

DETERMINACION DE RUGOSIDADES DE PELICULAS DELGADAS MEDIANTE TECNICAS DE HACES IONICOS

J.C. Eckardt, G.H. Lantschner

Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica, San Carlos de Bariloche, CC439, 8400 San Carlos de Bariloche.

En una serie de experimentos de colisiones de partículas atómicas y nucleares con la materia condensada, las inhomogeneidades en espesor de los blancos producen indeterminaciones en diversos tipos de mediciones.

Presentamos aquí algunas formas sencillas de acotar las citadas inhomogeneidades de haces iónicos:

a) Midiendo la pérdida de energía ΔE y la desviación Ω standard del espectro de pérdida de energía de un dado tipo de iones en la lámina en cuestión.

b) Mediante la determinación de las pérdidas de energía y la desviación standard de H^+ y He^+ en la folia a analizar

c) Mediante la determinación de los frenamientos y desviaciones standard de protones y moléculas-ión hidrógeno.

Se aplican los tres métodos a láminas de Mn y se encuentra que los tres dan resultados coherentes.

Cuando se realizan experimentos de interacción de haces iónicos con blancos sólidos delgados, se tropieza frecuentemente con el inconveniente de que posibles inhomogeneidades en el espesor o densidad de los mismos afectan las magnitudes a medir. Presentamos aquí algunas formas sencillas de acotar las inhomogeneidades de láminas delgadas mediante el análisis de los espectros de energía de haces energéticos de H^+ y He^4 luego de atravesar las mismas. A título de ejemplo las aplicamos a folias de Mn.

Para realizar las mediciones se utilizó un equipo experimental descrito previamente¹. Las folias de Mn fueron obtenidas en este laboratorio siguiendo un procedimiento standard de evaporación en alto vacío².

Si tenemos una folia con una cierta distribución de espesores, un espesor promedio \bar{x} y una desviación standard σ_x de esa distribución, podemos definir un coeficiente de rugosidad $\rho = \sigma_x/\bar{x}$. En ese caso, tenemos que las posibles inhomogeneidades contribuyen al ancho del espectro medido de la siguiente manera (ver por ej. Beisenbacher³):

$$\Omega^2 = \omega^2 + \rho^2 \Delta E^2 \quad (1)$$

donde Ω es la desviación standard del espectro medido, ω el *stragglng* debido a la estadística de los procesos de colisión en el sólido en cuestión para el espesor x , y el segundo término es la contribución al *stragglng* debido a la posible inhomogeneidad. ΔE es el promedio de la energía perdida por los iones al atravesar la folia. De la expresión (1) se desprende inmediatamente una

posibilidad de obtener una cota superior de ρ para la folia en cuestión: Dado que $\omega^2 > 0$ obtenemos la siguiente desigualdad:

$$\Omega^2 > \rho^2 \Delta E^2$$

de donde

$$\rho < \frac{\Omega}{\Delta E} \quad (2)$$

Analizando la ec. (1) notamos que las contribuciones relativas del 1er. y 2do. término para el caso de un haz de protones, dependen de su energía. Esto se debe a que ω crece monótonamente hasta tender a un valor constante (régimen de Bohr)⁴, mientras que ΔE alcanza un máximo para una energía de protones de alrededor de 100 keV⁴. De esto se deduce que se obtienen cotas más precisas de ρ midiendo con protones de menor energía. Esto se puede observar en la Tabla I, donde se muestran cotas para ρ obtenidas mediante la desigualdad (2) con protones de 100 keV y 200 keV sobre folias de Mn de 210 Å de espesor.

Si en lugar de usar un haz de protones se usa un haz de iones de helio, a 200 keV el incremento en ΔE para un haz de He respecto del ΔE para protones es mayor que el incremento en el *stragglng* ω , por lo que de la ec. (1) se ve que las inhomogeneidades afectan más a los espectros medidos con iones de helio que a los medidos con protones. Esto permite obtener, mediante la expresión (2), una cota superior de ρ más aproximada. En la Tabla I se muestra una cota superior de

ρ obtenida de esta manera.

$\rho < 0.18 \pm 0.01$ aplicando ec. 2 para H^+	de 200 keV
$\rho < 0.15 \pm 0.01$ aplicando ec. 2 para H^+	de 100 keV
$\rho < 0.13 \pm 0.01$ aplicando ec. 2 para He^+	de 200 keV
$\rho < 0.12 \pm 0.01$ aplicando ec. 2 para H_2^+	de 200 keV
$\rho < 0.11 \pm 0.02$ aplicando ec. 3 para He^+ y H^+	de 200 keV
$\rho < 0.8 \pm 0.03$ aplicando ec. 4 para H_2^+ de 200 keV y H^+	de 100keV

