

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS DEFECTOS CRISTALINOS DE LOS SOLIDOS SOBRE LA RETRODISPERSION BETA

G. Capote Rodríguez, L. Calderín Hidalgo y L. F. Desdín García
Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN)

RESUMEN

La interacción de la radiación con los defectos en sólidos cristalinos continúa siendo una línea de investigación por la gran trascendencia práctica y académica de la misma. En este trabajo se presentan los resultados de una serie de experimentos llevados a cabo para estudiar la influencia que ejercen distintos tipos de defectos sobre el coeficiente de retrodispersión beta. El estudio fue llevado a cabo en muestras de cobre y aluminio y los tipos de defectos creados fueron vacancias (variando la temperatura) y dislocaciones (mediante deformación plástica). Los experimentos fueron realizados de forma tal que se obtuvo información de la interacción de la radiación beta sólo con vacancias, sólo con dislocaciones y con la combinación de ambos defectos. Los resultados demuestran que este tipo de radiación es sensible a los diferentes tipos de defectos y a su concentración.

ABSTRACT

The interaction of radiation with defects in crystal is important from the scientific and practical point of view. This investigation reports the results of different experiments carry out to study the crystal defects' influence on the beta backscattering coefficient. The study was undertaken using copper and aluminum samples and different types of defects: vacancy (changing the temperature) and dislocation (by plastic deformation). The experiment was carried out in such way that was possible to obtain information about the interaction of beta particles only with vacancy, only with dislocations and with both types of defects. The results show that this type of radiation is sensible to the different types of defects and its concentration.

INTRODUCCION

Una fracción considerable de las partículas beta que inciden sobre un material se dispersa a ángulos grandes. Este fenómeno se denomina retrodispersión beta y es usado con frecuencia para la medición del grosor de láminas finas, deposiciones y en el análisis de muestras compuestas por dos elementos [1,2].

La retrodispersión beta es comúnmente expresada como el coeficiente de retro- dispersión (R), el cual se define como la relación del número de partículas retrodispersadas (para una geometría dada) I_R entre el número de partículas incidentes sobre la superficie del material I_0 :

$$R = I_R/I_0 \quad (1)$$

El coeficiente R se incrementa con el aumento del espesor del material sobre el cual incide hasta que alcanza el valor de saturación (X_s), donde R depende en primer orden del número atómico (Z) del material sobre el cual incide la radiación beta. Esta dependencia puede ser expresada como [3]:

$$R = a Z^b \quad (2)$$

donde a y b son constantes.

Cuando el material sobre el cual inciden las partículas beta (o electrones) está compuesto por muchos elementos, la intensidad de la radiación retrodispersada se representa como una función del número atómico efectivo del material ($Z_{ef.}$). $Z_{ef.}$ se expresa como la suma de los Z de los elementos presentes en el material estudiado, pesado en base a sus concentraciones:

$$Z_{ef.} = \sum C_i Z_i \quad (3)$$

donde C_i es la fracción en peso y Z_i el número atómico de cada elemento i.

Basándose en la ecuación (3) muchos autores han considerado que las propiedades retrodispersantes de mezclas y compuestos son similares a las de un elemento puro con igual número atómico [4].

Sin embargo, se ha reportado [5] que en los metales R depende además del estado cristalino, por lo que variaciones de R pueden ser correlacionadas con cambios en la dureza del metal. En trabajos anteriores se demuestra la influencia de la dureza en la retrodispersión beta para aceros al carbono [6].

Además, la presencia de defectos puntuales y dislocaciones en el material pueden dar lugar a un efecto de segundo orden que altera el valor de R. Los defectos en los materiales influyen en el proceso de retrodispersión de las partículas beta porque en su entorno ocurre un cambio del potencial eléctrico y en la práctica se comportan como centros de dispersión.

En el presente trabajo se estudió la influencia de los defectos puntuales y las dislocaciones en el valor de R, tomando como modelo de cuerpo cristalino a dos metales. El estudio fue llevado a cabo en muestras de cobre y aluminio y los tipos de defectos creados fueron vacancias (variando la temperatura) y dislocaciones (mediante deformación plástica). Los experimentos fueron realizados de forma tal que se obtuvo información de la interacción de la radiación beta sólo con vacancias, sólo con dislocaciones y con la combinación de ambos defectos. Los resultados demuestran que este tipo de radiación es sensible a los diferentes tipos de defectos y a su concentración.

