

PERDAS DE ENERGIA DE PARTÍCULAS ALFA EM
FILMES FINOS DE MULTICAMADAS

Bijoy K. Patnaik, Carlos Vieira B. Leite e
Gilson B. Baptista.

Departamento de Física, PUC-RJ

Filmes de alumínio com camadas finas de ouro ou bismuto superpostas, Au/Al/Au e Bi/Al, foram irradiados com partículas alfa de 2 MeV e as partículas espalhadas a 90° em relação ao feixe incidente e transmitidas através dos filmes foram contadas. A partir da distribuição de energia das partículas detectadas em função da orientação do alvo obtivemos informações a respeito da perda de energia do íon ao longo das trajetórias das partículas espalhadas em diversas profundidades do filme. Esses resultados foram comparados com cálculos teóricos que mostraram uma excelente concordância.

Perda de energia, filmes finos, multicamadas

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da perda de energia dos íons ao atravessar a matéria é de fundamental importância nas técnicas nucleares de análise da composição de materiais tais como RBS (espalhamento Rutherford), ressonância nuclear e nas técnicas que utilizam feixes iônicos para produzir modificações nas propriedades de materiais entre as quais a implantação iônica é mais bem conhecida. Recentes inovações¹ nas medidas de perda de energia foram introduzidas pelos autores possi-

bilitando o aumento da sensibilidade na obtenção de dados experimentais. O método consiste na variação da orientação do alvo em relação ao feixe primário e medir as energias das partículas espalhadas e transmitidas através do filme. O presente trabalho é uma aplicação deste método para a análise de filmes finos de multicamadas superpostas, tais como Au/Al/Au e Bi/Al, onde as camadas de Au e Bi são relativamente mais finas do que as de Al.

2. MÉTODO EXPERIMENTAL

Filmes de alumínio com camadas finas de ouro depositadas sobre as duas faces ou de bismuto em somente uma das faces, foram irradiados com partículas alfa de 2 MeV proveniente de um acelerador Van de Graaff. As partículas espalhadas a 90° , ao serem transmitidas através dos alvos, foram contadas por um detetor de barreira de superfície, acoplado através da eletrônica rápida usual acoplada a um analisador de multicanal. A resolução do sistema de análise é da ordem de 13 keV. A orientação do alvo em relação ao feixe de partículas incidentes foi variada de 20° a 70° , em intervalos de 5° . A câmara de espalhamento foi mantida sob pressão inferior a 10^{-3} Pa. Um "dedo frio" instalado próximo à câmara de espalhamento foi utilizado para reduzir o conteúdo de carbono trazido pelo feixe de partículas carregadas e que era depositado sobre o alvo. Com um detetor semelhante ao mencionado anteriormente e colocado na posição diametralmente oposta, foi possível obter simultaneamente um espectro das partículas retroespalhadas para todas as orientações do alvo. As espessuras das diversas camadas de filmes foram determinadas através das energias das partículas alfa retroespalhadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Au/Al/Au:

Os espectros de energia das partículas alfa detectadas

após terem sido espalhadas a 90° e transmitidas através do filme de Au/Al/Au para diversos ângulos de orientação do alvo em relação ao feixe de partículas são apresentados na fig. 1. Os espectros mostrados foram superpostos e normalizados em relação ao pico de menor energia apenas para facilitar a comparação. Por intermédio da cinemática de colisão e da perda de energia das partículas alfa nos filmes, calculamos as energias das partículas emergentes após espalhamento nas diversas camadas do filme. Este procedimento possibilita a identificação da origem das estruturas observadas nos espectros experimentais.

Os dois "picos" que correspondem a maior energia nos espectros são devido ao espalhamento de partículas alfa nas duas camadas de ouro. Para um deles o filme do alumínio é atravessado após o espalhamento na primeira camada de ouro. No outro a partícula alfa atravessa o filme de alumínio ao longo da trajetória do íon incidente e é finalmente espalhado na camada posterior de ouro. Ao variar a orientação do alvo de 20° a 70° em relação ao feixe incidente, a separação em energia entre os dois picos diminui até a sua convergência a um pico único para um ângulo próximo de 45° e a partir do qual os picos novamente se afastam. A coincidência em energia das partículas espalhadas pelas camadas de ouro na superfície anterior e posterior ao filme de alumínio é devida ao efeito de compensação cinemática das perdas de energia ao longo das duas trajetórias.

