

USO DE UN ACELERADOR ELECTROSTÁTICO PARA EL ANALISIS DE MATERIALES

A. CLIMENT - F. AGULLÓ - O. ESPESO - C. PASCUAL

Un acelerador electrostático es una herramienta muy versátil para analizar materiales mediante las técnicas de haces de iones. Estas técnicas, conocidas como técnicas IBA (ion beam analysis), son ampliamente utilizadas para la caracterización cuantitativa y no destructiva de la estructura y composición de la zona próxima a la superficie de cualquier material, hasta profundidades de 10 μm y con resolución en profundidad en la superficie de 2 a 20 nm. Sus aplicaciones abarcan muchos campos, entre los que destacan: ciencia de materiales, microelectrónica, metalurgia, mineralogía, corrosión, ciencias de polímeros, estudios medioambientales, ciencias biomédicas, y arte y arqueología. En este trabajo se revisan los principios físicos de las técnicas IBA y algunas de sus capacidades analíticas se ilustran con una selección de ejemplos.

An electrostatic accelerator is a very versatile tool for the analysis of the elemental composition of materials by means of ion-beam based analytical techniques. These techniques known as IBA (ion beam analysis) are widely used as a quantitative and non destructive characterization of almost any material down to depth of 10 μm below the surface and with a depth resolution at the surface from 2 to 20 nm. Their applications cover a wide range of areas such as: materials science, microelectronics, corrosion studies, polymer science, environmental studies, biomedical sciences and art and archaeology. In this work the general physical principles of IBA are reviewed and its capabilities are illustrated with a selection of examples.

INTRODUCCIÓN

Bajo el nombre de análisis con haces de iones se agrupan un conjunto de técnicas de caracterización de materiales cuya propiedad común es que utilizan como sonda un haz de iones de energías típicas de unos megaelectrón-voltios (MeV) generado por un acelerador electrostático de iones (1). Estas técnicas, aunque hoy están muy consolidadas y son herramienta habitual en muchos laboratorios de investigación en países industrialmente desarrollados, todavía no son muy conocidas en España. Recientemente, en 1998, se

ha instalado en Sevilla el primer acelerador, de 3 MV, dedicado a estos fines, y el segundo está en trámite de instalación en el Campus de la Universidad Autónoma de Madrid. En este último caso se trata de un acelerador tandem de 5 MV de la firma High Voltage Engineering Europa B.V. que será gestionado por el Instituto de Ciencia de Materiales Nicolás Cabrera y al que están asociados los autores del presente artículo. La tensión máxima de operación es suficiente para realizar experimentos ERDA con iones pesados (véase más adelante), lo que abre interesantes posibilidades de análisis, implantación, etc., aparte de las técnicas analíticas convencionales que se pueden llevar a cabo con aceleradores de tensión inferior (típicamente 2-3 MV).

Las técnicas de análisis con haces de iones tienen un marcado carácter multidisciplinar aplicándose en las más diversas áreas de la investigación como: ciencia de materiales (2), microelectrónica y materiales avanzados (3), estudios de medio ambiente (4), biomédicas (5), arqueología (6), estudio y autenticación de obras y objetos de arte (7), etc. Referente a estas dos últimas aplicaciones cabe destacar la instalación, en funcionamiento desde 1989, del acelerador del laboratorio de los museos de Francia en el palacio del Louvre en París (8). Técnicas como el análisis de la retrodispersión elástica de iones (RBS; Rutherford backscattering spectrometry) (9) son especialmente

potentes en microelectrónica y ciencia de materiales. Son técnicas cuantitativas y con las que se puede realizar medidas absolutas. Su profundidad de análisis se adapta muy bien a los espesores típicos de películas en los componentes electrónicos de última generación (1-10⁴ nm). Otras técnicas como la emisión de rayos X inducida por partículas (PIXE; particle induced X-ray emission) (10) permiten el análisis multielemental de una muestra compleja incluyendo los elementos traza con límites de detección de varias partes por millón. Tradicionalmente los proyectiles utilizados como sonda para analizar las muestras, han sido elementos ligeros como H y He extrayéndose la información del análisis de su energía cinética. En los últimos años ha ido creciendo el interés por el uso de iones pesados (Si, I, Au) en técnicas que incorporan nuevos métodos de detección como el tiempo de vuelo, cuya medida en coincidencia con la energía permite obtener perfiles de concentración con separación de masa (E-TOF-ERD).

LAS TÉCNICAS IBA.

