

## LA ESPECTROSCOPIA AUGER CON EXCITACION IONICA

Mario H. Farias Sánchez

Instituto de Física de la UNAM  
Laboratorio de Ensenada  
Ap. Postal 2681, Ensenada, BC 22800

Se presenta un panorama histórico de la espectroscopia Auger con bombardeo iónico (EAI), y de las explicaciones que se han dado a las diferencias que existen entre espectros Auger obtenidos por excitación iónica y electrónica. Se discuten dos ejemplos de aplicaciones particulares: (1) la posibilidad de medir la concentración de hidrógeno en silicio amorfo hidrogenado, y (2) su uso para la medición de las concentraciones de los elementos que forman aleaciones metálicas con una precisión mayor que con la espectroscopia Auger tradicional.

## INTRODUCCION

La interacción de electrones, fotones o iones energéticos pesados con la materia puede dar como resultado la ionización de un nivel electrónico interno dejando al sistema en un estado excitado cuasi-discreto. El sistema se puede desexcitar por un proceso radiativo con la emisión de un fotón, que usualmente es un rayo X característico del sistema, o por un proceso no radiativo con la emisión de un electrón característico, llamado electrón Auger. En la Fig.1 se presenta un esquema del proceso de la emisión de un electrón Auger.

El efecto Auger fue descubierto por Pierre Auger en 1925 [1] y había sido predicho por Rosseland [2] en 1923. En 1953, ciertos picos de la distribución de electrones secundarios de sólidos fueron identificados por Lander [3] como transiciones Auger. Fue hasta 1967, que Harris [4] y Weber y Peria [5] mostraron que por medio de la diferenciación electrónica era posible usar la espectroscopia Auger (EA) como una herramienta analítica para el análisis de superficies de sólidos. La técnica se popularizó rápidamente debido a que permite cuantificar la concentración atómica de los elementos que están presentes en la superficie. El límite de detectabilidad con la EA es del orden de 0.001 monocapas atómicas y es capaz de identificar a

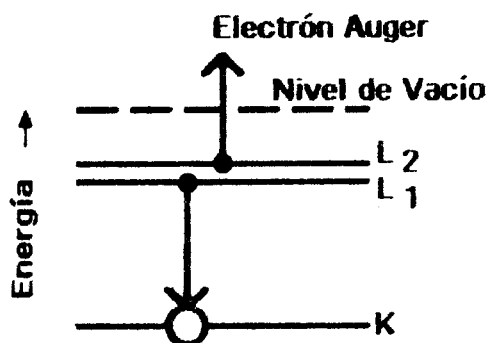


Fig.1 Esquema energético del proceso Auger para la transición KLL. Se ioniza un nivel interno (K) mediante bombardeo de la muestra con electrones energéticos; posteriormente, un electrón de un nivel superior (L1) decae y entrega la diferencia de energía entre los dos niveles a un tercer electrón (nivel L2), que es llamado electrón Auger.

todos los elementos, excepto hidrógeno y helio. Cuando se combina la EA con erosión por bombardeo iónico para remover capas superficiales, se obtiene un perfil de la composición elemental como función de la profundidad. También se puede medir la distribución lateral de los elementos de la superficie en lo que es llamada la

microscopia de barrido Auger. Actualmente, la EA es la técnica más usada para el análisis de superficies, tanto en los centros de investigación como en los laboratorios industriales.

#### LA EMISION AUGER INDUCIDA POR BOMBARDEO IONICO

Aunque la excitación Auger más usada es el bombardeo con electrones, en la última década se ha estudiado la emisión de electrones Auger de superficies de sólidos irradiados por iones energéticos con la intención de (a) entender el mecanismo de excitación de electrones en capas internas en colisiones en cascada, (b) clarificar la diferencia entre los espectros Auger excitados por iones y aquellos con excitación por electrones, y (c) examinar la utilidad de la espectroscopia Auger por excitación iónica (EAI) como una herramienta para el análisis de superficies.

