

RENDIMENTOS DE EMISSÃO E REDUZIDO DA PLATINA E TEFLON-FEP® - EMISSÃO SECUNDÁRIA

Carlos Alberto Fonzar Pintão

Departamento de Física - UNESP
Caixa Postal. 473
17033-360 - Bauru - SP
e-mail: fonzar@bauru.unesp.br

Palavras-chave: coeficientes de emissão, rendimento reduzido e emissão secundária.

RESUMO

O projeto e construção de um acelerador de elétrons pelo Roberto Hessel no IFSC - USP (Grupo de Polímeros), sob orientação do Prof. Bernhard Gross e a colaboração do Prof. Guilherme F.L. Ferreira, com algumas características diferentes dos arranjos convencionais, permitiu a medida e o estudo das curvas de emissão total (σ), elétrons retroespalhados (η) e dos elétrons secundários (δ) em função da energia dos elétrons incidentes para amostras de metais e de polímeros. Neste trabalho são apresentados os resultados dos coeficientes de emissão (σ , η e δ) para o Teflon-FEP® e a Platina em função da energia (E), e se determina as curvas de rendimento reduzido ($\delta/\delta_M \times E/E_M$) para ambos os materiais. Os resultados das curvas dos coeficientes de emissão, apesar de serem diferentes para os dois materiais, mostram que é possível representá-los através de uma única curva, quando se levar em conta o rendimento reduzido.

ABSTRACT

The project and construction of an electron accelerator by Roberto Hessel in IFSC - USP (Group of Polymers), under orientation of Bernhard Gross and the collaboration of Guilherme F.L. Ferreira, with characteristics different from the conventional arrangements, allowed the measure and study of the curves of total emission (σ), electron backscattering (η) and of the secondary electron (δ) in function of the energy of the incident electrons in samples of metals and of polymer. In this work we have shown the results of the emission coefficients (σ , η and δ) by Teflon-FEP® and the Platinum in function of the energy (E) and determined the curves of reduced yields ($\delta/\delta_M \times E/E_M$) by both materials. The results of the curves of the emission coefficients, in spite of being different by the two materials, show that it is possible to represent them through an unique curve when it takes the reduced yields.

INTRODUÇÃO

No estudo da emissão dos elétrons secundários de sólidos que são irradiados com um feixe de elétrons mono energético, é comum se estudar as curvas de emissão¹⁻⁶. Estas cur-

vas expressam o rendimento dos elétrons emitidos pelo material que em termos de energia cinética⁷ podem ser separados em dois grupos distintos a saber, os "elétrons secundários verdadeiros" e os retroespalhados. O primeiro grupo de elétrons é constituído por aqueles que possuem energia situada na faixa de 0 a 50eV, e são em geral aqueles arrancados do material. Para estes elétrons emitidos é definido o rendimento ou coeficiente de emissão secundária (δ), e neste caso devemos excluir todos os elétrons com energia maior que 50eV. O segundo grupo de elétrons, é constituído por aqueles provenientes dos incidentes que sofreram choques elásticos e inelásticos dentro do material, e portanto apresentam em sua totalidade uma energia na faixa de 50eV até a energia do próprio feixe de elétrons incidente (em geral maior que 100eV). Neste caso, é comum se definir o rendimento dos retroespalhados (η), que excluem todos aqueles elétrons com energia menor que 50eV. Desta forma, a soma dos dois rendimentos de emissão, para uma determinada energia dos incidentes, dá origem ao rendimento de emissão total ($\sigma = \delta + \eta$). Na literatura é comum encontrar as curvas destes rendimentos em função da energia dos elétrons incidentes e é possível definir para σ e δ os valores de máxima emissão que denominamos de σ_M e δ_M . Os valores de energia em que σ e δ são unitários denominamos de energias associadas ao 1º e 2º pontos de cruzamento (E_I e E_{II}).

Uma grande quantidade de dados neste sentido pode ser encontrado na literatura¹⁻⁶ para os metais e óxidos metálicos, porém para polímeros⁸ são mais escassos. Observamos também que para estes dados muitas vezes não é especificado se estes coeficientes representam só os elétrons secundários ou todos os elétrons (primários e secundários), o que dá origem a uma certa confusão. Novos materiais tem surgido no dia a dia e sempre existe a necessidade de caracterizá-los através da Física sobre vários aspectos. Especificamente as curvas de emissão são importantes para mostrar como um material se comporta quando sofre a ação de um feixe de elétrons mono energético incidindo sobre ele.

