

DEPOSIÇÃO DE FILMES POR SPUTTERING

SPUTTERING RF

O emprego de plasmas de radiofrequência (rf) apresenta vantagens sobre aqueles de corrente contínua:

- Maior grau de ionização do plasma → maior corrente iônica no catodo → maior taxa de deposição de filme.
- Possibilidade de usar alvos de material isolante.

Suponha o circuito abaixo em que um plasma é produzido por um gerador de onda quadrada de alta frequência.

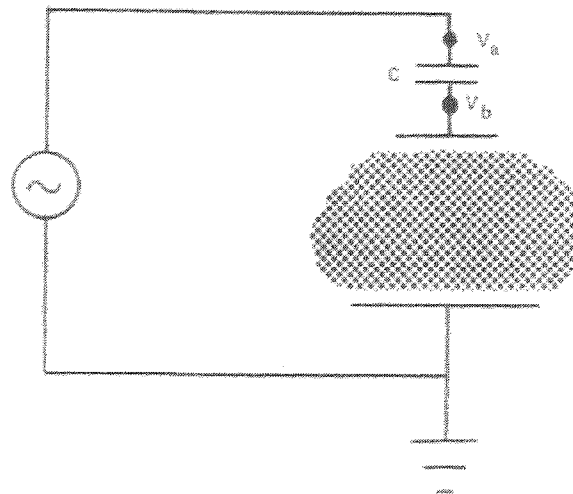


Figure 5-4. Schematic of a high frequency glow discharge circuit

DEPOSIÇÃO DE FILMES POR SPUTTERING SPUTTERING RF

Devido à diferença de mobilidade entre os elétrons e íons no plasma (mobilidade dos elétrons \gg que a dos íons), a forma de onda no ponto b do circuito é deslocada para tensões negativas (polarização negativa).

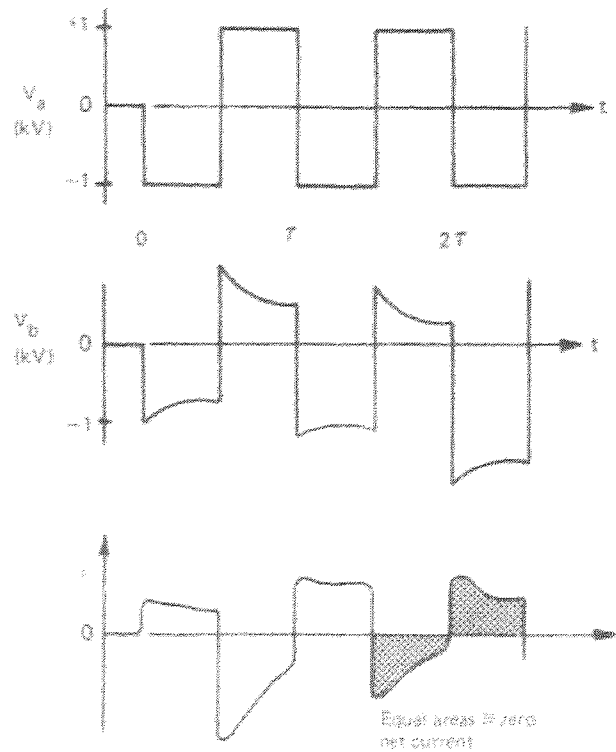


Figure 5-5. Voltage and target current waveforms when the circuit of Figure 5-4 is square wave excited

DEPOSIÇÃO DE FILMES POR SPUTTERING SPUTTERING RF

Da mesma forma que uma onda quadrada, uma onda senoidal de alta frequência produzida por um gerador senoidal que substituiria o gerador do slide anterior, produz polarização negativa (dc offset):

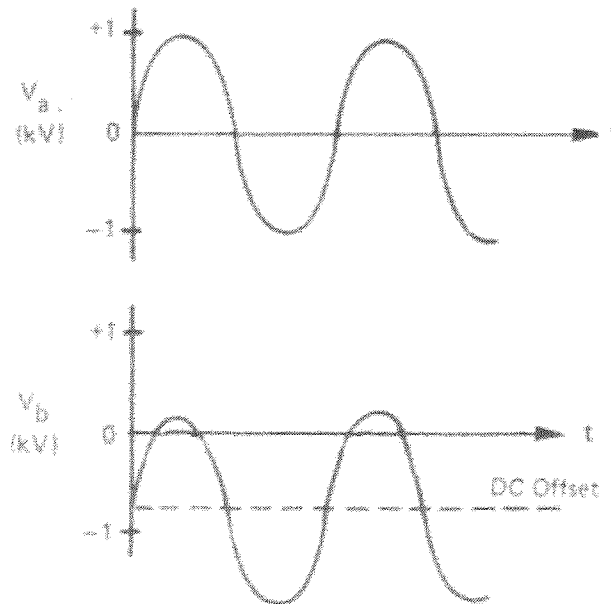


Figure 5-6. Voltage waveforms at generator (V_a) and target (V_b) in a conventional sinusoidally-excited rf discharge

DEPOSIÇÃO DE FILMES POR SPUTTERING SPUTTERING RF

Note-se que se o eletrodo adjacente ao capacitor for coberto por um material isolante, íons irão bombardear o material e, para uma tensão de polarização suficientemente alta, o processo de sputtering poderá ser significativo.

