

CONSTRUÇÃO DE UM CANHÃO DE ÍONS E OTIMIZAÇÃO DOS SEUS PARÂMETROS

Alfredo C. Peterlevitz e Ross A. Douglas
Instituto de Física "Gleb Wataghin", UNICAMP
C.P. 6165, Campinas - SP

Projetou-se, construiu-se e testou-se um canhão no qual a ionização dos átomos do gás (Argônio) ocorre devido ao impacto de elétrons energéticos, originados por emissão térmica. Uma lente einzel faz a extração dos íons e a sua focalização para o alvo.

Otimizou-se o funcionamento do canhão a partir das curvas obtidas para a intensidade da corrente incidente sobre o alvo em função da pressão do gás, da corrente de emissão e das diferenças de potenciais aplicadas nos eletrodos.

Canhão de íons, otimização

1. INTRODUÇÃO

Na análise de filmes finos utilizando a técnica ESCA é interessante remover total ou parcialmente camadas do filme e proceder, após cada desgaste da superfície, à análise da amostra que apresenta ainda as camadas que não foram removidas.

Uma maneira prática de erodir filmes finos é aplicar bombardeamento iônico: gera-se íons, estes passam por um potencial elétrico acelerador, vindo a incidir sobre a amostra com energia cinética adequada para transferir momentum aos átomos ou moléculas superficiais que, desta ma-

neira, são ejetados.

A fim de reduzir ao mínimo as alterações das características do filme durante o experimento é indispensável manter a amostra em vácuo e ao mesmo tempo ter também um canhão de íons que opere durante horas seguidas. A falta deste segundo requisito, no canhão do equipamento até agora em uso, levou-nos ao projeto, construção e otimização dos parâmetros de um novo canhão.

2. O NOVO CANHÃO

No novo canhão a ionização dos átomos do gás ocorre devido ao impacto de elétrons energéticos produzidos por a missão térmica do filamento de tungstênio mostrado na Figura 1. Os elétrons são acelerados em direção da grade G (de forma helicoidal), que é polarizada mais positivamente que o filamento. Em sua trajetória, os elétrons se movem em meio ao gás rarefeito. Uma fração das colisões elétron-átomo resulta ser ionizante, gerando uma corrente iônica (I_{ion})

A fonte F_g (figura 1) fornece à grade uma corrente I_g para mantê-la polarizada. I_g é igual, em módulo, à corrente de emissão eletrônica I_e mais a corrente I_{ion} , formada pelos elétrons secundários originados da ionização do gás:

$$I_g = I_e + I_{ion} \quad (1)$$

Os íons no momento em que são gerados, no potencial da grade, tem energia cinética desprezível em comparação com a energia que adquirirão após serem acelerados. A energia cinética dos íons ao incidirem sobre o alvo, aterrado, é linearmente proporcional ao potencial da grade, que mantém-se em 1000 V ou mais.

Um conjunto de três eletrodos cilíndricos, formando uma lente einzel, faz a extração dos íons formados na região da grade e sua focalização para o alvo, gerando a corrente iônica I_+ . Esta corrente I_+ é a fração ϵ dos íons produzidos que alcançam o alvo. A fração restante $(1-\epsilon)$ dos íons vai para a carcaça, eletrodos, ou recombina-se, sendo perdida.