A construção de um acelerador de elétrons que trabalha com baixa energia (0,2 a 10keV), dentro do Grupo de Polímeros da USP de São Carlos, pela iniciativa de Bernhard Gross e colaboradores⁹, tem mostrado que este tipo de equipamento pode ser uma poderosa ferramenta¹⁰ no estudo de

armazenagem e transporte de cargas em dielétricos, assim como no estudo da emissão secundária dos elétrons nos sólidos¹¹. Desta forma, neste trabalho são apresentados os resultados obtidos para as curvas de emissão (σ , η e δ) em função da energia do feixe incidente (E) para o Teflon-FEP[®] e a Platina, de forma a confrontar um polímero com um metal. Estes resultados não são encontrados na literatura da forma como apresentados neste artigo, onde todos os coeficientes e parâmetros associados a emissão (σ_M , δ_M , E_I e E_{II}) são determinados. É possível que o fato de se encontrar alguns dos resultados apresentados neste trabalho de forma parcial em outras publicações^{4,5 e 8} se deve as dificuldades experimentais. No caso da Platina, por exemplo, o intervalo de energia entre os valores de rendimento unitário é grande, enquanto para o Teflon-FEP[®] existe a dificuldade natural em descarregar a amostra. Estas duas dificuldades exigem um equipamento de medida que contenha características adequadas a este tipo de medida. A grande vantagem em conseguir todos os coeficientes de emissão, como são obtidos aqui, é que se pode determinar as curvas de rendimento reduzido, isto é, δ/δ_M , em função de E/E_M , onde E_M é a energia associada ao máximo rendimento δ_M . Com este trabalho se quer mostrar uma das alternativas do uso deste acelerador de elétrons, e dar uma pequena contribuição que auxilia à compreensão do fenômeno da emissão secundária.

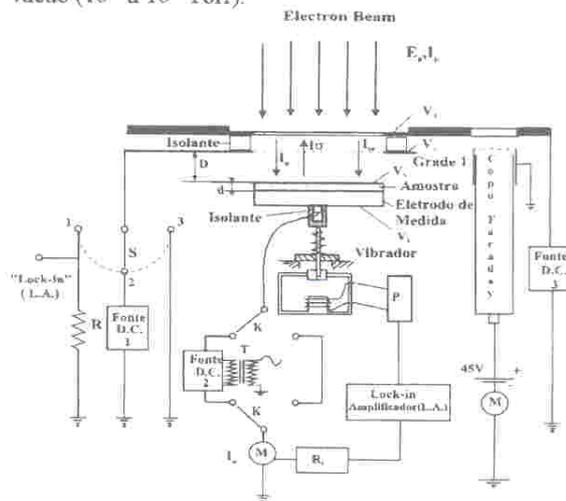
O SISTEMA DE MEDIDA

O nosso arranjo experimental^{9, 12} (Fig.1), que consiste em uma versão modificada do arranjo usado por Gross e Hessel^{11,13} apresenta como características:

- O uso de um feixe de elétrons varrendo uma área maior que o diâmetro da amostra, em lugar de um feixe colimado e/ou focalizado, onde a corrente elétrica do feixe de elétrons que incide na amostra é medida diretamente de um copo de Faraday.
- A geometria da grade-alvo é plana^{5,6}, sua transparência é da ordem de aproximadamente 80% e inexistente coletor. Por esta razão a corrente medida é sempre obtida no medidor da parte traseira do eletrodo suporte da amostra alvo. Este pode ser polarizado positivamente, negativamente ou aterrado, através de um sistema de chaves com facas.
- A amostra é depositada sobre um eletrodo que pode vibrar com oscilações de pequena amplitude, de modo que a técnica do capacitor vibrante¹⁴ pode ser utilizada na determinação do potencial de superfície (V_S).

Além disso devemos notar que o descarregamento da amostra é feito utilizando o próprio feixe de elétrons e em condições que permitem a atuação do "mecanismo de auto regulação"¹¹. Devemos notar também que a uniformidade do potencial de superfície, depois de descarregar a amostra, é garantido pelo "mecanismo de auto regulação", e que os elétrons terciários gerados são removidos polarizando convenientemente a tampa com abertura que fica acima da amostra. Finalmente salientamos que a função da grade neste arranjo é uniformizar o campo elétrico entre a grade e a superfície da amostra e evitar a ação desfocalizadora da abertura da tampa sobre a amostra.

