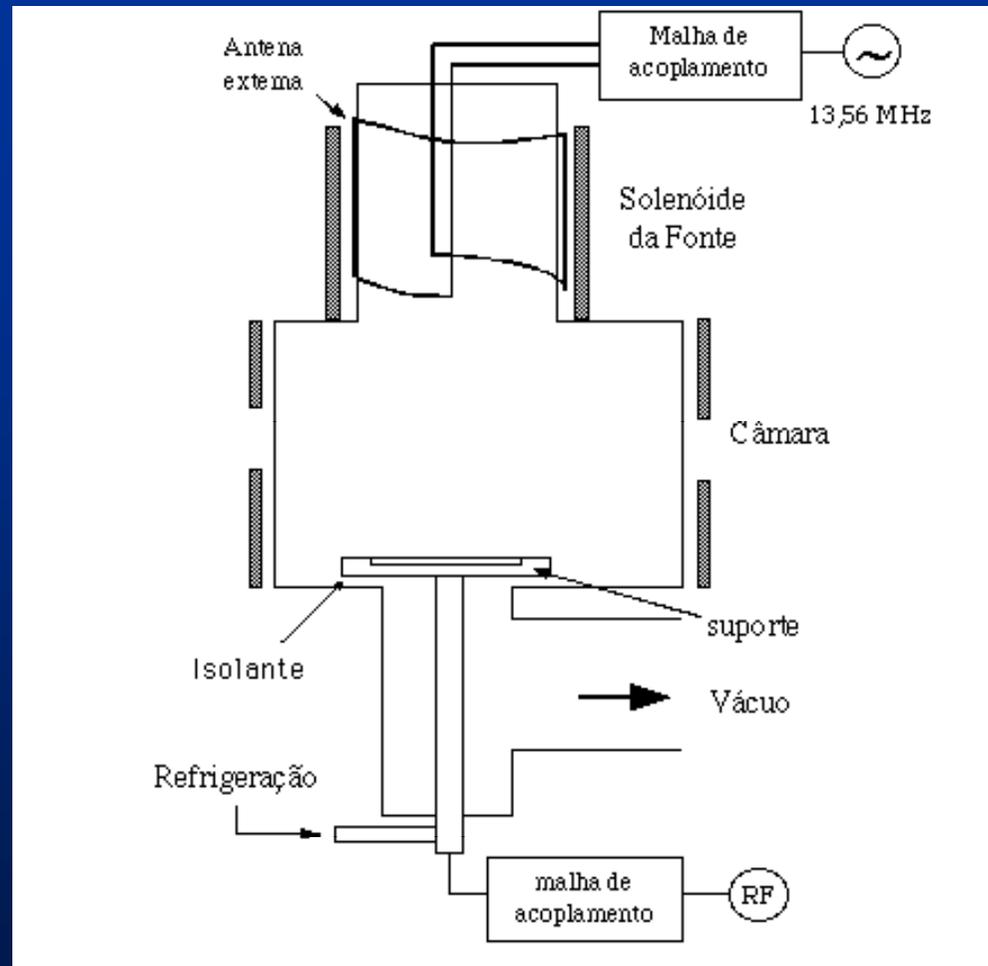
Plasma DC ou RF acoplado capacitivamente



Helicon Plasmas

Neste sistema o acoplamento é feito por uma antena de RF acoplada de modo transverso à parede da câmara, que deve ser de material isolante. O potencial de plasma dessas descargas é tipicamente baixo, da ordem de 15 a 20 volts, semelhante ao ECR. Entretanto, o campo magnético é muito menor (50 a 200 G) do que os utilizados no ECR. Esses sistemas, trabalham com pressões entre 1 e 10 mTorr , e obtem altas taxas de ionização (**10^{11} íons/cm³**).