Entretanto, para frequências de até uns 50 kHz, exceto a possibilidade de se depositar materiais isolantes, não há vantagem no emprego de rf, pois

- (a) não há ganho significativo no processo (se comparado com aquele dc);
- (b) a pressão mínima para iniciar a descarga, p_m , é a mesma que no processo dc.

As desvantagens (a) e (b) acima vão ficando menos significativas e, para frequências de 13,56 MHz (frequência em que comumente se opera sistemas de sputtering),

- p_m cai para abaixo de 1 mTorr;
- a corrente iônica para uma mesma tensão, aumenta consideravelmente.

Como então o aumento da ionização ocorre para altas frequências?

DEPOSIÇÃO DE FILMES POR SPUTTERING

SPUTTERING RF

A energia cinética de um elétron num campo elétrico alternado de amplitude ϵ_0 e frequência angular ω é dada pela relação

$$E_c = (e \epsilon_0 / 2\omega) \sin^2 \omega t$$

cujo valor máximo é

$$E_c = e \epsilon_0 / 2\omega$$

A tabela abaixo relaciona a energia máxima do elétron em função da amplitude do campo elétrico.

Field Strength (V/cm)	Amplitude (cm)	Velocity (cm/sec)	Energy (eV)
0.1	0.02 cm.	$2.1 \cdot 10^6$	$1.13 \cdot 10^{-3}$
1	0.24 cm.	$2.1 \cdot 10^7$	0.11
10	2.42 cm.	$2.1 \cdot 10^8$	11.3
100	24.2 cm.	$2.1 \cdot 10^9$	1130
*1000	242 cm.	$2.1 \cdot 10^{10}$	$1.13 \cdot 10^5$

*ignoring relativistic effects

Conforme a tabela, e para um pouco mais de $\epsilon_0 = 10\text{V/cm}$, chega-se a 15,7 eV que é o potencial de ionização do Ar. Entretanto, a seção de choque de ionização do Ar para esse potencial é muito pequena. Como explicar então o ganho de ionização com a frequência?

DEPOSIÇÃO DE FILMES POR SPUTTERING SPUTTERING RF

Sobre o ganho em ionização com a frequência

Duas hipóteses serão aqui colocadas.

Hipótese 1: elétron colide elasticamente com Ar no exato instante em que ϵ_0 muda de direção; elétrons podem então ganhar energia mesmo para campos muito fracos.

Hipótese 2: (1). Com a troca de polaridade dos eletrodos, as margens das bainhas oscilam com uma velocidade V_B ; (2). no intervalo de tempo em que o "catodo" ficou positivo, elétrons se dirigem a este eletrodo com grande velocidade; (3). transcorrido este intervalo, o "catodo" troca de sinal (torna-se efetivamente catodo) e o elétron desacelera bruscamente, sua velocidade inverte o sentido e ele volta para a descarga; tudo se passa como se o elétron colidisse com a margem da bainha.

DEPOSIÇÃO DE FILMES POR SPUTTERING SPUTTERING RF

Nos sistemas de sputtering rf busca-se maximizar a transmissão de potência do gerador para a descarga. Isso é conseguido com um circuito intermediário entre o gerador e o plasma, denominado de *circuito acoplador*. No esquema abaixo, a carga (plasma) mais o circuito acoplador estão representados pela impedância Z . A transmissão de potência será máxima quando a impedância de saída do gerador, $(z + jb)$, for igual ao complexo conjugado $(z - jb)$ da impedância Z .