O vácuo em nosso sistema de medida foi mantido na ordem de 10^{-7} Torr através de uma bomba rotativa (25m³/hora), responsável pelo baixo vácuo (10^{-3} Torr), e uma bomba difusora com armadilha de Nitrogênio para garantir um vácuo livre de impurezas de óleo proveniente da bomba difusora. Esta última é a responsável pelo alto vácuo (10^{-5} a 10^{-7} Torr).



Legenda:

- | | |
|---|---|
| V_S : Potencial de Superfície | d : Espessura da amostra |
| V_1 : Potencial de polarização da grade I | I_m : Corrente medida |
| V_2 : Potencial de polarização do eletrodo | R : Resistor de medida do sinal da grade |
| I_p : Corrente incidente dos elétrons primários | D : Distância entre superfície e grade I |
| I_g : Corrente de emissão | M : Eletrômetro (Keitley Meters) |
| E_p : Energia Primária | V_T : Potencial de polarização da tampa |
| R_E : Registrador | T : Capacitor acoplador (alta isolamento) |
| P : Gerador de Sinal para a bobina | |

Fig. 1- Diagrama esquemático do sistema de medida.

O MÉTODO DE MEDIDA

Com base nas correntes indicadas na Fig. 1 temos:

$$I_m = I_p + I_\sigma + I_{re} \quad (1)$$

Se I_g e I_η forem, respectivamente, as correntes associadas aos secundários emitidos e aos retroespalhados, então $I_\sigma = I_g + I_\eta$.

Em termos dessas correntes, os coeficientes de emissão total (σ), retroespalhamento (η) e emissão secundária (δ) podem ser redefinidos como segue:

$$\sigma = \frac{I_\sigma}{I_p}, \quad \eta = \frac{I_\eta}{I_p}, \quad \delta = \frac{I_\delta}{I_p} \quad (2)$$

Como estes coeficientes são todos positivos, foi preciso introduzir o sinal negativo em cada uma das expressões acima, pois as correntes I_σ , I_g e I_η tem sentido contrário ao da corrente I_p .

Através de dois destes coeficientes, pode-se obter o terceiro a partir da relação:

$$\sigma = \delta - \eta \quad (3)$$

Caso o potencial de superfície V_s seja negativo e a grade 1 aterrada ($V_1 = 0$), podemos reescrever (1) como:

$$I_m = I_p + I\sigma, \text{ pois } I_{re} = 0 \quad (4)$$

Nesta situação, o coeficiente σ pode ser expresso como:

$$\sigma = 1 - \frac{I_m}{I_p} \quad (5)$$

Se a traseira da amostra na Fig. 1 for polarizada a um potencial V_2 , a energia do elétron primário na superfície de incidência (energia efetiva) será dada por $E = E_p + eV_2$. Se a amostra for um dielétrico, esta energia pode ser expressa ainda como $E_e = E_p + e(V_2 + Q(t) / C)$, onde Q é a carga que o dielétrico adquire durante a irradiação e C a capacitância da amostra.

Se se fixar $V_2 < 0$, mantendo-se $V_1 = 0$ e se utilizar o método do pulso⁹, com E_p e I_p fixos, pode-se determinar I_m para a energia efetiva correspondente.

Com este valor de I_m , pode-se determinar σ através da equação 5. Fixando inicialmente $E_1 < E_p < E_{II}$, e próximo de E_{II} , e supondo que a amostra esteja descarregada inicialmente, é possível determinar, variando V_2 , a seção da curva σ em função de E entre E_1 e E_{II} . Entre uma medida e a outra, a amostra deve ser aterrada e irradiada novamente pelo feixe para ser descarregada.

Para determinar σ correspondente a $E > E_{II}$, basta aterrar a amostra e fazer $E_p > E_{II}$. Além disso deve-se aplicar uma contra polarização na grade 1 de mais 10V para garantir que todos os emitidos alcançaram a grade 1.

O valor de σ é determinado pela equação 5. A energia dos elétrons incidentes neste caso é igual a E_p . O valor de σ , determinado desta forma corresponde a fração de elétrons secundários mais os retro espalhados que conseguem deixar a amostra. Do valor de σ obtido pela equação. 5, pode-se obter o coeficiente de retroespalhamento (η). Se a grade 1 for suficientemente negativa podemos ter uma situação em que todos os secundários emitidos (ou seja, aqueles emitidos com energia inferior a 50eV) acabam retornando para a amostra. Se isto acontecer, teremos $\delta=0$ e da equação 3, obtemos η . Ao aplicarmos $V_1-V_2=-50$ Volts (que é a diferença de potencial necessária para chamar de volta à superfície todos os secundários emitidos) e usando a equação 5 é possível então levantar a curva η em função E . Uma vez conhecidos η e σ pode-se obter δ a partir da equação 3.

