

Estudio del crecimiento de K sobre GaAs(110) usando Espectroscopia de Electrones Auger y Análisis de Componentes Principales

M. C. G. PASSEGGI (h),* R. VIDAL y J. FERRÓN

GRUPO DE FÍSICA DE SUPERFICIES, INTEC (CONICET- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL)
GÜEMES 3450 - (3000) SANTA FE - ARGENTINA
E-mail: mppgih@intec.unl.edu.ar

Resumen

Hemos estudiado el crecimiento de K sobre GaAs(110) usando espectroscopia de electrones Auger (EEA) y análisis de componentes principales (ACP). El ACP revela la existencia de 3 componentes independientes. Los espectros correspondientes a las dos primeras bases tienen la misma forma, desplazados una respecto de la otra 0.6 eV. Este no es compatible con un corrimiento continuo sino con la existencia de un desdoblamiento de la señal de K en dos componentes, este desdoblamiento sugiere la existencia de sitios de adsorción inequivalentes en el GaAs o bien un efecto importante de la interacción K-K en la formación de agregados atómicos. La tercer componente que aparece desde el comienzo de la evaporación revela que la interfase es reactiva.

Abstract

We have studied the growth of K on GaAs(110) using Auger electron spectroscopy (AES) and principal component analysis (PCA). The PCA gives three independent components. The first and the second components have the same shape, but the second one is shifted about 0.6 eV to larger energies. This means a splitting of the K signal in two components, and suggests the existence of either different adsorption sites on the GaAs(110) or an important K-K interaction in the formation of alkali complexes at the surface. The third component is present from the beginning of the evaporation and points out that the K/GaAs(110) interface is reactive.

Introducción

Las interfases álcali-semiconductor III-V han sido extensamente estudiadas en el pasado, no solo por la aplicación del GaAs en la tecnología de circuitos integrados, sino también porque constituyen buenos sistemas para estudiar la formación de barreras Schottky en interfases metal-semiconductor. En particular, el GaAs(110) ha sido extensamente utilizado como sustrato y existen una gran cantidad de trabajos experimentales y modelos teóricos en donde se estudian las interfases álcali-GaAs(110).¹

A pesar de la gran cantidad de trabajo experimental realizado, todavía subsisten algunas controversias relativas a la caracterización de las interfases. Por ejemplo, en el caso de la interfase K/GaAs (110), a temperatura ambiente, algunos autores² sostienen que el film de K se metaliza en la primer etapa de la formación de la interfase (al formarse 1/3 de monocapa) mientras que otros,^{3,4} usando fotoemisión directa e inversa, encuentran que una monocapa de K depositada

sobre el mismo sustrato se comporta como semiconductor. Betti et. al.,² basándose en mediciones con Auger, encuentran que cuando la exposición de K es alta (mayor que 0.75 monocapas) el K reacciona con el sustrato mientras que Ortega et. al.,³ basándose también en mediciones Auger y de fotoemisión, encuentran que la interfase K/GaAs (110) aún a 300 °C es no reactiva y abrupta.

En este trabajo presentamos resultados relativos a la adsorción de K sobre GaAs(110) a temperatura ambiente, usando la técnica de ACP, haciendo un análisis detallado de la forma de la línea Auger del K.

Detalles experimentales

Las mediciones se realizaron en un equipo de análisis de superficies (PHI 590A) con una presión de base en el rango de 10^{-10} Torr. Los espectros Auger se adquirieron usando un analizador cilíndrico (0.6 % de resolución) en el modo derivado (2 V de modulación pico a pico) excitando con un haz de electrones primarios de 2

* Autor a quién debe dirigirse la correspondencia

keV (0.2 mA/cm² de densidad de corriente). Los films de K fueron depositados usando un evaporador comercial de K (SAES Getters, Italia). El evaporador fue cuidadosamente desgasado durante varias horas. La velocidad de evaporación fue de 1MC en 7 minutos aproximadamente.