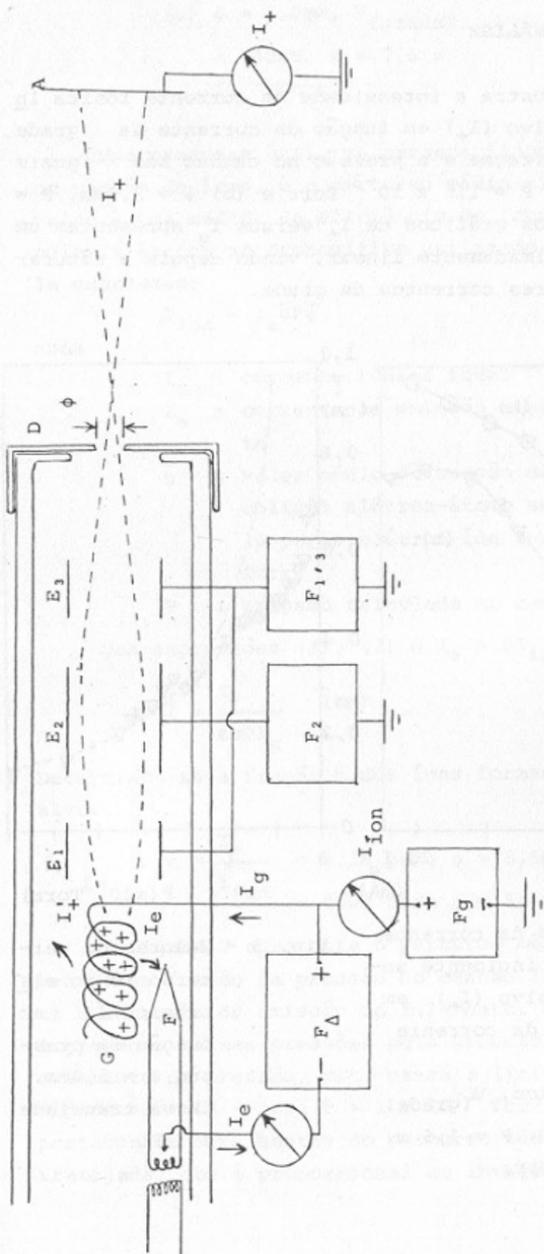


Fig. 1 - Esquema do canhão de íons, mostrando o filamento (F), a grade helicoidal (G), os eletrodos cilíndricos (E_1, E_2, E_3), as fontes de tensão (F_1, F_3, F_2, F_g), o diafragma (D), o alvo (A) e as correntes: I_e (emissão eletrônica), I_g (mantém a grade polarizada), I_+ (iônica que alcança o alvo) e I_{ion} (iônica que não alcança o alvo).

3. RESULTADOS E ANÁLISE

A figura 2 mostra a intensidade da corrente iônica incidente sobre o alvo (I_+) em função da corrente da grade, I_g . O furo do diafragma e a pressão no canhão são iguais a: (a) $\phi = 3,1\text{mm}$, $P = 1,6 \times 10^{-3}$ Torr e (b) $\phi = 5,0\text{mm}$, $P = 7,6 \times 10^{-3}$ Torr. Os gráficos de I_+ versus I_g apresentam um crescimento aproximadamente linear, vindo depois a saturar na região de maiores correntes de grade.

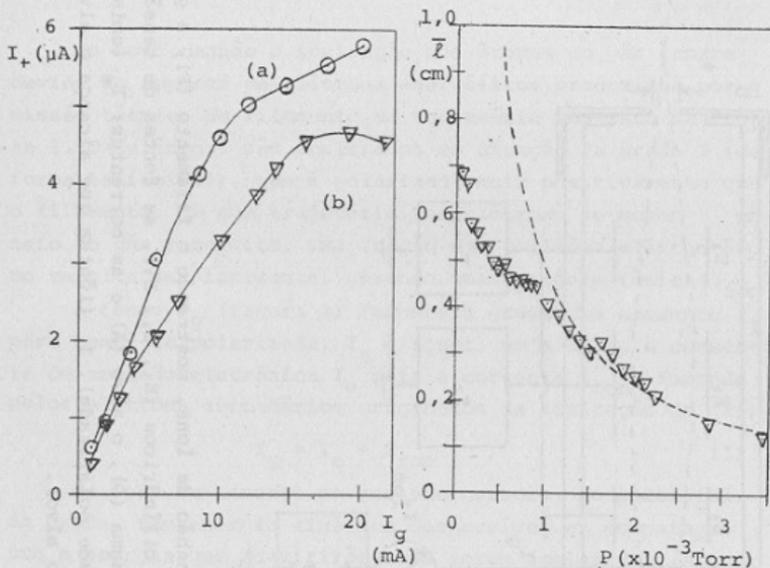


Fig. 2 - Valores da corrente iônica incidente sobre o alvo (I_+) em função da corrente I_g .