El proceso de excitación en la EAI se piensa que ocurre de acuerdo con la predicción de Fano y Lichten [6] de que electrones Auger podrían ser expulsados siguiendo un proceso de "promoción" de una capa interna como resultado de la colisión entre dos partículas atómicas. En este proceso, un electrón de un nivel interno de un átomo de la muestra puede ser transferido al ion incidente durante la colisión debido a que al formarse una cuasi-molécula es posible que se modifiquen los niveles energéticos para favorecer dicha transferencia. Una vez ionizado en un nivel interno, se puede llevar a cabo la desexcitación en el átomo para dar lugar a la emisión Auger. Un tema que aún se discute es la localización del átomo durante la emisión del electrón Auger [7,9], dentro del sólido o en el vacío justo afuera de la superficie sólida. Parece ser que ambos procesos ocurren dando lugar a la superposición de picos en el espectro Auger del elemento. Unos picos anchos por efectos del sólido, y otros picos agudos superpuestos a los anteriores y que parecen provenir de átomos aislados.

#### DETECCION DE HIDROGENO EN SILICIO AMORFO HIDROGENADO

Recientemente, Hirata et al [8] presentaron evidencia de la posibilidad de medir la concentración de hidrógeno en silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H). En este tipo de muestras, los espectros

derivados que se obtienen mediante EAI presentan dos picos principales en la región de baja energía: uno de ellos es ancho y se adjudica a transiciones Auger en la superficie, y el otro es agudo y se piensa que proviene de desexcitaciones Auger que ocurren en el vacío en la región cercana a la superficie. Este segundo pico cambia apreciablemente su amplitud como función de la concentración de hidrógeno. El cociente de las amplitudes de los dos picos sigue una relación lineal con la concentración de hidrógeno como se muestra en la Fig.2, lo cual permite cuantificar de una manera relativamente sencilla.

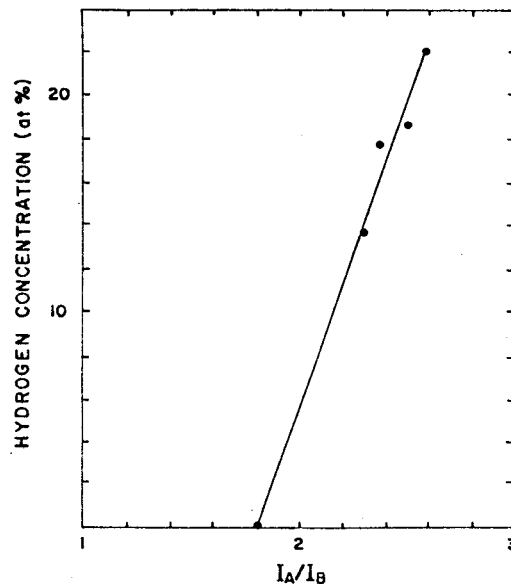


Fig.2 Concentración de hidrógeno como función del cociente de las amplitudes de los dos picos Auger obtenidos mediante EAI en la región de baja energía en muestras de a-Si:H. Obtenido de la referencia 8.

Una ventaja de esta técnica respecto de otras formas de detectar hidrógeno en a-Si:H es que tiene una alta resolución lateral y en profundidad. Mientras que con espectroscopia infrarroja la región de análisis tiene un diámetro de varios milímetros y penetra varias micras, con la EAI la zona analizada es del tamaño del haz de iones, que puede tener un diámetro de 1 micra y se requiere remover aproximadamente 0.1 micras de

material para tener una relación señal a ruido adecuada. Esta característica hace atractiva a la EAI para el análisis de dispositivos que contienen a-Si:H.

### CUANTIFICACION EN ALEACIONES

Es común bombardear con iones energéticos la superficie que se va a medir, lo cual se hace para limpiar de contaminantes superficiales como C, S, Cl, etc. Este bombardeo induce efectos indeseables como enriquecimiento superficial de una de las especies atómicas a expensas de la otra. Desafortunadamente, dicho enriquecimiento es dinámico y depende de varios factores como la energía y el tipo de ion incidente, la temperatura de la muestra, etc. Yamauchi et al [9] reportaron en 1985 una posibilidad interesante de la EAI que permite medir la concentración en aleaciones con una precisión mayor que con la EA convencional. Ellos midieron con EA y con EAI aleaciones de Al-Mg al 50% (en peso) y compararon los resultados con muestras puras de Al y Mg. En la Fig.3 se presentan sus resultados. Se puede ver que aunque con la EA aparece un fuerte enriquecimiento de Al, con la EAI el espectro de la aleación parece ser una simple superposición de los elementos puros. Esto puede deberse a que los picos agudos que se usaron para cuantificar con la EAI provienen de desexcitaciones de átomos en el vacío, los cuales están siendo expulsados en la relación volumétrica de la aleación y no adolecen del problema del enriquecimiento superficial que aparece con la EA convencional.