Conceptualmente, los fundamentos físicos de las técnicas IBA son muy sencillos; un haz de iones de unos pocos MeV, producido por un acelerador de partículas, se hace incidir sobre el blanco, o muestra a analizar. La interacción de la partícula incidente, o

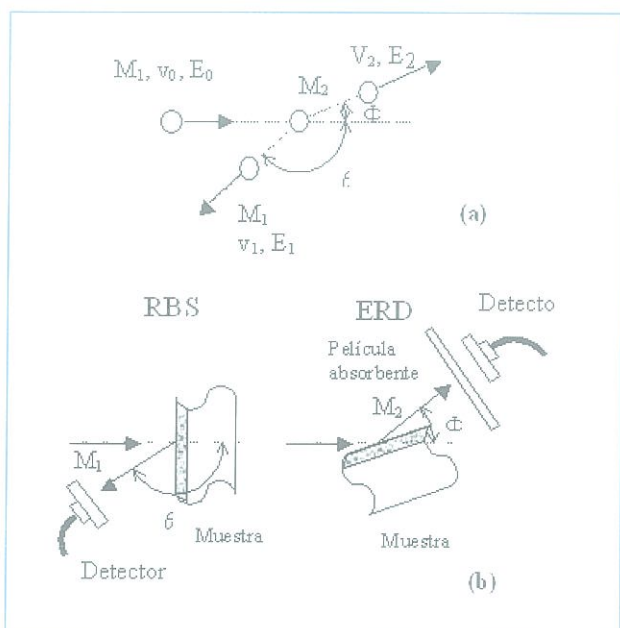


Figura 1. (a) Esquema de la colisión elástica. RBS detecta el proyectil dispersado y ERD el átomo de la muestra desplazado. (b) Disposición experimental para RBS y ERD.

proyectil, con el blanco puede dar lugar a distintos productos; partículas, electrones o fotones. Analizando de forma selectiva una propiedad de uno de los posibles productos de la interacción estaremos utilizando una u otra técnica IBA. Normalmente la magnitud analizada es la energía mediante un detector de barrera de estado sólido, aunque se pueden medir otros parámetros como la velocidad de la partícula mediante la detección del tiempo de vuelo. En algunos casos especiales se pueden medir varios parámetros en coincidencia lo que permite hacer un análisis selectivo de determinados elementos o reducir los niveles de ruido. El buen conocimiento que se tiene de las posibles interacciones y fenómenos que ocurren durante el transporte de iones a través de la materia, permite que los resultados de la medidas con técnicas IBA sean cuantificables y que se puedan realizar medidas absolutas sin necesidad de muestras de referencia. A continuación se resumirá brevemente los principios de algunas de las técnicas más usadas, con ilustración de ejemplos.

Colisiones elásticas

Cuando la distancia mínima entre los dos núcleos que interaccionan es mayor que su radio nuclear, únicamente las fuerzas coulombianas juegan un papel relevante dando lugar a una interacción nuclear elástica. La cinemática del proceso está gobernada por el principio de conservación de la energía y del momento lineal de los choques

elásticos. El análisis de la energía del proyectil dispersado con ángulos superiores a 90° da lugar a la técnica RBS. Si, por el contrario, se analiza la energía del átomo de la muestra desplazado tenemos la técnica ERD (elastic recoil detection). En ambos casos la medida de la energía de la partícula, conociendo la masa y energía del proyectil incidente, permite deducir la masa de la partícula del blanco que interviene en la colisión. En el caso de analizar una muestra compuesta, en la aplicación de esta última técnica resulta muy interesante, como se ha mencionado en la introducción, la medida en coincidencia de la energía cinética y del tiempo de vuelo. De ambas medidas se puede separar la masa de los diferentes componentes de la muestra y obtener perfiles de composición a partir de señales libres de interferencias o solapes. La probabilidad de detectar las partículas dispersadas bajo un determinado ángulo, la sección eficaz de dispersión, viene dada teóricamente por la fórmula de Rutherford (11). Un caso de gran relevancia donde no se cumple dicha fórmula es el caso del "channeling" o canalización que permite estudiar una gama muy interesante de problemas en muestras cristalinas (12). El proyectil, a medida que penetra dentro de la muestra va perdiendo energía de acuerdo con su poder de frenado, magnitud que depende del tipo de proyectil, su energía y composición del material (13). Tenemos, por lo tanto, todos los ingredientes para deducir el perfil de concentración en profundidad. La Fig. 1 muestra esquemáticamente este