La superficie de GaAs(110) (dopado tipo n con 3x10¹⁷ átomos de Te/cm³) se prepara por un método que consiste en ciclos de bombardeo con iones Ar⁺ de 1.5 keV de energía y recocido a 500°C, hasta que la muestra no presenta vestigios de impurezas (C, O o K) detectables usando EEA.

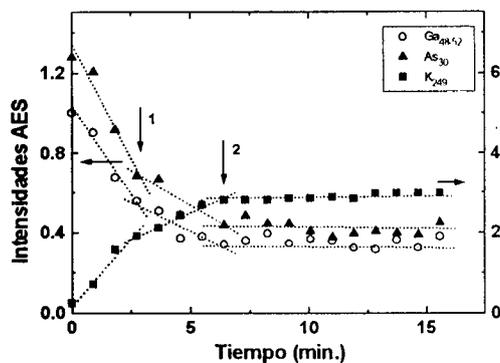


Figura 1a: Intensidades EEA normalizadas al pico de Ga₄₈₋₅₂ limpio en función del tiempo de exposición.

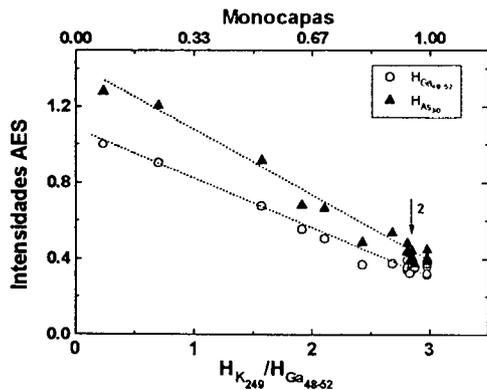


Figura 1b: Intensidades EEA normalizadas al pico de Ga₄₈₋₅₂ limpio en función de la intensidad de K₂₄₉.

Para minimizar la posible contaminación del film de álcali provocada por la adsorción de oxígeno residual inducida por el bombardeo electrónico necesario para excitar los electrones Auger, luego de cada medición (la cual consiste en adquirir los espectros Auger del As (M₄₅VV), Ga (M₃M₄₅M₄₅) y K (L₂₃M₂M₃)), el sustrato se vuelve a limpiar, usando el método antes mencionado.

Resultados

En la Fig.1a mostramos la evolución de las amplitudes pico a pico de los espectros Auger del K, As y Ga en función del tiempo de evaporación. El comportamiento lineal de todas las señales, coincidiendo los puntos en donde se producen cambios en la pendiente (↓₁, ↓₂) indican que el crecimiento del film es capa a capa.

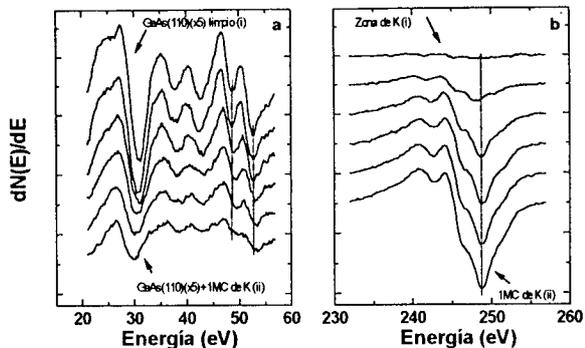


Figura 2: Espectros experimentales de (a) GaAs(110), (b) K. (i) y (ii) indican espectros de GaAs y K correspondientes a una misma corrida.

Los quiebres pueden deberse a un cambio en el coeficiente de sticking (pegado) o a la formación de una monocapa del adsorbato. Si se observa la evolución de la señal de Ga (o As) en función de la de K, en lugar del tiempo de evaporación (ver Fig.1b), el primer quiebre (↓₁) desaparece, indicando que el mismo se debe a un cambio en el coeficiente de sticking y no a la formación de una monocapa. El segundo quiebre (↓₂), y la posterior saturación de la señal de K, indican la formación de una única monocapa de K sobre la superficie (110) del GaAs a temperatura ambiente. En lo que sigue definiremos una monocapa (MC) como la cantidad de K necesaria para saturar la señal Auger del K.