MATERIALES Y METODOS

El esquema del equipo utilizado en los experimentos se muestra en la Figura 1. El mismo está constituido por el blindaje de Pb, el cual tiene una abertura de 2 mm de diámetro para colimar la radiación beta de la fuente de $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ (2), con una actividad de 1.1 GBq (30 mCi). Un par de detectores Geiger-Muller (3) conectados en paralelo y a un radiómetro registran las partículas retrodispersadas. La muestra analizada (4) se coloca en el porta-muestra con una fina ventana plástica ($5\text{mg}/\text{cm}^2$) (5) para que la absorción de los electrones sea lo menor posible.

Para las mediciones realizadas a bajas temperaturas se diseñó una geometría de medición que comprende un sensor de temperatura (6) conectado a una Unidad de Temperatura Variable de la firma Bruker B-VT 1000 (rango 64-575 K). A través de un tubo (7) se hace pasar nitrógeno gaseoso, obtenido de la evaporación de nitrógeno líquido, permitiendo mantener a una temperatura constante la muestra analizada dentro de la caja de poliespuma (8). El tubo (9) se utiliza para reciclar el nitrógeno gaseoso y evitar la humedad que provoca el congelamiento de la superficie de los detectores y de la película plástica.

Para evitar las fluctuaciones provocadas por los cambios de temperatura, inestabilidad de los circuitos electrónicos y otras fuentes de error, se utilizaron mediciones relativas. La intensidad retrodispersada del Pb se midió periódicamente y el coeficiente de retrodispersión se reporta como $R = I_s/I_{\text{Pb}}$ (I_s , I_{Pb} - intensidad de la retrodispersión beta de las muestras estudiadas y del Pb, respectivamente).

Se confeccionaron 10 probetas de aluminio e igual cantidad de cobre. Las mismas se hicieron de metales "puros" y para evitar la presencia de tensiones residuales producidas por el maquinado del metal se sometieron a un proceso previo de alivio de tensiones. Posteriormente 9 de estas probetas se sometieron a diferentes tracciones, obteniéndose diferentes valores de deformación (Δl). En la Tabla 1 se reportan los diferentes Δl obtenidos para cada material. De las 10 probetas se cortaron 5 muestras en forma de cuadrados de dimensiones $17 \times 17\text{ mm}$.

El experimento contó de 2 partes:

1. Estudio de la dependencia de R vs. Δl (%). Se midió R tanto por la cara longitudinal, como por la transversal.
2. Estudio de la dependencia de R vs. T(K) para cada valor de Δl (%).

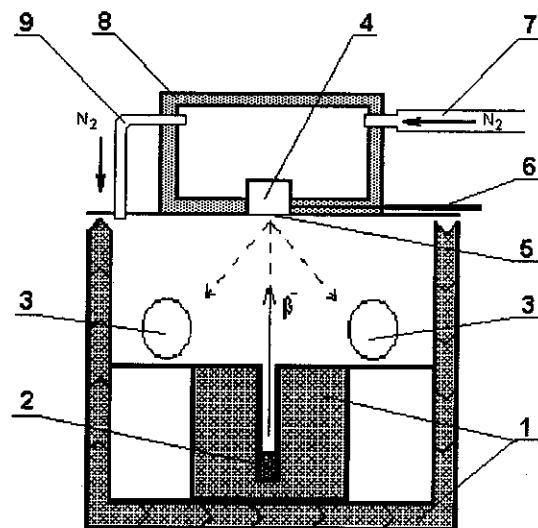


Figura 1. Esquema de la instalación de medición:

- (1) blindaje de plomo; (2) fuente beta $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$;
- (3) detectores Geiger-Muller; (4) muestra;
- (5) ventana de plástico ($5\text{ mg}/\text{cm}^2$);
- (6) sensor de temperatura; (7), (9) capilares para la circulación de nitrógeno gaseoso;
- (8) caja de poliespuma.