Helicon Plasmas



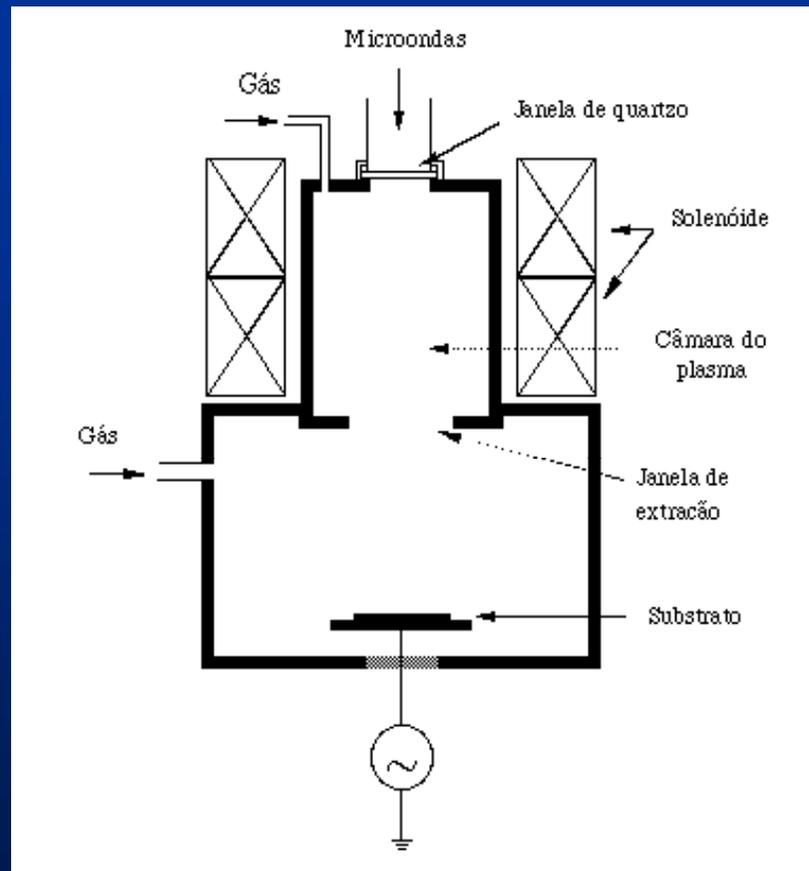
ECR – Electron Cyclotron Resonance

O sistema ECR utiliza uma fonte de microondas para geração do plasma com frequências entre 916 MHz e 3,5 GHz, empregando também, um campo magnético estático (ímãs permanentes), possibilitando assim, densidades da ordem de **10^{11} a 10^{13} íons/cm³**. Este sistema trabalha com pressões baixas (<10 mTorr), apresentando alta densidade com baixos potenciais de plasma, possibilitando obter-se filmes de materiais de excelente qualidade com temperaturas baixas (<120 °C).

DECR – Electron Cyclotron Resonance

Existe uma variação deste sistema que é o ECR multipolar ou DECR (ECR distribuído), neste sistema, várias antenas de microondas são localizadas no interior da câmara aumentando a área de deposição, que é o maior problema encontrado nos sistemas convencionais que utilizam microondas.

ECR – Electron Cyclotron Resonance



Very High Frequency capacitive plasmas

A densidade de um plasma está relacionada não somente com o modo de acoplamento, mas também com a frequência utilizada, por exemplo em plasmas DC, a densidade é da ordem de 10^8 íons/cm³ enquanto que, com 13,56 MHz a densidade é da ordem de 10^{10} íons/cm³.