RESULTADOS

Com o arranjo utilizado em nosso estudo¹² foi possível determinar todos os valores dos coeficiente de emissão em função da energia dos incidentes para o Teflon-FEP[®] e a Platina (figuras 2 e 3). Pode-se notar que existem duas energias associadas ao fato do rendimento ser unitário, denominadas de 1^o e 2^o ponto de cruzamento. Esta é a principal razão para se especificar a que coeficiente a curva de emissão se refere. Como pode ser observado, os valores do 2^o ponto de cruzamento para a

Platina, tanto para σ como para δ , são bem maiores do que para o Teflon-FEP[®]. A energia associada ao 1^o ponto de cruzamento é praticamente a mesma para os dois materiais. As curvas de emissão relativas a η apresentam comportamento distinto para a Platina e o Teflon-FEP[®]. Enquanto no primeiro material seu valor cresce, no segundo decresce com a energia dos elétrons incidentes..

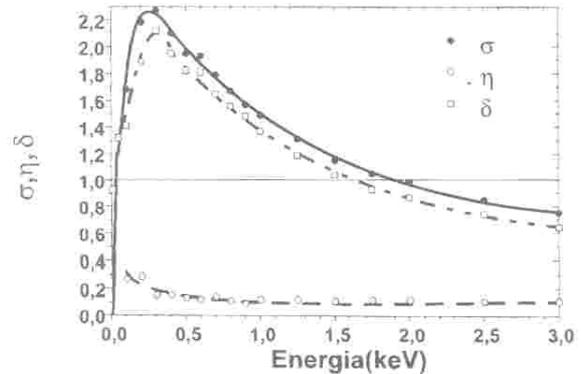


Fig. 2 - Curvas dos coeficientes de emissão em função da energia. Amostra de Teflon-FEP[®] (d=50 μm).

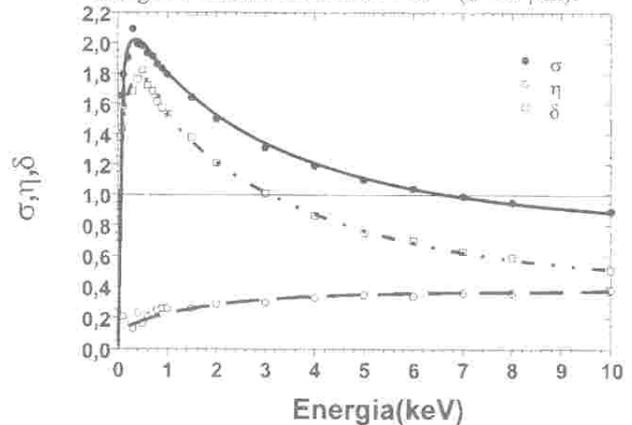


Fig. 3 - Curva dos coeficientes de emissão em função da energia. Amostra de Platina (d=100 μm).

As tabelas a seguir fornecem os valores mais expressivos que podem ser obtidos das curvas de emissão para os dois materiais caracterizados.

Tabela 1 - Parâmetros obtidos da curva σ em função de E

Material	σ_M	E_M (eV)	E_I (eV)	E_{II} (eV)
Platina	$2,09 \pm 0,05$	600 ± 25	20 ± 5	7000 ± 25
Teflon-FEP [®]	$2,27 \pm 0,05$	300 ± 25	15 ± 5	1850 ± 25

Tabela 2 - Parâmetros obtidos da curva δ em função de E

Material	δ_M	E_M (eV)	E_I (eV)	E_{II} (eV)
Platina	$1,95 \pm 0,05$	500 ± 25	20 ± 5	3000 ± 25
Teflon-FEP [®]	$2,12 \pm 0,05$	300 ± 25	15 ± 5	1600 ± 25

Apesar de todas as diferenças apontadas para as curvas de emissão, esperava-se que ao construir a curva de rendimento reduzido ($\delta/\delta_M \times E/E_M$) para os dois materiais, também se encontrasse curvas distintas (Fig. 4). Para nossa surpresa, verificou-se que estas curvas são praticamente as mesmas para a Platina e o Teflon-FEP[®]. Desta forma, foi possível traçar uma curva média para os valores experimentais e representá-los através de uma única curva. De uma certa forma, podemos afirmar que os materiais estudados devem apresentar um mecanismo semelhante em termos da emissão secundária. Este resultado é importante sob o ponto de vista de se propor algum novo modelo que descreva a emissão secundária nestes materiais.