Quanto ao alumínio, a distribuição de energia das partículas alfa espalhadas desde a primeira camada até a última, também se reduz a uma única energia no ângulo de compensação cinemática que ocorre em torno de 35° . Este fato pode ser verificado pelo estreitamento máximo do pico de baixa energia que ocorre neste ângulo nos espectros da fig. 1. A largura mínima observada nessa orientação é essencialmente devida à dispersão estatística em energia das partículas ao atravessar o alvo e a resolução instrumental de detecção.

Ao variar a orientação do alvo em torno do ângulo correspondente à compensação cinemática, ϕ_c , a distribuição em energia se alarga a medida que se afasta desse ângulo

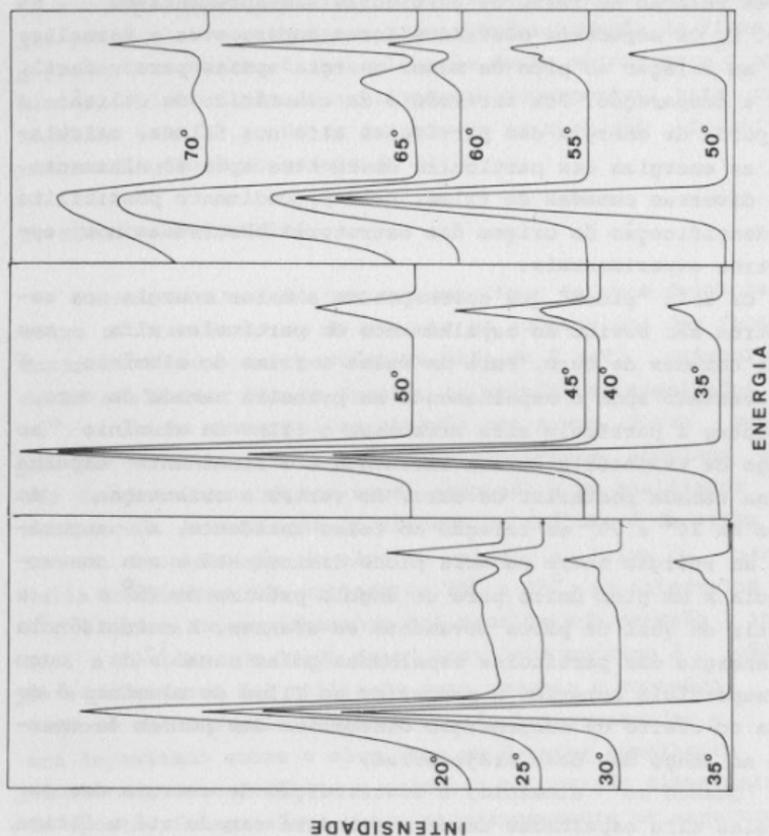


Figura 1 - Espectros superpostos de energia das partículas alfa espalhadas a 90° e transmitidas através de filmes de Au/Al/Au a diversos ângulos de orientação do alvo.

A largura observada neste caso contém a contribuição cinemática, além da dispersão estatística e da resolução instrumental. A diferença na largura bem como a assimetria na distribuição de energia observada nos dois picos oriundos do espalhamento nas duas camadas de ouro são devidas às diferentes espessuras atravessadas pelas partículas alfa ao longo dos dois caminhos, mencionados anteriormente.

Bi/Al:

Uma análise similar à descrita anteriormente foi realizada para o alvo de Bi/Al. Neste caso, além do pico do Al observamos somente um pico fino correspondente às partículas espalhadas na camada de Bi. Por intermédio de uma rotação do alvo por 180° , foi possível obter os espectros de energia das partículas espalhadas pelas camadas de bismuto na superfície anterior e posterior ao filme de alumínio. Este procedimento simplifica a análise dos espectros sem problemas de interferência de picos como foi observado no caso do filme de Au/Al/Au. Os valores médios das energias referidas acima, E_F e E_B respectivamente, obtidos a partir do centro do pico correspondente a maior energia nos espectros são mostrados na fig. 2, em função do ângulo de orientação do alvo.