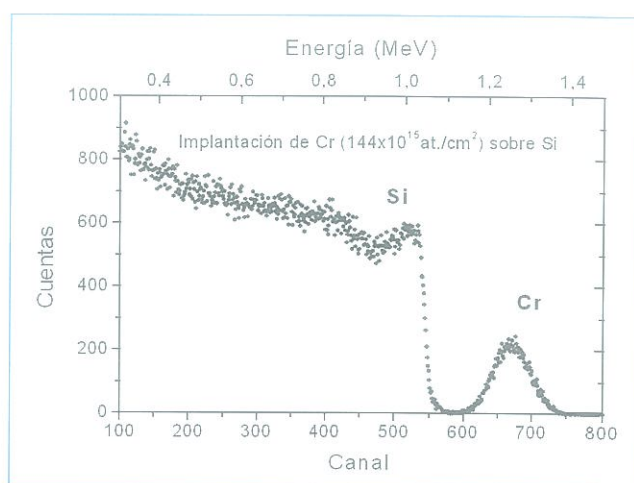


Figura 2. Espectro RBS obtenido con un haz de He de 2 MeV con un ángulo de dispersión, θ , de 170° , de una muestra de Si implantado con Cr a 300 keV. La señal de Cr se observa claramente en una zona libre de ruido. El rango de implantación proyectado que se obtiene es 284 nm.

proceso de colisión elástica junto con la disposición experimental en RBS y ERD convencional sin tiempo de vuelo.

La técnica RBS es especialmente útil para estudiar películas delgadas de un material más pesado que el sustrato que las sustenta. Ello es debido a que la energía del proyectil después del choque es mayor cuando mayor es la masa de la partícula que lo dispersa, con lo que en el espectro RBS, las "señales" de la película delgada aparecerán a energías más altas que las señales del sustrato y, por tanto, libres de ruido de fondo que limitarían la obtención de información. Por esta razón la técnica RBS ha sido ampliamente usada en la década de los 80 para estudiar

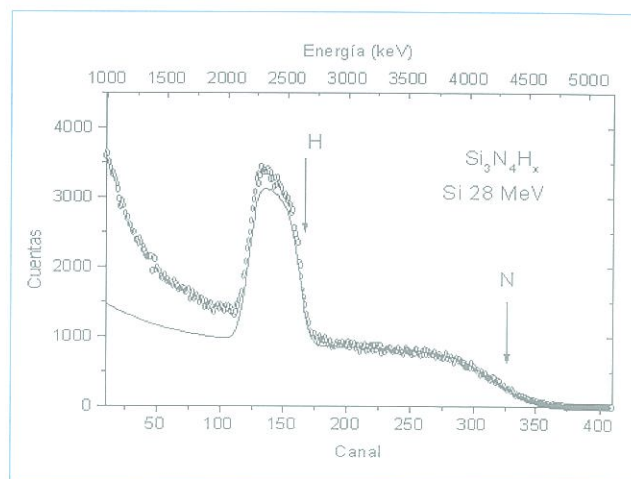


Figura 3. Espectro ERD de una muestra de 600nm de nitrato de silicio con hidrógeno incorporado. El ángulo de dispersión, Φ , es 30° . El perfil de hidrógeno se muestra claramente con una anchura de unos 450 keV. El perfil de N es más ancho, unos 3500 keV, debido al mayor poder de frenado del N comparado con el del H, aunque los dos elementos están uniformemente distribuidos en el mismo espesor. La línea continua representa el espectro simulado por el programa SIMNRA.

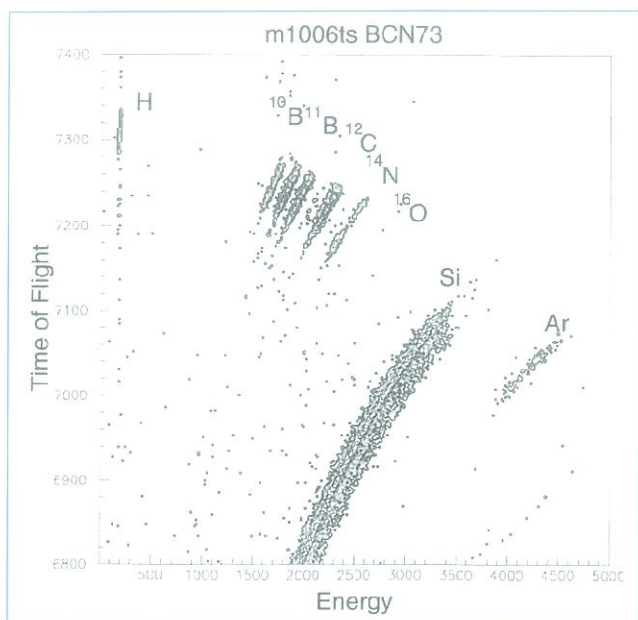


Figura 4 Diagrama de energía-tiempo de un espectro E-TOF ERD de una lámina delgada de BCN depositada sobre un sustrato de Si. La película ha incorporado H, O y Ar como impurezas. Obsérvese que en el rango de elementos ligeros se puede separar una unidad atómica de masa.

la cinética de formación de los siliciuros (14). En la Fig. 2 se representa un espectro RBS de una muestra de Si en la que se ha implantado Cr a una energía de 300 keV y en una dosis nominal de 144×10^{15} átomos cm^{-2} . En este caso aunque el Cr esté alojado a cierta profundidad en la matriz de Si, la diferencia de masa con el Si es suficiente como para que su señal aparezca a mayor energía que la del sustrato.