(a) $\phi = 3,1\text{mm}$, $V(\text{grade}) = 1500\text{V}$, $P = 1,6 \times 10^{-3}$ Torr;

Fig. 3 - Valores do percurso médio eletrônico \bar{l} em função da pressão. $\phi = 5,0\text{mm}$. Curva tracejada $\propto 1/P$.

$$\begin{aligned}
 \text{(b) } \phi &= 5,0\text{mm, } V_{\text{(grade)}} \\
 &= 1000\text{V, } P = 7,6 \times \\
 &10^{-3} \text{ Torr.}
 \end{aligned}$$

Uma grandeza útil, na caracterização e descrição de um canhão de íons, é o percurso médio eletrônico \bar{L} . Seu valor é uma medida da eficiência de ionização de átomos pelos elétrons no dispositivo utilizado. \bar{L} é definido pela expressão:

$$I_{\text{ion}} = I_e \bar{\sigma} P \bar{L} \quad (2)$$

onde

I_{ion} : corrente iônica total

I_e : corrente de emissão eletrônica do filamento

$\bar{\sigma}$: valor médio da secção de choque para uma colisão elétron-átomo ser ionizante. $\bar{\sigma} \approx 10$ pares elétron-íon gerados por cm por Torr.

P : pressão calculada no canhão (Torr).

Das expressões (1), (2) e $I_+ = \epsilon I_{\text{ion}}$ obtém-se:

$$\bar{L} = \frac{I_+}{\epsilon \bar{\sigma} P I_g} \quad (\text{cm})$$

Determinou-se a fração ϵ dos íons formados que alcança o alvo:

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= \frac{I_+}{I_{\text{ion}}} \approx 0,16 \text{ para } \phi = 8,5\text{mm} \\
 &\approx 0,07 \text{ para } \phi = 5,0\text{mm}
 \end{aligned}$$

A figura 3 apresenta o percurso médio eletrônico (\bar{L}) medido em função da pressão no canhão (P), sendo constante a corrente de emissão do filamento. O percurso médio é limitado a baixas pressões pela geometria do canhão. Com o aumento da pressão, esta passa a limitar o percurso médio do elétron - para $P > 1 \times 10^{-3}$ Torr compare-se os comportamentos semelhantes do percurso médio \bar{L} com a curva tracejada, que é proporcional ao inverso da pressão.

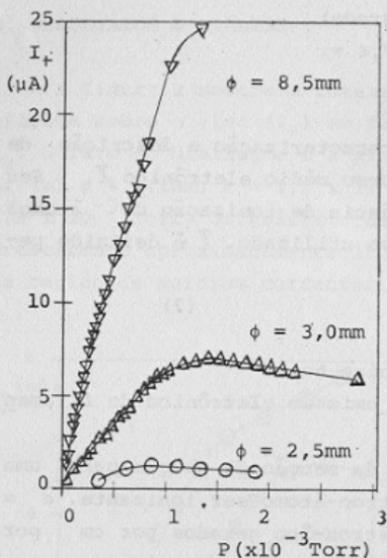


Fig. 4 - Valores da corrente iônica I_+ em função da pressão no canhão, para diafragmas com os ϕ indicados. $V_{(grade)} = 1000V$.

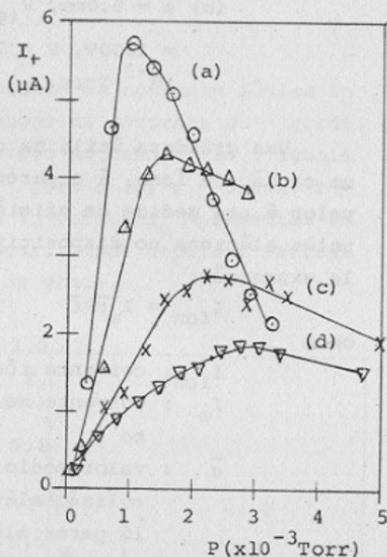


Fig. 5 - Valores da corrente iônica I_+ , em função da pressão de argônio.

$$V_{(grade)} = 1500V;$$

$$V_{(filamento)} = 1200V.$$

Correntes de emissão:

$$(a) 20mA; (b) 13mA;$$

$$(c) 10mA; (d) 7mA.$$

A figura 4 apresenta a corrente I_+ em função da pressão de argônio no canhão (P). As curvas mostram o comportamento comum do crescimento de corrente aproximadamente linear, começando a saturar com pressão de aproximadamente 1×10^{-3} Torr.