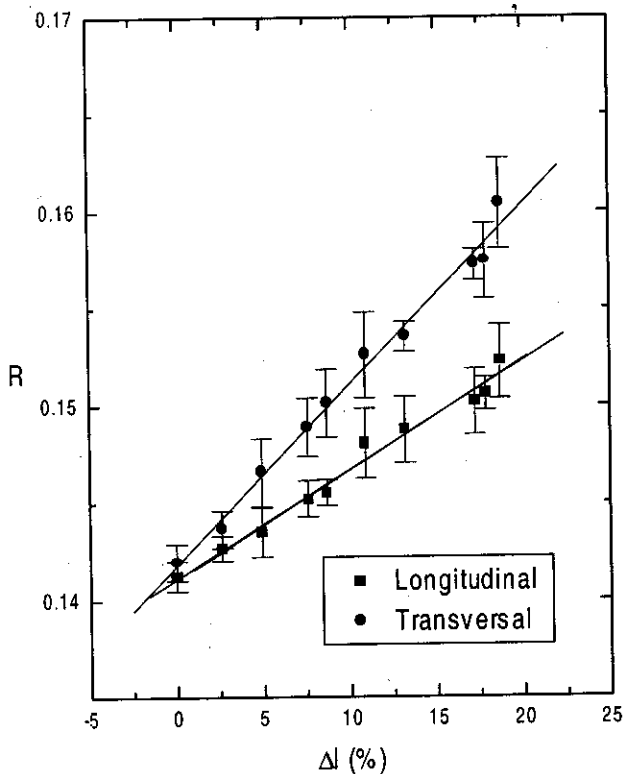
Tabla 1. Deformaciones de las muestras empleadas en el trabajo.

Muestras de Aluminio		Muestras de Cobre	
Muestra	Δl (%)	Muestra	Δl (%)
1	0	1	0
2	2.64	2	2.2
3	4.95	3	4.55
4	7.6	4	8.4
5	8.7	5	16.5
6	10.9	6	19.2
7	13.2	7	20.4
8	17.25	8	21.0
9	17.85	9	25.0
10	18.7	10	26.4

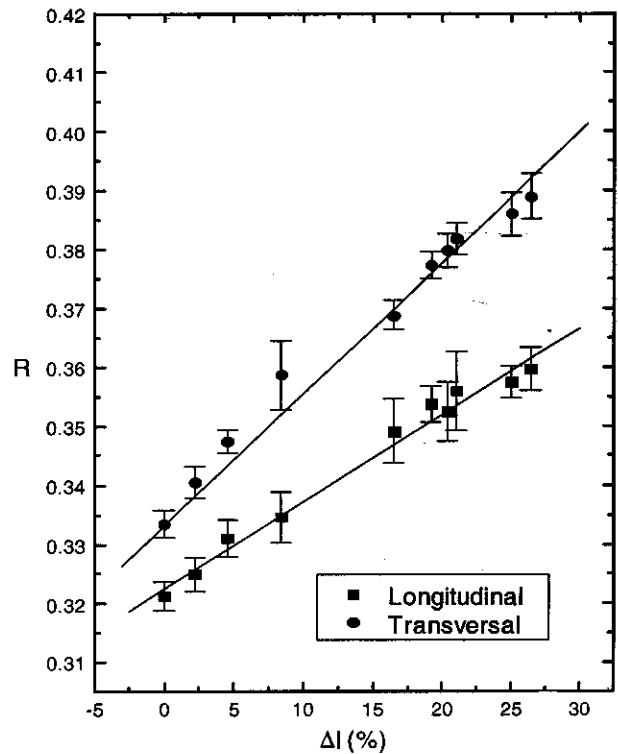
RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 2 se muestran los resultados de la dependencia de R con la elongación Δl para las

muestras de Al (a.) y para las muestras de Cu (b.). En cada gráfico aparecen dos rectas, una donde la medición de R se realizó por la cara longitudinal de la probeta (representada con el símbolo ■) y una segunda donde la medición se realizó por la cara transversal (representada por el símbolo ●). De los gráficos se observa que R es mayor para las muestras de Cu. Esto se debe a la fuerte dependencia que existe entre la intensidad de los electrones retrodispersados y del número atómico (Z) del material sobre el cual inciden ($Z_{Al}=13$; $Z_{Cu}=29$) (ver Ecuación (2)). Además, se observa que el coeficiente R es mayor para la medición realizada por la cara transversal de las muestras, lo que demuestra el reforzamiento del efecto por la cara transversal a donde se aplicó la deformación. Otro aspecto a señalar, es que la pendiente de las rectas para la medición realizada por la cara transversal es mayor para ambos casos, mostrando un aumento de la retrodispersión de las partículas beta para las muestras a las cuales se le aplicó una mayor deformación.



a)



b)

