

EFEITO DA RÁDIO FREQUÊNCIA NA CAPACITÂNCIA DA SHEATH NUM PLASMA
DE BAIXA DENSIDADE

L.T.Carneiro e C.da C.Rapozo

Instituto de Física - Universidade Federal Fluminense
Outeiro São João Batista s/nº-Centro-24.020-Niterói,RJ

RESUMO:

Mostrou-se que a influência do potencial de rádio-freqüência induzido (V_{RF}) modifica a teoria de Bohm sobre a corrente de saturação dos ions, medido com sondas de Langmuir.

Mostrou-se, também, o efeito do potencial de rádio-freqüência na ressonância da "sheath" em um plasma tipo diodo.

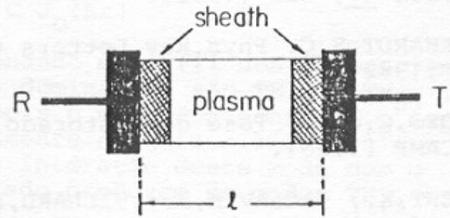


Fig.02 - Geometria do modelo sheath-plasma

Observamos que a freqüência de ressonância cresce com o V_{RF} . O modelo elétrico proposto mostra também que esse crescimento pode ser observado através da diminuição da capacitância da sheath, pois a espessura da mesma cresce com o V_{RF} aplicado.

2. MODELO TEÓRICO:

1. INTRODUÇÃO:

O objetivo deste trabalho é estabelecer um modelo elétrico para uma sonda ressonante num plasma de baixa densidade, o qual nos dá uma nova visão na interpretação do efeito da RF na ressonância da sheath.

A dependência da freqüência de ressonância com a tensão de RF é mostrada na Fig.01 e a geometria do modelo sheath-plasma, na Fig.02, Rapozo e Aihara [1].

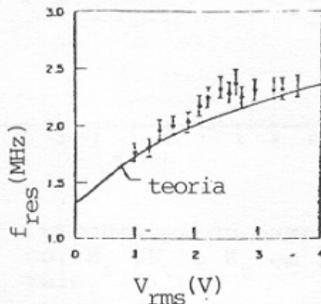


Fig.01-Variação da freqüência de ressonância da sheath vs. tensão de RF aplicada. Linha contínua calculada para $T = 0,14$ eV, $L = 25$ cm.

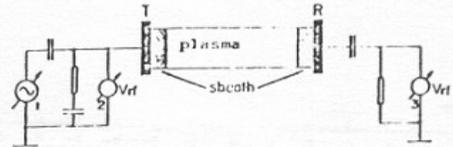


Fig.03 - Geometria do sheath do plasma e modelo eletrônico, onde T e R são eletrodos circulares dispostos radialmente, 1 é fonte de RF variável, 2 e 3 são voltímetros de RF.

Devido à diferença de potencial entre os eletrodos T e R e a região entre sheath e plasma (com e sem RF aplicada), nós podemos definir uma capacitância C_s que depende da área A dos eletrodos e da espessura S da sheath. Neste trabalho negligenciamos a indutância L_s da sheath e seus efeitos em termos de acoplamento indutivo na região de transição.

O modelo teórico proposto é:

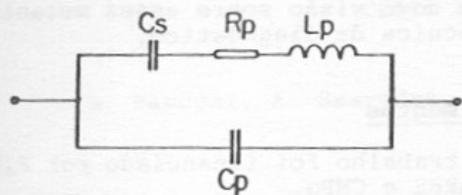


Fig.04 - Modelo do circuito.

onde C_s é a capacitância da sheath, R_p é a resistência do plasma e L_p sua indutância.

A curva de admitância do circuito é mostrada na Fig.05 a qual está em acordo com a curva de admitância obtida por Rapozo e Aihara [1].