Un análisis detallado de un espectro de este tipo permite obtener los parámetros relevantes de la implantación tales como la cantidad de material implantado, el rango proyectado o profundidad del máximo de la implantación y el perfil de la implantación incluyendo la asimetría (skewness), del mismo. Las medidas del espectro de la Fig.2 ajustadas con el programa de simulación RUMP (15), dan como resultado un rango proyectado de 284 nm y muestran la existencia de dicha asimetría ajustándose el perfil a dos medias gaussianas de forma que distribución a mayor profundidad presentaba una semianchura a mitad del máximo (HWHM) menor (86 nm) que la distribución más externa (117 nm) (16).

En un experimento de ERD convencional se pone una película absorbente entre la muestra y el detector para frenar los iones del haz incidente dispersados con ángulos bajos que son muy numerosos y saturarían el sistema de medida enmascarando la información útil. El espesor de la película se elige de tal forma que a su vez no frene los átomos de la muestra que queremos

detectar. Esto solo se consigue si éstos son más ligeros que el haz. Esta técnica se ha usado con éxito para obtener perfiles de concentración de H con haces de He (17). De todo lo dicho queda claro que RBS y ERD son dos técnicas analíticas que se complementan. En la Fig. 3 se muestra un espectro ERD obtenido con un haz de Si de 28 MeV, para una película de nitruro de silicio de 600nm de espesor con hidrógeno incorporado.

El uso de iones semipesados en técnicas como ERD tiene la ventaja de que se aumenta la sección eficaz de colisión (varía como Z^2 del proyectil) a la vez que permite detectar más elementos. Elegir Si como elemento del haz para experimentos ERD es un buen compromiso ya que permite detectar todos los elementos ligeros comprendidos entre el H y el O, para los que RBS convencional con He, presenta una sección eficaz muy baja (de nuevo varía con Z^2 del blanco), o simplemente no los puede detectar como es el caso del H. En este espectro ERD de la Fig. 3 se aprecia claramente el H y el N, elementos componentes de la película delgada más ligeros que el Si (18). Con el fin de obtener información cuantitativa, el tratamiento de un espectro RBS es más sencillo que el ERD, porque mientras que en RBS solo se ha de seguir la pista a una sola partícula tanto en el camino de entrada a la muestra como en el de salida, en ERD la partícula que se sigue en el camino de entrada es la del haz, y para el camino de salida hay que tener en cuenta tantas tabulaciones de poder de frenado distintas como partículas de la muestra detectadas. Además, en ERD, se suma el problema de tener que evaluar la

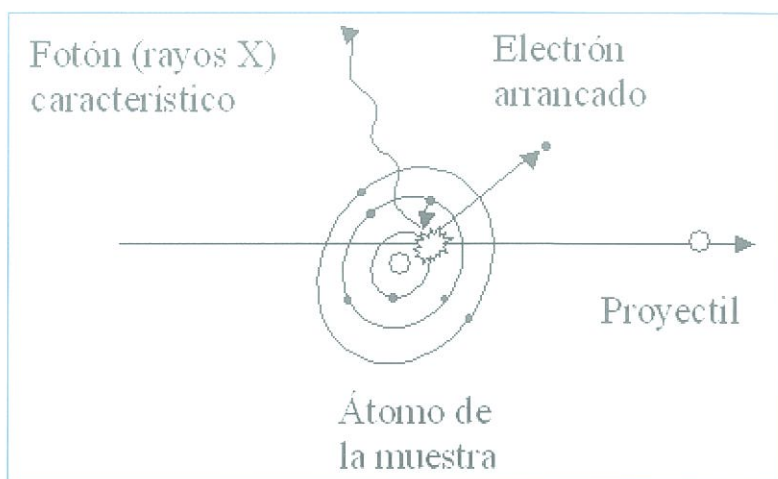


Figura 5. Esquema del proceso PIXE.

pérdida de energía en la película absorbente (12 μm de Mylar en el caso de la Fig. 3). Dado que los poderes de frenado en muchos casos solo se conocen con imprecisiones mayores que un 7 o 10 %, la técnica de cuantificar espectros comparando un espectro real con el simulado mediante un programa informático se debe utilizar con ciertas precauciones. Otro hecho fácilmente observable en el espectro de la Fig. 3 es la peor resolución el profundidad cuanto mayor es el número atómico del elemento detectado. Esto se aprecia viendo la anchura del borde de alta energía de la señal (en la figura donde están situadas las flechas indicando el elemento). Esta anchura tiene fundamentalmente dos componentes, la peor resolución por parte del detector de energía a medida que aumenta el número atómico de la partícula detectada (19), y el straggling de la partícula, que también aumenta con el número atómico, al atravesar la película absorbente.