Figura 2. Dependencia de R con Δl para $T = 296$

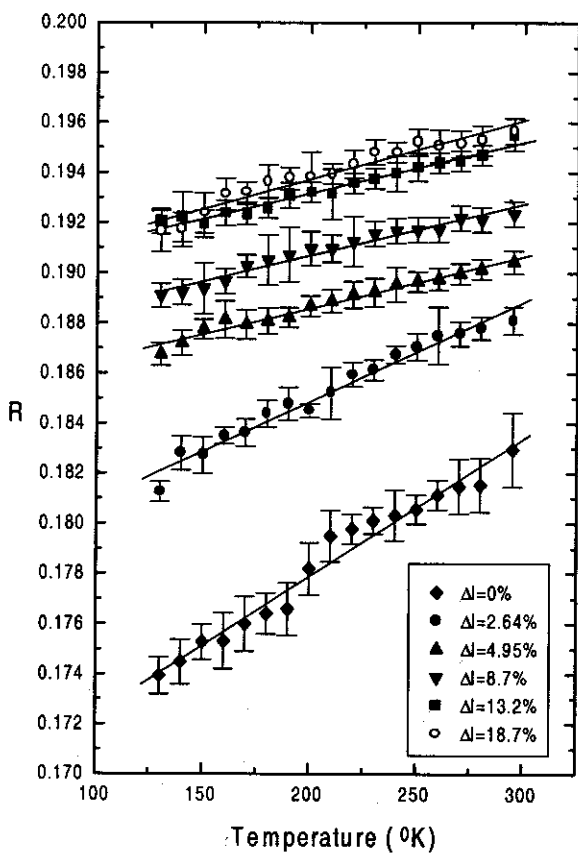
a) muestras de A

b) muestras de Cu.

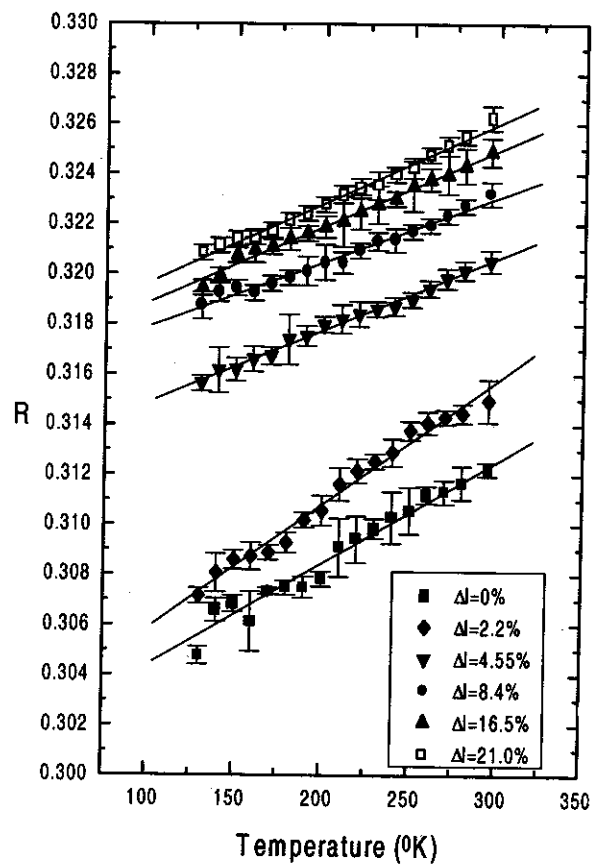
En la Figura 3 se muestra la dependencia de R con la temperatura (K) para los diferentes valores de Δl (%) y para los dos materiales empleados en este estudio (a). Al y b). Cu). En los gráficos se observa que para ambos materiales el coeficiente R aumenta con la temperatura y con el por ciento de deformación de las muestras. La dependencia de R con la temperatura en estos metales sometidos a deformaciones se corresponde con la distribución de Boltzmann que describe la dependencia de los defectos con la temperatura. El valor de la energía de formación de vacancias y átomos intersticiales obtenidos a partir de la dependencia R vs. T se

encuentra en correspondencia con lo reportado en la literatura [7].

La Figura 4 muestra la dependencia de R con Δl (%) para diferentes valores de T (K) [a). Al y b). Cu]. De las curvas se observa que R aumenta con la temperatura. La variación de R observada con el incremento de la deformación en la región de deformaciones plásticas se corresponde con el incremento del número de dislocaciones a medida que la deformación se acerca al límite de resistencia.