A figura 5 apresenta a corrente I_+ em função da pressão. Os quatro gráficos referem-se aos diferentes valores indicados para a corrente eletrônica de emissão, que foi

estabelecida na ausência de fluxo de argônio. Em todos os casos ϕ é igual a 3,1 mm, a grade polarizada em 1500V e o filamento em 1200V.

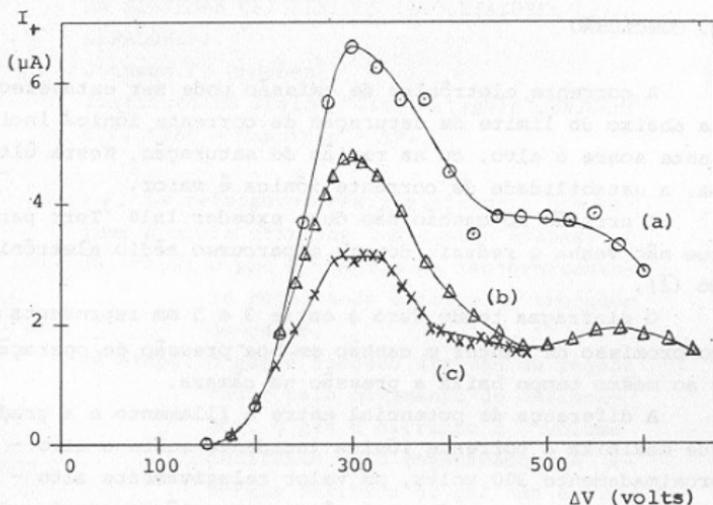


Fig. 6 - Valores da corrente iônica I_+ em função da diferença entre os potenciais aplicados à grade (1500V) e ao filamento: $\Delta V = 1500 - V$ (filamento).

Pressão no canhão:

(a) $6,5 \times 10^{-4}$ Torr; (b) $9,8 \times 10^{-4}$ Torr; (c) $1,3 \times 10^{-3}$ Torr.

A figura 6 apresenta a corrente I_+ em função da diferença ΔV entre os potenciais aplicados à grade e ao filamento: $\Delta V = V_{(\text{grade})} - V_{(\text{filamento})}$. O potencial da grade é fixo em 1500V e a pressão no canhão está indicada em cada caso. Sob estas condições a corrente I_+ é maximizada, portanto, mantendo-se o filamento a um potencial de aproximadamente 300V inferior ao da grade.

O potencial do eletrodo central da lente einzel (E_2) sempre foi ajustado livremente para maximizar a corrente iônica incidente sobre o alvo. Observou-se que para a geo

metria utilizada o eletrodo E_2 sendo polarizado positivamente produz corrente I_+ mais intensa do que se polarizado negativamente.

4. CONCLUSÃO

A corrente eletrônica de emissão pode ser estabelecida abaixo do limite de saturação da corrente iônica incidente sobre o alvo, ou na região de saturação. Nesta última, a estabilidade da corrente iônica é maior.

A pressão no canhão não deve exceder 1×10^{-3} Torr para que não venha a reduzir demais o percurso médio eletrônico (\bar{l}).

O diafragma tendo furo ϕ entre 3 e 5 mm representa um compromisso de manter o canhão em boa pressão de operação e ao mesmo tempo baixa a pressão na câmara.

A diferença de potencial entre o filamento e a grade que maximiza a corrente iônica incidente sobre o alvo - a proximadamente 300 volts, um valor relativamente alto - é o valor de ΔV que produz mais íons na região central da grade helicoidal, pois apenas os íons gerados nesta região são os que formam a corrente iônica I_+ .

Concluimos que o canhão descrito apresenta um comportamento funcional plenamente adequado às necessidades do programa de análise de superfícies ora em desenvolvimento no Departamento de Física Aplicada do IF"GW" - UNICAMP.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. David Mendez Soares pela colaboração na parte eletrônica. O trabalho contou com a colaboração da FAPESP.