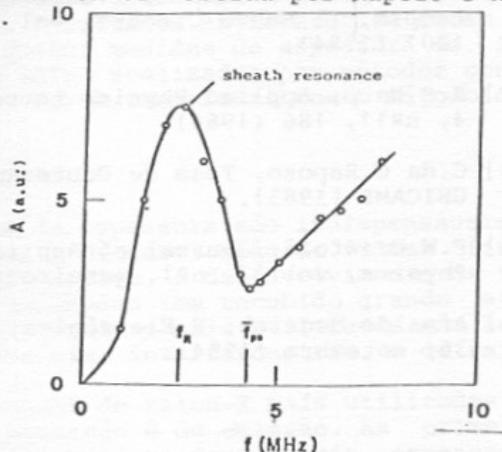


Fig.05 - Característica da ressonância, f_R é a frequência de ressonância da sheath, f_{pe} é a frequência de elétrons do plasma, que são relacionadas por [2]
 $f_R = f_{pe} \sqrt{2s/l}$

Escrevendo a impedância do circuito e igualando sua parte imaginária a zero, teremos:

$$\omega_1^2 = \frac{1}{L_p C_s} \quad (\text{p/um máximo}) \quad \text{ressonância de sheath}$$

$$\omega_2^2 = \frac{1}{L_p C_e} \quad (\text{p/um mínimo}) \quad \text{ressonância de plasma}$$

Assim, a expressão para ω_1 mostra que esta cresce com a diminuição de C_s . Por outro lado, via definição de C_s notamos que este diminui seu valor com o aumento da espessura da sheath, cuja expressão dada por Rapozo [3] é

$$S = \frac{1}{3\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{en_0} \right)^{\frac{1}{2}} \left[\frac{1 - 2S/L}{(1 - 2S_0/L)^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{3}{4}} \frac{V_{fo}^{3/4}}{V_a^{1/4}}$$

A dependência de V_{fo} com V_{RF} explica o crescimento desta espessura. Este crescimento está de acordo com os resultados encontrados por Rapozo e Aihara e nos dá uma nova maneira de interpretar o efeito da RF na ressonância da sheath. A dependência de S com o V_{RF} é mostrada na Fig.06.

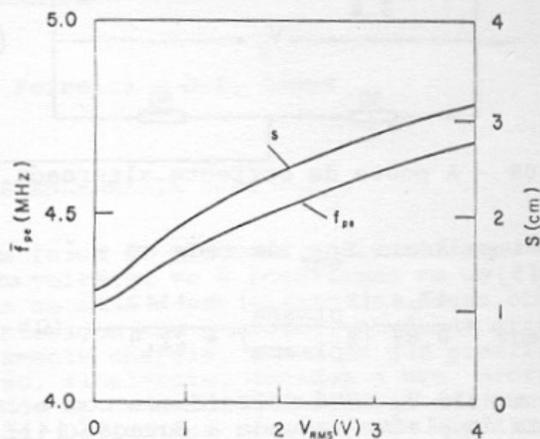


Fig.06 - Variação de S e de f_{pe} com V_{rf} , rms.

Notamos que a espessura da sheath cresce monotonicamente com V_{RF} .

Conhecendo-se a dependência de S com V_{RF} (rms) podemos obter a dependência de f_{pe} (rms). Essa dependência é mostrada também na Fig.06.

Podemos ver que, durante a excursão de V_{RF} (rms) de 0 a 3,6 V, S incrementa de um fator de 2,55, resultando um aumento de um fator de 1,1 em ω_{pe} .

3. ARRANJO EXPERIMENTAL PARA A DETERMINAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DE RESSONÂNCIA (ω_p) ANTI-RESSONÂNCIA (ω_{pe}) E DA RESISTÊNCIA DO PLASMA:

A determinação de R_p , ω_p e ω_{pe} do modelo proposto é realizada através da mesma técnica utilizada para determinação das características de uma impedância desconhecida via uma ponte de corrente alternada.

O método prático baseia-se na medição das frequências de ressonância e anti-ressonância e da resistência R_p através do controle de fase entre os terminais de uma ponte π puramente resistiva, conforme mostra a Fig.07.