Cuando se utiliza la técnica E-TOF ERD, la detección simultánea de la energía y tiempo de vuelo actúa como un espectrómetro de masas, como pone de manifiesto la representación de un diagrama tiempo-energía. Tal diagrama se muestra en la Fig. 4 para una película de BCN (compuesto de boro, carbono y nitrógeno) crecida sobre un sustrato de Si. La gráfica muestra impurezas de H, O y Ar, incorporadas a la película por el procedimiento de crecimiento utilizado. El diagrama permite resolver masas ligeras que se diferencian en una unidad de masa atómica (uma). A medida que el número atómico de la partícula aumenta y la resolución del detector de energía empeora, la separación de masas resulta más difícil. Esto se aprecia en el diagrama de la Fig. 4 en el progresivo ensanchamiento

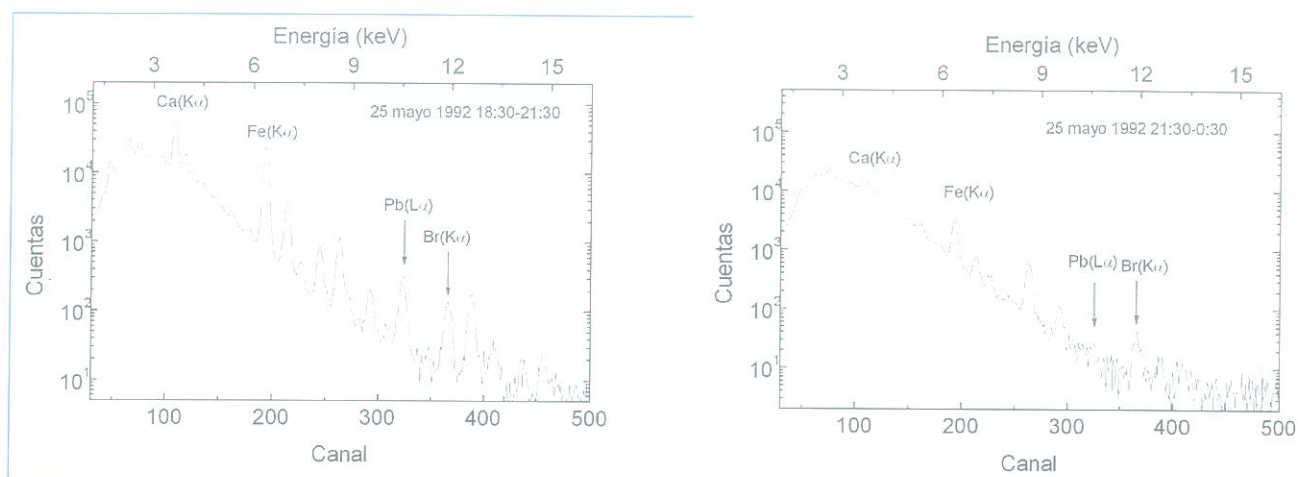


Figura 6. Espectros PIXE de dos filtros de acetato de celulosa por los que se ha hecho pasar aire, reteniendo una muestra de las partículas en suspensión. Las muestras se recolectaron en mayo de 1992 en la ciudad de Madrid. Los espectros se han obtenido con un haz de protones de 2,5 MeV.

de las curvas asociadas a cada masa a medida que aumenta el número atómico.

Interacciones partícula electrón

La técnica PIXE desarrollada hace casi 30 años en la Universidad de Lund (20), es hoy en día una técnica bien establecida y utilizada por muchos laboratorios. En la Fig. 5 se representa un esquema del proceso PIXE que consiste en la detección de rayos X emitidos al ocupar electrones de niveles más altos las vacantes de niveles profundos en un átomo de la muestra, producidas por colisiones con los iones del haz incidente.

La elevada sección eficaz atómica de ionización de niveles profundos junto con el bajo ruido de fondo, hacen que esta técnica sea muy adecuada para análisis de elementos traza en muchos tipos de muestras. Los mejores resultados de la aplicación de la técnica se obtienen usando iones ligeros con energías de 2 a 5 MeV/uma.