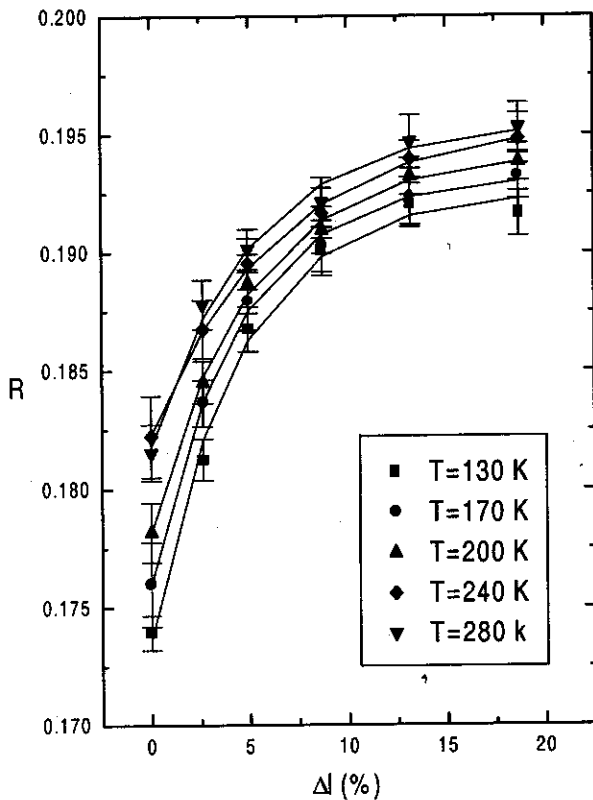
a)



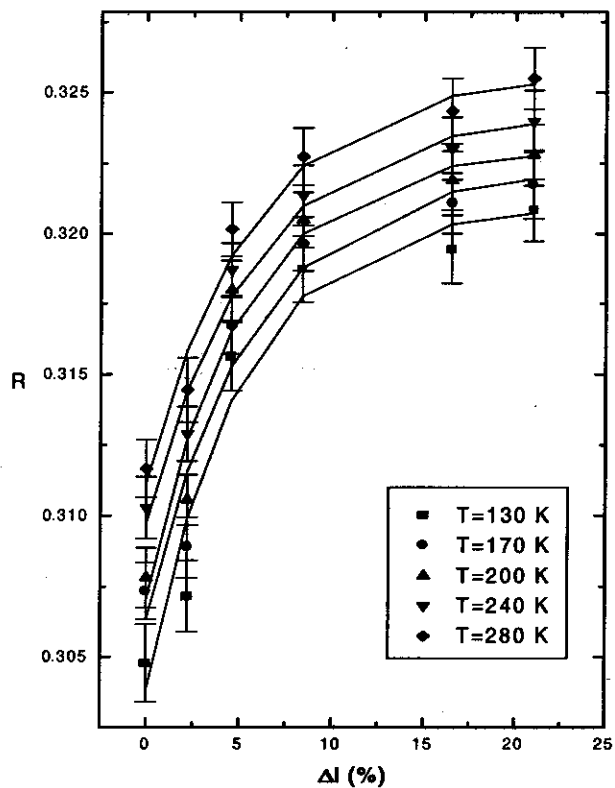
b)

Figura 3. Dependencia de R con la T (K) para los diferentes valores de Δl (%) para los dos materiales empleados en este estudio

a). Al y b). Cu.



a)



b)

Figura 4. Dependencia de R con Δl (%) para diferentes valores de T (K) [a]. Al y b[Cu].

REFERENCES

1. GARDNER, R.P. and R.L. ELY (1975): "Radioisotope Measurement Applications in Engineering". Reinhold Publishing Corporation. New York, 1975, p. 302.
2. TOLGYESSY, J. and S. VARGA (1979): **Nuclear Analytical Chemistry**. Part IV: 44.
3. SHARMA, K.K. and M.J. SINGH (1979): **J. Appl. Phys.** 50(3), 1529.
4. DARLINGTON, E.H. (1975): **J. Phys. D: Appl. Phys.** 8, 85.
5. CAMERON J.F. y C.G. CLAYTON (1975): "Instrumentos Nucléonicos". Parte 1. Editorial Alhambra S.A., p. 310.
6. DESDIN, LF.; G. CAPOTE, A. LEYVA and L. CALDERÍN (1998): **J. Radioanal. Nucl. Chemistry**, 237(1-2).
7. SIVUJIN, D.V. (1979): Curso de Física. Vol. II: Termodinámica y Física Molecular. Nauka. Moscú, Rusia, p. 551 (en ruso).