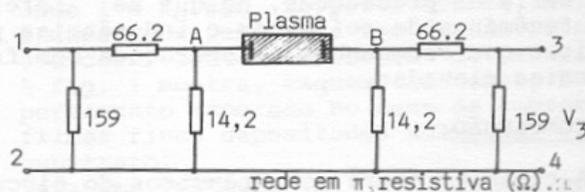


Fig.07 - Rede em π (puramente resistiva).

A rede em π é conectada então numa ponte A.C. mostrada na Fig.08.

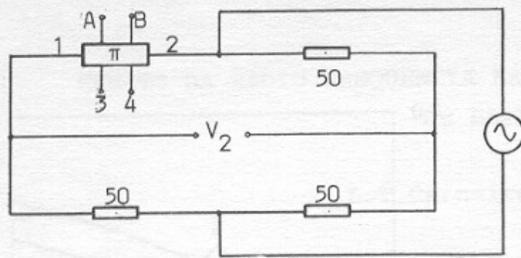


Fig.08 - A ponte de corrente alternada.

A impedância $Z_{eq\pi}$ da rede em π é dada por [5]

$$Z_{eq\pi} = \frac{47,4 (Z_{plasma}) + 1142,3}{0,89 (Z_{plasma}) + 22,9} \quad (\Omega)$$

A tensão V_3 está relacionada com a impedância do plasma segundo a Equação [4]:

$$V_3 = 1,3 i_1 + 0,9 Z_{plasma} \cdot i_1$$

Uma vez que a ponte encontra-se em equilíbrio, o que independe de ter ou não plasma, as correntes i_1 e i_2 são iguais. Assim [6]:

$$V_3 = 1,3 i + 0,9 Z_{plasma} i$$

$$V_2 = 50 i, \text{ onde } i_1 = i_2 = i$$

A frequência de ressonância e anti-ressonância será determinada através de um osciloscópio na configuração x, y , o que consistirá numa linha reta a 45° do eixo horizontal na ressonância.

A resistência ôhmica do plasma é determinada curto-circuitando os terminais A e B da rede e medindo-se V_3 (de curto) e V_2 (de curto) com o oscilador de RF ajustado na ressonância.

Substituímos o curto-circuito entre A e B pela montagem plasma-eletrodos e medimos V_2 (com plasma) e V_3 (com plasma). Pode-se mostrar que [5]:

$$R_p = 24 \left[\frac{V_3(\text{de curto})}{V_2(\text{de curto})} \cdot \frac{V_2(\text{c/plasma})}{V_3(\text{c/plasma})} - 1 \right]$$

Para que seja conseguido um levantamento de dados confiáveis, é necessário tomar-se uma série de precauções, no que se refere aos fenômenos de reflexões e indutâncias parasitas que acompanham as operações com frequências elevadas.

4. CONCLUSÃO:

A conexão entre os parâmetros do circuito equivalente e dos resultados teóricos nos dá um novo ângulo de observação dos mecanismos envolvidos na sheath-plasma.

Uma possível informação obtida deste trabalho seria a frequência de colisão na coluna de plasma formada entre os eletrodos T e R, como função da resistência de plasma R_p [4].

Um estudo melhor sobre o comportamento da impedância do sistema possivelmente nos dará uma nova visão sobre esses mecanismos e uma técnica de diagnóstico.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por FINEP, CNEN, CAPES e CNPq.

Os autores são gratos ao aluno J.J.G. Borges e ao Engenheiro H.Teixeira por suas contribuições a este trabalho.

Referências

- [1] C.C.Rapozo, S.Aihara, V.Carreta e G. Lampis, Il Nuovo Cimento, vol.3D,nº6, 1001 (1984).
- [2] R.S.Harp, Applied Physics Letters, vol. 4, nº11, 186 (1964).
- [3] C.da C.Rapozo, Tese de Doutorado, UNICAMP (1985).
- [4] F.W.Crawford, Journal of Applied Physics, vol.33, nº1, janeiro (1962).
- [5] Arnaldo Megrich, N.Eletrônica, nº91, 36, setembro (1984).