Los iones incidentes pueden arrancar electrones de niveles profundos de los átomos de la muestra quedando estos en un estado excitado. En el proceso de desexcitación se pueden emitir rayos X que son característicos de cada elemento. La técnica PIXE consiste precisamente en analizar estos fotones, determinándose de forma unívoca los componentes de la muestra incluso a niveles traza. En la Fig. 6 se muestran dos espectros PIXE en los que se han señalado algunos de los picos que aparecen más significativos, y que reflejan la composición del aerosol urbano de Madrid. A través de filtros de acetato de celulosa se ha hecho pasar un determinado volumen de aire. Una muestra de las partículas en suspensión es

retenida por el filtro y su análisis mediante PIXE determina la composición elemental del aerosol (21). Comparando los dos espectros se puede apreciar claramente el paso de una hora punta de tráfico rodado a un periodo más tranquilo. Cada uno de estos espectros se obtiene en tiempos cortos, unos cinco minutos, y puede dar información de concentraciones de hasta 20 elementos, siendo el proceso de cuantificación bastante rápido gracias programas informáticos. La gran cantidad de datos obtenidos permite la aplicación de métodos estadísticos multivariantes para la asignación de fuentes contaminantes (22).

Otras interacciones

Si la energía del proyectil es suficiente para superar la barrera de repulsión coulombiana, la colisión proyectil-blanco puede dar lugar a reacciones nucleares con la emisión de nuevas partículas o rayos gamma, lo que se conoce como NRA (nuclear reaction analysis) y PIGE (particle induced gamma-ray emission). Estos procesos tienen la ventaja de ser selectivos, esto es que solo ocurren para ciertas combinaciones proyectil-blanco, obteniéndose señales libres de ruido. Un ejemplo típico, ampliamente usado en estudios de oxidación es el uso de la reacción $^{16}\text{O}(d, p)^{17}\text{O}^*$ (23) que permite obtener mediante un sencillo análisis la cantidad de oxígeno incorporado en la muestra con una precisión del 2 %.

La técnica PIGE (particle induced gamma-ray emission) es la equivalente a PIXE para excitaciones nucleares. Esta técnica es útil como complemento de otras como PIXE, pues permite la detección de elementos ligeros, Be por ejemplo, a los que no se puede acceder con PIXE.

El microhaz

La posibilidad de delimitar la sección del haz de iones al tamaño del mm o incluso menos, tiene un gran impacto en muchas situaciones analíticas en todos los campos (24, 25, 26). La técnica resultante se suele denominar microsonda nuclear o microscopía nuclear. Dado que la reducción del tamaño del haz implica una reducción de corriente para mantener la densidad dentro de los límites en que no dañe al material bajo análisis, la técnica PIXE, con su gran sección eficaz, ha sido una de las más utilizadas con focalización del haz, dando lugar a lo que se ha llamado microPIXE. No obstante otras técnicas IBA como RBS también se utilizan con microhaz (27). La gran ventaja, además de la mejora en resolución lateral, estriba en posibilidad de sincronizar barridos horizontales y verticales del microhaz y obtener mapas de composición elemental de la muestra.

CONCLUSIONES

Las técnicas IBA son de gran utilidad en el estudio de la composición elemental de los materiales. Además del carácter analítico multielemental y ser no destructivas, ofrecen posibilidades únicas en algunos aspectos específicos, entre los que se podría destacar la realización de medidas absolutas o la facilidad de utilizar una única muestra para calibración.

La elección de una técnica concreta dentro del amplio abanico que ofrece IBA, dependerá, entre otras consideraciones, del problema que se quiera resolver. Así, si se quiere detectar elementos traza, PIXE puede ser la técnica más conveniente, mientras que si se quiere obtener el perfil de concentración en profundidad de un

determinado elemento recurriremos a RBS o ERD, dependiendo de que el elemento de interés sea, o no, más pesado que la matriz que lo alberga.

AGRADECIMIENTOS

Una parte del trabajo expuesto en este artículo se ha realizado gracias a una estancia de investigación concedida por el MEC a uno de los autores (A. Climent Font, referencia PR95-543).