Very High Frequency capacitive plasmas

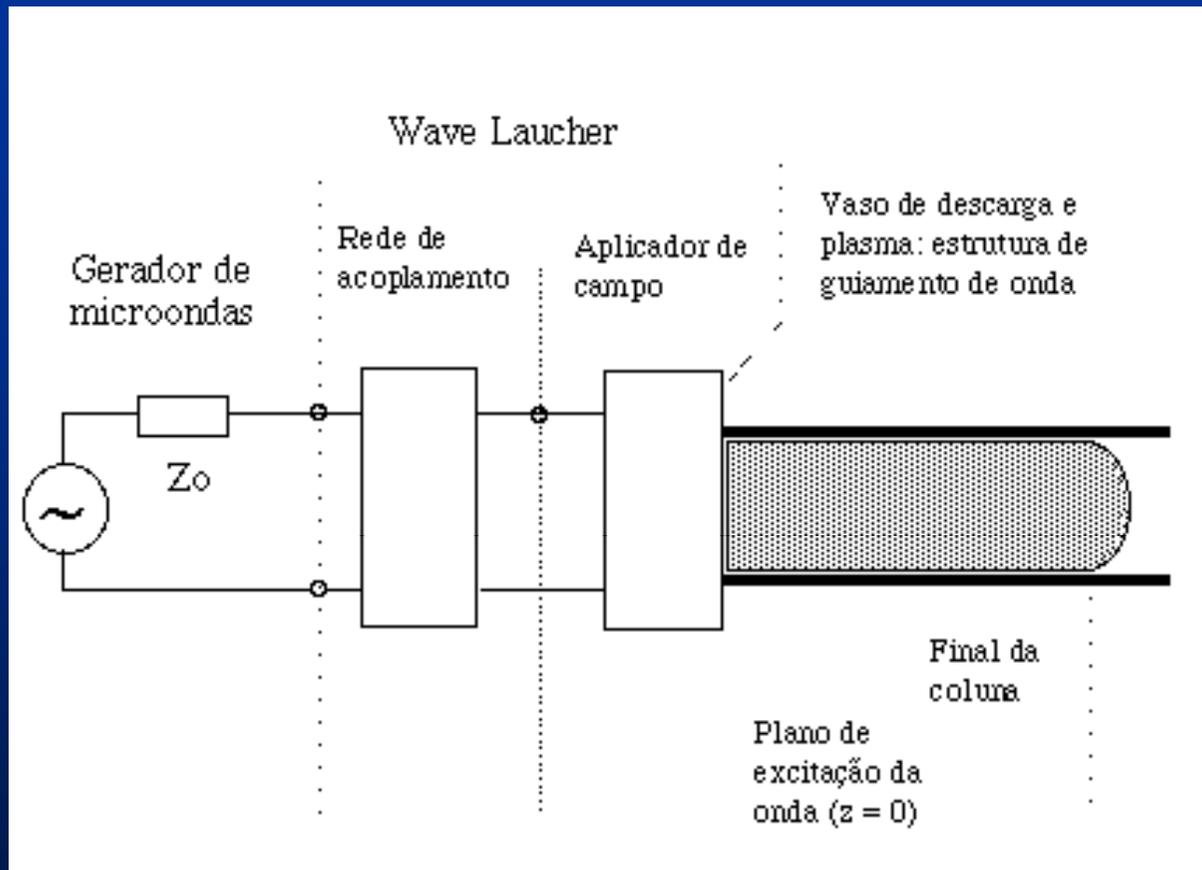
Quando aumentamos a frequência podemos aumentar assim, a densidade, desta forma, em alguns equipamentos de deposição, são utilizadas frequências entre 30 e 300 MHz que possibilitam a produção de plasmas de alta densidade, sem os principais problemas associados com os sistemas de acoplamento capacitivo, com baixas frequências (DC a 13,56 MHz), muito ataque iônico e altos campos elétricos associados.

Surface Wave Plasmas

Ondas de superfície, são ondas eletromagnéticas que se propagam ao longo de uma coluna cilíndrica de plasma e são absorvidas eficientemente pelo mesmo, conseqüentemente, sustentando a descarga.

A principal vantagem deste sistema, é que não utiliza eletrodos evitando assim, este tipo de contaminação. Outra vantagem é a possibilidade de desacoplar a zona de descarga da zona de processo e poder trabalhar com frequências de excitação desde 3 MHz até 10 GHz e com pressões desde 0,1 mTorr até 5000 Torr.

Surface Wave Plasmas



ICP – Plasma Acoplado Indutivamente

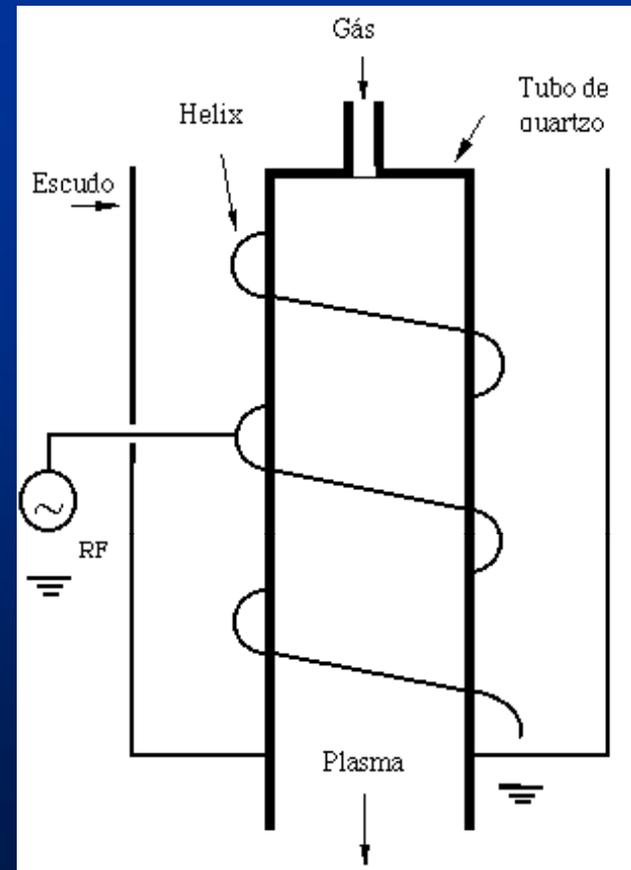
O sistema de plasma acoplado indutivamente, foi o primeiro sistema desenvolvido e empregado em estudos de plasma. Os sistemas de ICP atuais são um híbrido, entre um sistema acoplado indutivamente e capacitivamente. Existem principalmente duas configurações de ICP, o com fonte indutiva planar e com fonte indutiva cilíndrica, esta diferença distingue os tipos de ICPs:

ICP – Plasma Acoplado Indutivamente

Nestes sistemas, o plasma é gerado pelo campo magnético e os íons são acelerados contra a amostra por campo elétrico. Porém às vezes é interessante não termos nenhum tipo de ataque iônico, por isso, é necessário eliminar até o campo elétrico associado aos indutores utilizados na geração do plasma, com isso, são usados escudos eletrostáticos que tornam o acoplamento puramente indutivo, melhorando a qualidade dos processos de deposição.

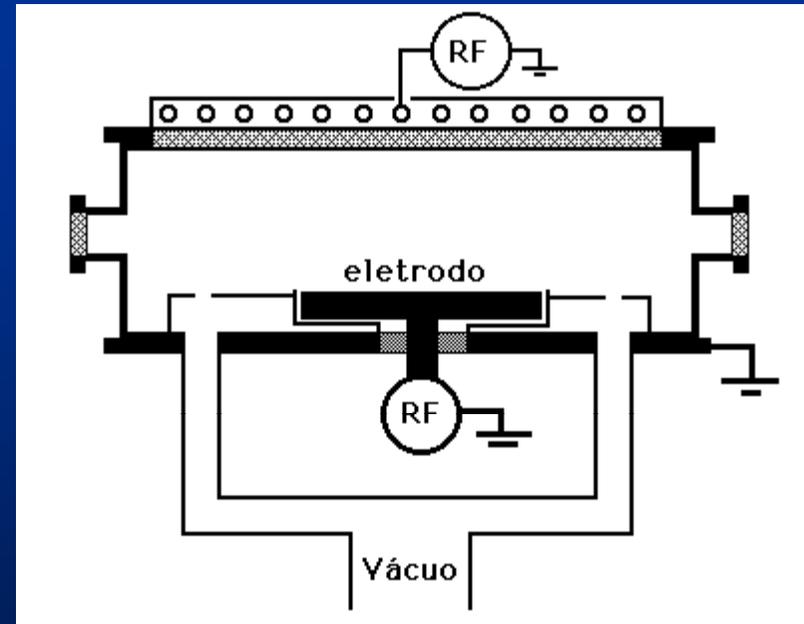
ICP – Plasma Acoplado Indutivamente

ICPs cilíndricos: helical inductive coupled e helical resonators, helicon plasmas .



ICP – Plasma Acoplado Indutivamente

ICPs planares: spiral inductive coupled



Parâmetros controláveis em PECVD

Com a aplicação de plasma, é possível separar a temperatura de deposição, da geração dos radicais responsáveis pela formação do filme. Sendo assim, os sistemas de PECVD possibilitam um controle melhor dos processos e maior variedade dos parâmetros de deposição.

Parâmetros controláveis em PECVD

- ☒ Potência do plasma (RF, microondas ou DC).
- ☒ Temperatura.
- ☒ Pressão.
- ☒ Vazão dos gases.
- ☒ Composição gasosa.
- ☒ Distância entre as lâminas nos reatores cilíndricos.
- ☒ Distância do plasma às lâminas de processo, em sistemas com plasma remoto.