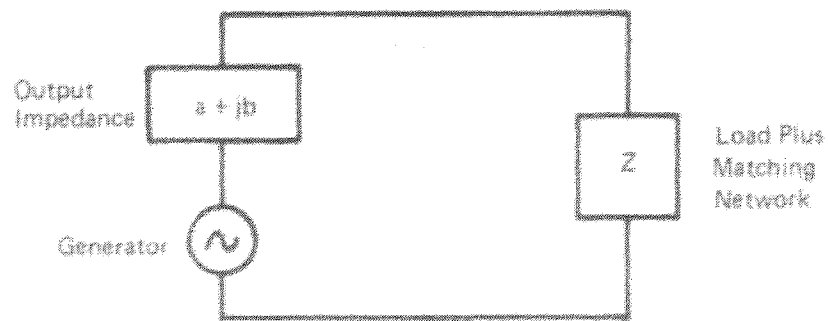


Figure 5-12. RF circuit with load impedance Z

DEPOSIÇÃO DE FILMES POR SPUTTERING SPUTTERING RF

No circuito da Fig 5.13, típico de sistemas de sputtering, o quadrado tracejado limita o acoplador. A impedância deste último é ajustada pelos capacitores. Isso é necessário, uma vez que a impedância da câmara de processamento pode variar conforme suas condições de operação.

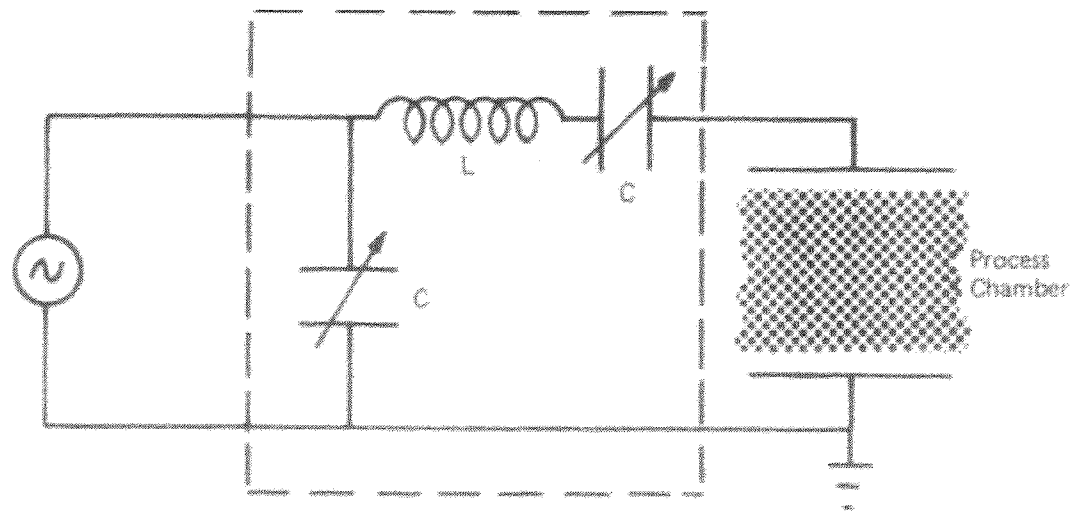


Figure 5-13. A typical rf matching network

DEPOSIÇÃO DE FILMES POR SPUTTERING SPUTTERING RF

Além do emprego de rf e do circuito acoplador para melhorar o rendimento de um sistema de sputtering, mais um ganho pode ser conseguido reduzindo a razão área do catodo/área do anodo.

No sistema da Fig. 5-15, as áreas e tensões dos eletrodos e os comprimentos das bainhas estão especificados

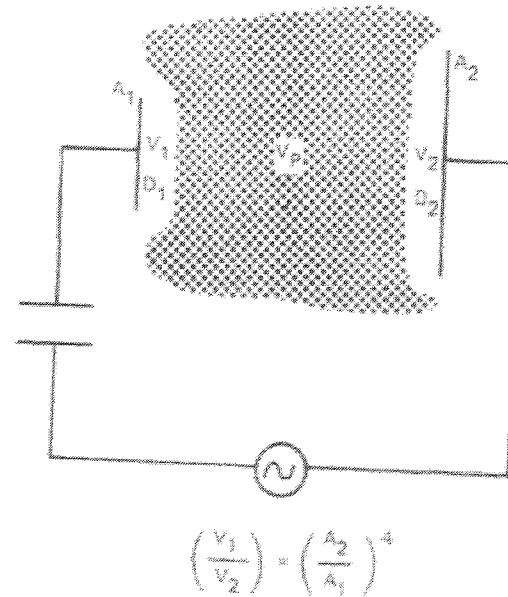


Figura 5-15. Voltage distribution - with blocking capacitor

O modelo de Koenig e Maissel estabelece as seguintes relações entre os parâmetros da figura.

$$(V_1/V_2) = (A_2/A_1)^4 \quad \text{e} \quad (V_1/V_2)^{3/2} = (D_1/D_2)^2$$

De acordo com essas equações

- a maior bainha aparece no eletrodo menor;
- a quarta potencia exagera a assimetria na distribuição de tensões no plasma;
- um ganho significativo de tensão é previsto para o eletrodo menor.

Note-se que, sem capacitor de bloqueio, $V_1 = V_2$ e $D_1 = D_2$.