REFERENCIAS

- (1) "New uses of ion accelerators", J.F. Ziegler (editor). Plenum Press, (New York 1975).
- (2) C. Uslu, D.H. Lee, Y. Berta, B. Park, D.B. Poker y L. Riester, "Enhanced surface hardness in nitrogen-implanted silicon carbide", Nucl. Instr. and Meth. B 118, 693-697 (1996)
- (3) D.N. Jamieson, Nucl. Instr. and Meth. B 136-138, 1-8 (1998).
- (4) K.G. Malmqvist, "Ion beam analysis for the environment", Nucl. Instr. and Meth. B 85, 84-94 (1994).
- (5) F. Watt y J.P. Landsberg, "Nuclear microscopy: biomedical applications", Nucl. Instr. and Meth. B 77 249-260 (1993).
- (6) A. Climent-Font, G. Demortier, C. Palcio, I. Montero, J.L. Ruvalcaba-Sil, y D. Díaz, "Characterization of archaeological bronzes using PIXE, PIGE, RBS and AES spectrometries", Nucl. Instr. and Meth. B 134, 229-236 (1998).
- (7) J.D. MacArthur, P. del Carmine, F. Lucarelli y P.A. Mandò, "Identification of pigments in some colours on miniatures from the medieval age and early renaissance", Nucl. Instr. and Meth. B 45, 315-321 (1990).
- (8) M- Menu, "IBA in the museum: why AGLAE", Nucl. Instr. Meth. B45, 597-603 (1990).
- (9) "Backscattering spectrometry" W.K. Chu, J.M. Mayer y M.A. Nicolet. Academic Press, (New York, 1978).
- (10) "PIXE: A Novel Technique for Elemental Analysis", S.A. Johanson y J.L. Campbell. John Wiley & Sons, (Chichester, 1988).
- (11) C.G. Darwin, Phil. Mag. 28, 449-462 (1914).
- (12) D.S. Gemmell, Rev. Mod. Phys. 46, 129 138 (1974).
- (13) J.F. Ziegler, J.P. Biersack, y U. Littmark en "The Stopping and Ranges of Ions in Matter", editado por J.F. Ziegler. Pergamon, (New York, 1985), Vol. 1.
- (14) A. Climent y S.J. Fonash, "Growth and electrical characterization of palladium silicide contacts on dry-etched silicon surfaces" J. Appl. Phys. 56 (4), 1063-1069 (1984).
- (15) L.R. Doolittle, "Algorithms for the rapid simulation of Rutherford backscattering spectra", Nucl. Instr. and Meth. B 9, 344-351 (1985).
- (16) A. Climent-Font, U. Wätjen, H. Bax y L. Palmethofer, "Characterization of high-dose implants of Co and Cr in Si by RBS", Vacuum 42 (13) 795-799 (1991).
- (17) B.L. Doyle y P.S. Peercy, "Technique for profiling 1H with 2.5 MeV Van de graaff accelerators", Appl. Phys. Lett. 34, 811-813 (1979).
- (18) M. Mayer, SIMNRA User's Guide, Report IPP 9/113, Max-Planck-Institute für Plasmaphysik, Garching (1997).
- (19) D.J. O'Connor y TAN Chunyu, "Application of heavy ions to high depth resolution RBS", Nucl. Instr. and Meth. B 36, 178-188 (1989).
- (20) T.B. Johansson, R. Akselsson y S.A.E. Johansson, Nucl. Instr. and Meth. 84, 151 (1970).
- (21) A. Climent-Font, E. Swietlitchi y A. Revuelta, "Characterization of the air pollution in the urban area of Madrid", Nucl. Instr. and Meth. B 85, 830-835 (1994).
- (22) W. Maenhaut and J. Cafmayer, "Particle induced X-ray emission analysis and multivariate techniques: An application to the study of the sources of respirable atmospheric particles in Gent, Belgium", J. Trace and Microprobe Techniques, 5(2&3), 135-158 (1987).
- (23) G. Amsel, J.P. Nadai, E. d'Artemare, D. David, E. Girard y J. Moulin, "Microanalysis by direct observation of nuclear reactions using a 2 MeV Van de Graaff", Nucl. Instr. and Meth. 92, 481-515 (1971).
- (24) F. Watt, "The nuclear microprobe: a unique instrument" Nucl. Instr. and Meth. B 130, 1-8 (1997)
- (25) M. Takai, "Nuclear microprobe development and application to microelectronics", Nucl. Instr. and Meth. B 85 664-675 (1994).
- (26) D.N. Jamieson, "Recent applications of nuclear microprobe analysis to frontier materials", Nucl. Instr. and Meth. B 130, 706-716 (1997).
- (27) C.L. Churms y R. Pretorius, "Three dimensional RBS on the Faure nuclear microprobe", Nucl. Instr. and Meth. B 85, 699.

Oscar ESPESO GIL es licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid, especialidad en Óptica y Estructura de la Materia (año 1998). Forma parte del Equipo Científico-Técnico del Acelerador de 5MV desde 1999. Realiza su tesis doctoral en el diseño y montaje de la línea TOF-ERD (Time of Flight Elastic Recoil Detection).

Carlos PASCUAL IZARRA es licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid, especialidad en Física Aplicada (año 1999). Forma parte del Equipo Científico-Técnico del Acelerador de 5MV desde 1999. Realiza su tesis doctoral en el estudio experimental (RBS principalmente) de los poderes de frenado del He, H y otros iones más pesados sobre materiales de interés tecnológico (Nb, Ti, Si, NbN, TiSi₂,...).