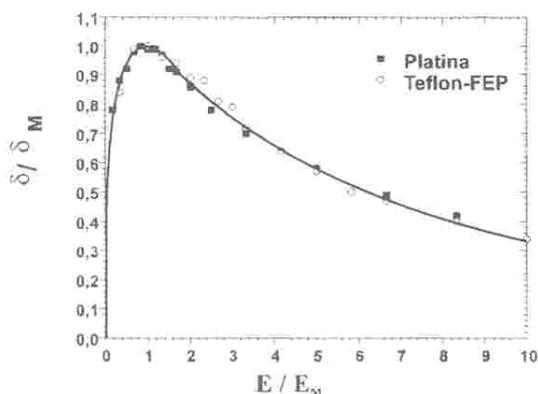


Fig. 4- Curva de rendimento reduzido δ/δ_M em função de E/E_M para $[(V_1 - V_2) - V_S] = +10V$ e $V_2 = 0$.

CONCLUSÃO

O acelerador de elétrons utilizado em nossas medidas permitiu construir as curvas de emissão e de rendimento reduzido, e com isto extrair os parâmetros mais significativos destas curvas para a Platina e o Teflon-FEP[®]. O fato das curvas de rendimento reduzido serem representadas praticamente por uma única curva, aponta para um possível mecanismo da emissão secundária dos elétrons semelhante para o Teflon-FEP[®] e a Platina.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao CNPq e FAPESP pelo suporte financeiro e aos Professores Bernhard Gross, Roberto Hessel e Guilherme F.L. Ferreira por terem encorajado a realização destas medidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DEKKER, A.J. Secondary electron emission. In: **Solid State Physics**, New York: Academic Press Inc., 1958. p.251-315.
2. DEKKER, A.J. Secondary electron emission. In: **Solid state physics**. London and Basing stoke: Mac Millan & Co, c1952, p. 418-445

3. KOLLATH, R. Secondary electron emission of solids induced by electron bombardment. In: **Encyclopedia of Physics**, Berlin: Springer, 1956. P.232-303. Volume 21.
4. SEILER, H. Secondary electron emission in the scanning electron microscope. **J. Appl. Phys.** v.54, n.11, p.R1-R18, 1983.
5. STERNGLASS, E.J. Backscattering of kilovolt electrons from solids. **Phys. Rev.** v.95, n.2, p.345-358, 1954.
6. WHETTEN, N.R. Secondary electron emission. In: **Methods of experimental physics**. New York: Academic Press, 1967. P.75-78. Volume 4, Parte A
7. WHETTEN, N.R., LAPONSKY, A.B. Energy distribution of secondary electrons from MgO single crystals. **Phys. Rev.** v.107, n.6, p.1521-1524, 1957.
8. MATSKEVICH, T.L. Secondary electron emission of some polymers. **Fiz. Tverd. Tela Akad. Nauk., SSSR**, v 1, p.277, 1959.
9. HESSEL, R. **Construção de um acelerador de elétrons e sua utilização para o estudo da emissão secundária em materiais dielétricos**. São Carlos: USP-IFQSC, 1990. 220p. Tese de doutorado.
10. GROSS, B., MULTHAUPT, R.G. A tribute to Gerhard M. Sessler on the occasion of his Sixtieth Birthday. **IEEE Trans. El. Ins.**, v.26, n.1, p.3-14, 1981.
11. HESSEL, R., GROSS, B. Escape depth of secondary electrons from electron-irradiated polymers. In: **IEEE Trans. El. Ins.**, v.27, n.4, p.741-746, 1992.
12. PINIÃO, C.A.F. **Um novo arranjo para determinar os coeficientes de emissão e a distribuição de energia dos elétrons secundários emitidos por sólidos**. São Carlos: USP-IFQSC, 1996. 183p. Tese de doutorado.
13. GROSS, B., HESSEL, R. Electron Emission From Electron-irradiated Dielectrics. **IEEE Trans. El. Ins.**, v.26, n.1, p.18-25, 1991.
14. MORENO, R.A., GROSS, B. Measurement of potential buildup and decay, surface charge density, and charging currents of corona-charged polymer foil electrets. **J. Appl. Phys.** v.47, n.8, p.3397-3402, 1976.