Em seguida, essas mesmas energias foram calculadas através da simulação do processo de espalhamento nas configurações de Bi/Al e Al/Bi, com as espessuras das camadas obtidas através do espectro de energia das partículas retroespalhadas a 90° . Para estes cálculos, utilizou-se expressões analíticas de taxas de perda de energia em função da energia incidente segundo às teorias de Ziegler et al² e de Montenegro et al³. A distribuição cinemática das energias E_F e E_B , assim obtidas, em função de ângulo do alvo para os filmes de Bi/Al de espessura 14,9 e 87,7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ são mostradas na figura 2, superpostas com seus valores médios obtidos experimentalmente. Os resultados calculados estão identificados pelos numerais 1 e 2 para as duas teorias mencionadas. A faixa de distribuição de energia para uma dada orientação do alvo, mostrada na figura, representa o alargamento cinemático de-

vido ao espalhamento nas diversas profundidades da camada de bismuto. Esse alargamento cinemático se torna desprezível num ângulo de orientação do alvo aproximadamente igual a $43,5^\circ$ onde ocorre a compensação cinemática. Pela distribuição de energia observada experimentalmente, o ângulo onde ocorre a largura mínima do pico do Bi é próximo deste valor.

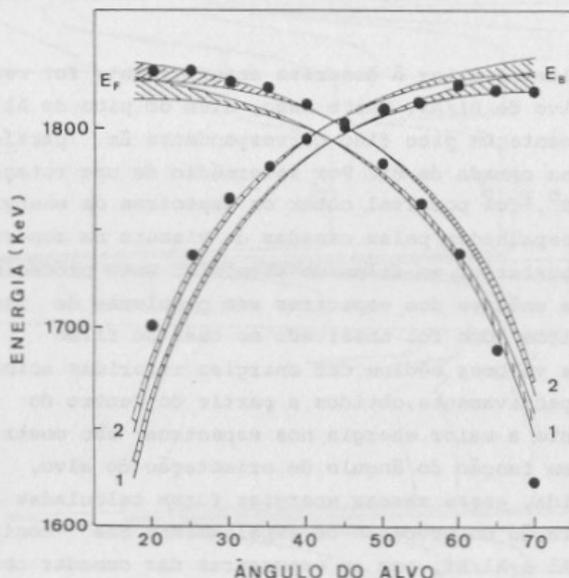


Figura 2 - As energias de partículas alfa de 2.0 MeV, E_F e E_B , transmitidas através de filmes de Bi/Al após espalhamento a 90° na camada de Bi anterior e posterior ao filme de Al respectivamente, em função do ângulo de orientação do alvo. \circ - valores médios experimentais; valores calculados usando (dE/dx) dados por: Ziegler --- 1; Montenegro et al --- 2.

4. COMENTÁRIO FINAL

Os dados obtidos fornecem simultaneamente informações sobre perdas de energia das partículas alfa atravessando es-

sencialmente o filme de alumínio, antes ou depois de serem espalhadas na camada de Bi, em função das diversas espessuras atravessadas. A partir desses valores, as taxas médias de perda de energia ao longo das duas trajetórias seguidas pelas partículas alfa podem ser calculadas. No entanto, pretendemos neste trabalho demonstrar a aplicação do método de análise aos filmes de multicamadas superpostas. A comparação entre os valores obtidos para as energias das partículas emergentes dos filmes de Bi/Al e os valores calculados fala por si sobre a qualidade e a sensibilidade do método.

5. BIBLIOGRAFIA

1. G.B. Baptista, C.V. Barros Leite e B.K. Patnaik, a ser publicado.
2. J.F. Ziegler em "The stopping power and ranges of ions in matter, J.F. Ziegler (Ed.), Pergamon Press (1977), vol. 4.
3. E.C. Montenegro, S.A. Cruz e C. Vargas-Aburto, Phys. Lett. 92A (1982) 195.

(Apoio FINEP, CNPq e IAEA)