### COMENTARIOS FINALES

La EAI parece tener un futuro prometedor porque presenta características interesantes para el análisis de superficies, como son: la posibilidad de detectar hidrógeno en a-Si:H y la de cuantificar la concentración en aleaciones con mayor precisión que con la EA. Tiene todo un campo de investigación abierto porque hay muchos puntos que no se han estudiado, entre otros: el tipo de espectro que se obtiene de otros elementos bajo el bombardeo iónico a diferentes energías, el efecto de la oxidación o de la nitruración de silicio o aluminio, la cuantificación de otras aleaciones y compuestos, la detección de hidrógeno en hidruros de Pd o en a-Ge:H, etc.

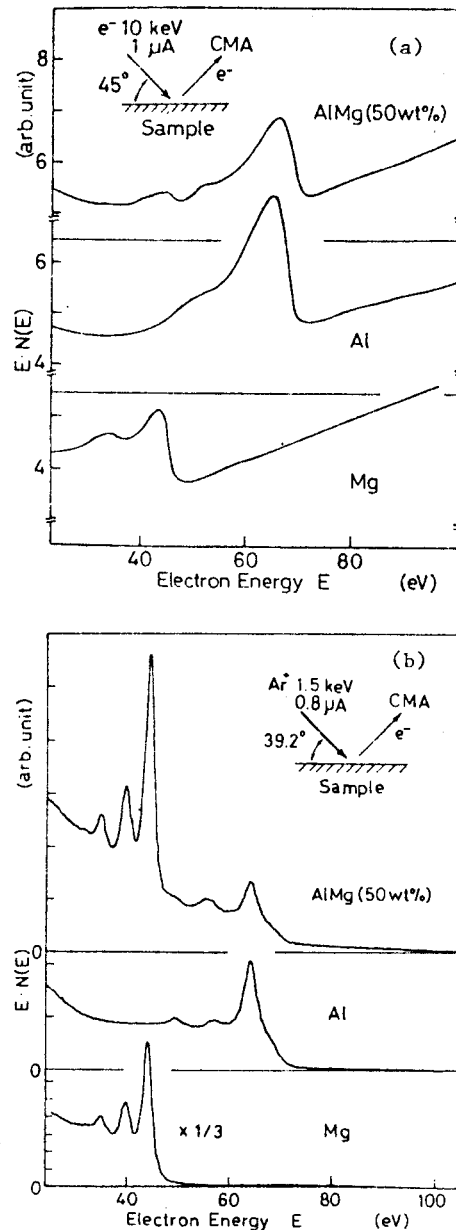


Fig.3 Espectros Auger  $E \cdot N(E)$  de una aleación Al-Mg al 50% en peso, de Al puro y de Mg puro. (a) Inducido con electrones con energía de 10 KeV. (b) Inducido con iones de argón con energía de 1.5 KeV. Obtenidos de la referencia 9.

## REFERENCIAS

- 1.- P.Auger, J.Phys.Radium 6, 205 (1925).
- 2.- S.Rosseland, Z.Physik 14, 183 (1923).
- 3.- J.J.Lander, Phys.Rev. 91, 1382 (1953).
- 4.- L.A.Harris, J.Appl.Phys. 39, 1419 (1953).
- 5.- R.E.Weber and T.W.Peria, J.Appl.Phys. 38, 4355 (1967).
- 6.- U.Fano and W.Lichten, Phys.Rev. 14, 627 (1965).
- 7.- K.Saiki, I.Rittaporn and S.Tanaka, Jpn.J.Appl.Phys. 26, 45 (1987).
- 8.- G.A.Hirata, M.H.Farias, L.Cota-Araiza, D.H.Galván, R.Asozoza, M.A.Vidal and R.Quintero, J. Vac. Sci. Technol. A7, 2625 (1989).
- 9.- Y.Yamauchi, I.Ogoh, R.Shimizu and H.Hashimoto, Jpn.J.Appl.Phys. 24, L157 (1985).