Utilização do plasma para deposição em CVD

O plasma é gerado pela aplicação de RF, microondas ou outra fonte, a um gás (ou gases) em baixa pressão. Os elétrons presentes são acelerados pelo campo elétrico existente e chocam-se com as espécies gasosas. Destes choques ocorrem várias reações

Reações

excitação da espécie (rotacional, vibracional, eletrônica):



dissociação (geração de radicais livres)



ionização



ionização dissociativa



ruptura de ligações



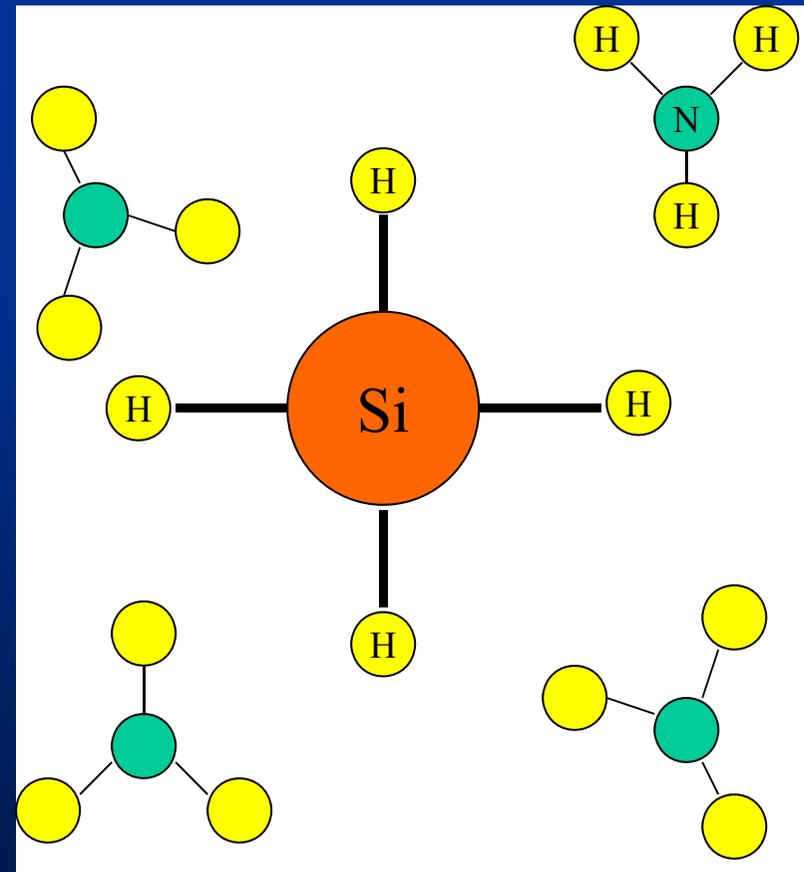
Crescimento do filme depositado por PECVD

Após a dissociação do gás pelo plasma, temos o crescimento do filme depositado, que compreende as seguintes etapas:

- ☒ Formação dos radicais no plasma.
- ☒ Recombinação dos radicais (criação dos precursores).
- ☒ Difusão dos precursores até a superfície da lâmina.
- ☒ Quimisorção e condensação das moléculas na superfície da lâmina.
- ☒ Formação de ligações das moléculas adsorvidas com seus vizinhos na superfície da lâmina.
- ☒ Retirada das espécies não reagidas pelo sistema de vácuo.

Deposição de nitreto de silício em um sistema de PECVD

Silana e amônia dissociam no plasma.



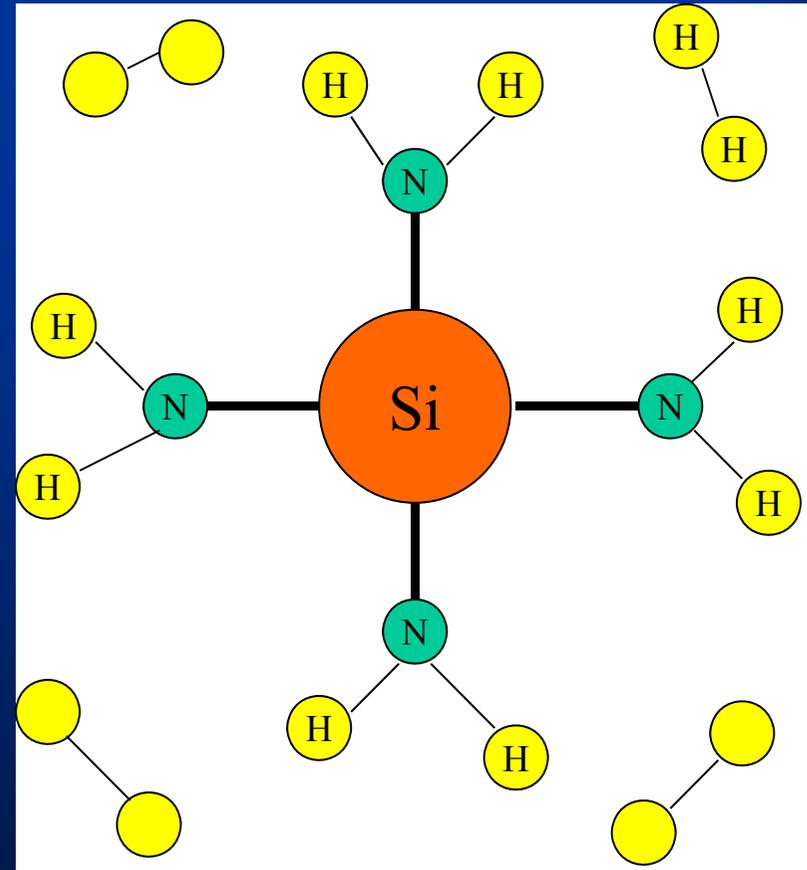
Deposição de nitreto de silício em um sistema de PECVD