Tabla I

Si tenemos la posibilidad de medir con haces de iones de helio y de protones, podemos aplicar la ec.(1) para ambos haces a una misma energía tal que el frenamiento para iones de He difiera considerablemente del frenamiento para protones, por ejemplo 200 keV, obteniendo:

$$\Omega_{He}^2 = \omega_{He}^2 + \rho^2 \Delta E_{He}^2$$

$$\Omega_H^2 = \omega_H^2 + \rho^2 \Delta E_H^2$$

restando

$$\Omega_{He}^2 - \Omega_H^2 = \omega_{He}^2 - \omega_H^2 + \rho^2 (\Delta E_{He}^2 - \Delta E_H^2)$$

Cabe esperar que $\omega_{He}^2 - \omega_H^2 > 0$. No conocemos cuanto vale esta diferencia, sólo sabemos que a altas energías la teoría de Bohr predice que $\omega_{He}^2 = 4\omega_H^2$ y que esta diferencia disminuye al disminuir la energía⁵. Entonces obtenemos nuevamente una desigualdad.

$$\Omega_{He}^2 - \Omega_H^2 > \rho^2 (\Delta E_{He}^2 - \Delta E_H^2)$$

de la cual podemos obtener una cota superior de ρ bastante aproximada:

$$\rho < \left(\frac{\Omega_{He}^2 - \Omega_H^2}{\Delta E_{He}^2 - \Delta E_H^2} \right)^{1/2} \quad (3)$$

En la Tabla I se muestra la cota superior de ρ para las mismas folias de Mn, obtenida con esta expresión, utilizando haces de $^4He^+$ y de H^+ de 200 keV.

Hasta aquí hemos presentado diversas maneras de obtener una cota superior de ρ . Veamos ahora una manera de obtener el valor de ρ . Si tenemos folias lo suficientemente delgadas como para poder detectar iones moleculares de hidrógeno luego de haber hecho incidir sobre la lámina un haz de H_2^+ , podemos medir su espectro de energía

y compararlo con el correspondiente al de un haz de protones de igual velocidad aplicando a cada espectro la expresión (1)

$$\Omega_M^2 = \omega_M^2 + \rho^2 \Delta E_M^2$$

$$\Omega_p^2 = \omega_p^2 + \rho^2 \Delta E_p^2$$

además sabemos que⁶

$$\omega_M = \sqrt{2} \omega_p \quad (4)$$

Multiplicando la segunda expresión por 2 y restando obtenemos finalmente:

$$\rho = \left(\frac{\Omega_M^2 - 2 \Omega_p^2}{\Delta E_M^2 - 2 \Delta E_p^2} \right)^{1/2} \quad (5)$$

Señalamos aquí que posibles efectos de correlación entre los protones constituyentes de la molécula durante su pasaje por la lámina pueden afectar a la relación (4)⁶. Efectivamente se detectaron efectos de este tipo en el frenado de moléculas de hidrógeno a menores energías que las presentes⁷. Sin embargo la expresión (5) muestra ser poco sensible a pequeñas variaciones en la relación (4). En la Tabla I mostramos el valor del coeficiente de rugosidad ρ obtenido mediante la expresión (5) para las folias de Mn utilizando haces de H_2^+ de 200 keV y de H^+ de 100 keV. Comparando este valor de ρ con las cotas superiores obtenidas por los anteriores métodos descriptos, vemos que la cota que más se aproxima al valor de ρ es la obtenida mediante la expresión (3), que es de aplicación relativamente fácil. Cabe aclarar que la aplicación de la ec. (5) es más complicada que la de las expresiones anteriores, puesto que requiere trabajar a dos energías ($E_p = 1/2 E_M$) y, lo que es más difícil, medir espectros con proyectiles moleculares que sólo permiten obtener una pobre estadística debido al bajo coeficiente de transmisión.

Concluyendo: hemos presentado métodos de acotar y evaluar la inhomogeneidad de láminas delgadas que resultan especialmente útiles en experimentos de interacción de haces iónicos sólidos delgados pues permiten la realización del análisis in situ sin requerimiento de equipo adicional.

REFERENCIAS

- 1) J.C.Eckardt, G. H. Lantschner, M.M. Jakas and V.H. Ponce, Nucl. Instrum. Methods B2, 168, (1984).
- 2) A. Valenzuela, J.C.Eckardt, Rev. Sci. Instrum. 42, 127, (1971).
- 3) F. Besenbacher, J.U. Andersen E. Bonderup, Nucl. Instrum. Methods 168, 1, (1980).
- 4) J.C. Eckardt, Phys. Rev. A18, 426 (1978).
- 5) W.H. Escovitz, T.R. Fox, R.Levi-Setti, IEEE Trans. Nucl.Sci., NS-26, 1395, (1979).
- 6) J.C.Eckardt, G.H. Lantschner, N.R. Arista, R.A. Baragiola, J.Phys. C11, L851, (1978).

PROPIEDAD CON.CET	
Programa de Apoyo a	
Bibliotecas	
5/12/92	
Fecha rec.	
BIBLIOTECA	ALA
Nº INV.	