Aurelio CLIMENT-FONT es doctor en Ciencias Físicas (Universidad Autónoma de Madrid) y Profesor Titular de Física Aplicada en la Universidad Autónoma de Madrid. Desde hace casi veinte años viene utilizando las técnicas de análisis con haces de iones. Durante este tiempo, y mediante estancias de en diversos centros de investigación de Europa y Estados Unidos, ha aplicado las técnicas RBS, ERDA, TOF-ERD, PIXE, NRA, etc. para estudios en diversas áreas del conocimiento como Ciencia de Materiales, Microelectrónica y Arqueometría.

Fernando AGULLÓ LÓPEZ es doctor en Ciencias Físicas (Universidad Complutense de Madrid) y actualmente Catedrático de Física Aplicada en la Universidad Autónoma de Madrid. Durante los años 1956-1970 trabajó en la Junta de Energía Nuclear y ha realizado estancias de investigación en el Brukhaven Natural Laboratory, IBM (Zurich) y diversas Universidades (Dijon, Sussex, Parma...). Su labor investigadora se ha centrado en las propiedades ópticas y defectos en Materiales. Actualmente dirige el Equipo Científico-Técnico del Acelerador de 5MV.



PREMIO SNE PARA PROYECTOS FIN DE CARRERA O TESISAS DURANTE EL CURSO ACADÉMICO 1999-2000

OBJETIVO: Fomentar la participación en las actividades de la SNE de los ingenieros y licenciados en Ciencias y premiar a aquellos que hayan realizado proyectos de Fin de Carrera o Tesisas relevantes en el área de la Ingeniería Nuclear.

DOTACIÓN DEL PREMIO: Consistirá en 1.500 €, un diploma acreditativo de su obtención y la invitación a la Reunión Anual de la SNE, con objeto de presentar el trabajo realizado. Asimismo, se publicará en *Nuclear España* un resumen del mismo.

TEMAS OBJETO DE LA CONVOCATORIA: Serán admitidos todos los Proyectos o Tesisas presentados durante el curso académico 1999-2000, cuyo contenido esté relacionado con temas de Ingeniería Nuclear, tales como:

- Centrales nucleares: centrales avanzadas, nuevos conceptos de reactores.
- Seguridad nuclear.
- Ciclo de combustible nuclear.
- Gestión de residuos radiactivos.
- Protección radiológica.
- Aplicaciones industriales y médicas de las radiaciones, incluyendo láseres y haces de partículas.
- Fusión nuclear: fusión magnética, fusión inercial.

COMISIÓN EVALUADORA: La Junta Directiva de la SNE nombrará una Comisión compuesta por cinco miembros, dos de los cuales serán Catedráticos o Profesores Titulares de Universidad, dos pertenecerán a organizaciones relacionadas con los temas objeto de la convocatoria, y el quinto será un miembro de la Junta Directiva, que actuará de Presidente. Las decisiones de la Comisión serán inapelables.

PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN: La Comisión Evaluadora seleccionará tres finalistas entre los inscritos en esta convocatoria, que serán invitados a presentar los contenidos de su Proyecto o Tesina en la Reunión Anual de la SNE. La Comisión evaluadora seleccionará al ganador del premio entre los finalistas, basándose tanto en la presentación oral como en la documentación aportada en la inscripción. Los otros dos finalistas recibirán sendos accésit y se publicará un resumen de sus proyectos o tesisas en *Nuclear España* en fecha a determinar por el Comité de Publicaciones.

INSCRIPCIÓN: Es imprescindible ser socio estudiante de la SNE. Los participantes deberán enviar a la sede de la Sociedad el boletín de inscripción adjunto debidamente cumplimentado, un breve curriculum académico, que incluya la fecha de lectura del Proyecto o Tesina, un informe del profesor que ha dirigido el trabajo en el que se recoja la calificación obtenida en el mismo, un resumen de 1.500 palabras y un ejemplar del Proyecto o Tesina. Las solicitudes deberán recibirse antes del próximo 30 de junio de 2001. Se enviará el acuse de recibo a los participantes.

Una vez seleccionados los finalistas, cuyo nombre se hará público en la Revista, los demás participantes podrán recoger o solicitar que se les envíe la documentación presentada.

PREMIO DE LA SNE PARA PROYECTOS DE FIN DE CARRERA O TESISAS CURSO 1999-2000 BOLETÍN DE INSCRIPCIÓN

Nombre:

Título del Proyecto o Tesina:

Departamento:

Escuela o Facultad:

Dirección Postal:

Teléfono:

Enviar a: **SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA**

Atn: Mireia Piera
Campoamor 17, 1ª planta
28004 MADRID