Ocorre a formação da molécula precursora de:

tetra-aminosilana

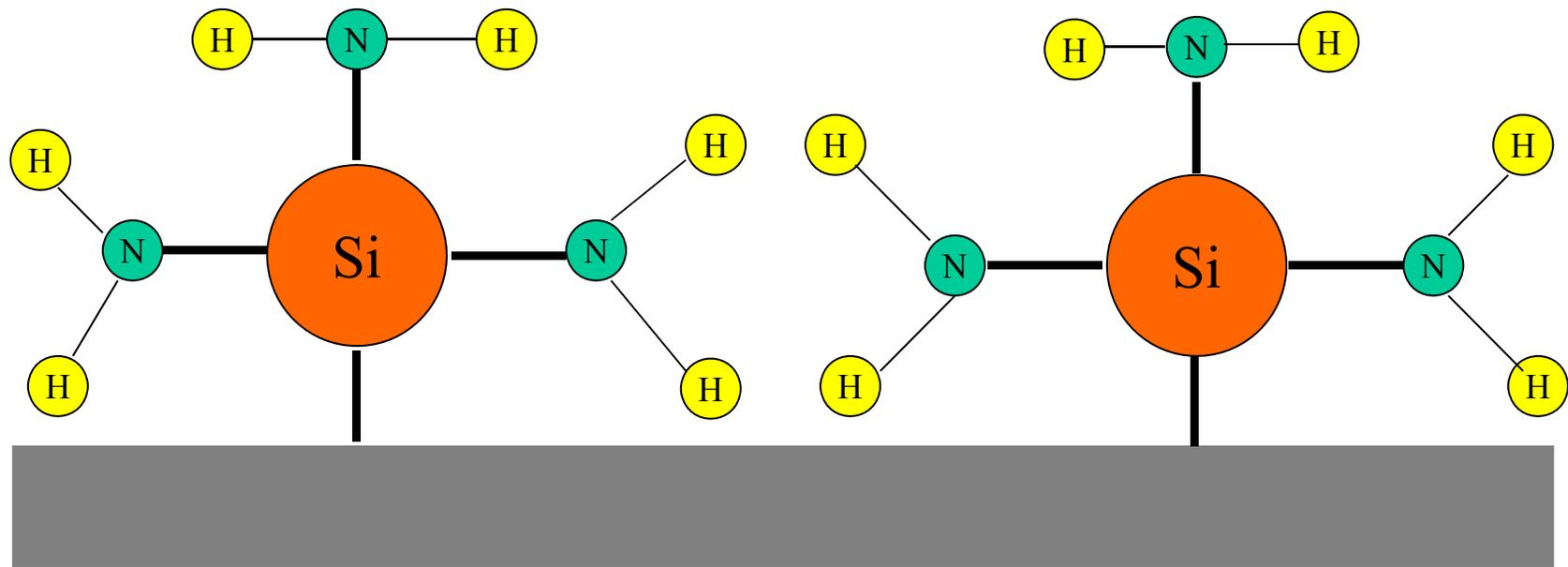
e

Hidrogênio



Deposição de nitreto de silício em um sistema de PECVD

Cada molécula precursora após perder um grupo amino, deposita na superfície da lâmina.



Deposição de nitreto de silício

O aquecimento da lâmina provoca a condensação das moléculas e ajuda na formação de ligações silício com o nitrogênio da amônia