En la Fig.2 mostramos los espectros Auger del As, Ga y K y su evolución a lo largo de la evaporación. En esta figura se puede ver claramente que los picos del Ga y del K se corren hacia energías cinéticas más altas.

En la Fig.3 se muestra en forma detallada este corrimiento en el caso de los espectros del K. Se pueden distinguir en forma clara dos regiones: i) para recubrimientos menores que 0.6 MC los espectros muestran un corrimiento apreciable, mientras que ii) para recubrimientos mayores que 0.6 MC los picos no se corren.

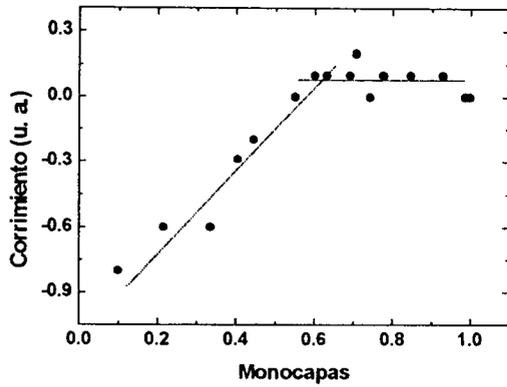


Figura 3: Corrimiento del pico de K en función de la cantidad de K evaporado sobre el GaAs(110).

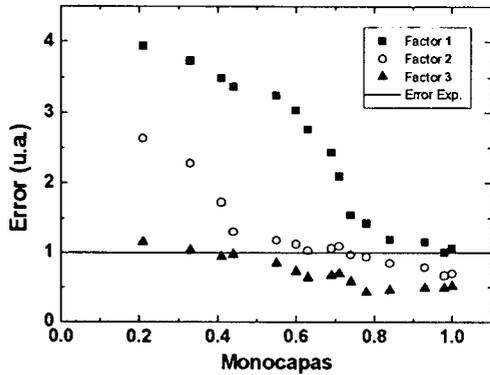


Figura 4: Evolución del error al reproducir la matriz de datos de cada factor en función del recubrimiento de K. Efectuado de mayores a menores recubrimientos.

Con el objeto de poder determinar si el único cambio observado es simplemente un corrimiento o si también los espectros Auger cambian su forma aplicamos el método de ACP y de transformación hacia un blanco.⁶ En este método se parte de una matriz de datos cuyas columnas contienen los espectros Auger LMM del K para diferentes recubrimientos de K. El objetivo del método es el de descomponer la matriz en el producto de dos matrices: una conteniendo espectros Auger correspondientes a las componentes puras y la otra los pesos de estos espectros en cada espectro experimental. Esto supone que cada espectro experimental puede generarse como una combinación lineal de espectros, a los que llamaremos patrones. La cantidad de espectro patrones (componentes o factores) necesarios se puede determinar si se tiene una estimación del error experimental. Un conjunto de espectros experimentales puede ser reproducido con n factores si el error cometido en la reproducción de la matriz de datos original

con estos n factores no supera al error experimental. En la Fig.4 mostramos como evolucionan estos errores de reproducción de la matriz de datos a medida que aumenta el recubrimiento de K. Estos espectros han sido previamente integrados, se le han restado el fondo de electrones y se han normalizado. En esta figura se puede ver en forma clara que se necesitan tres factores para poder reproducir los espectros del K durante toda la evolución. Empleando la transformación hacia un blanco se pueden obtener los espectros patrones y sus pesos en función del recubrimiento de K. Esto se muestra en las Fig.5 y 6, respectivamente.

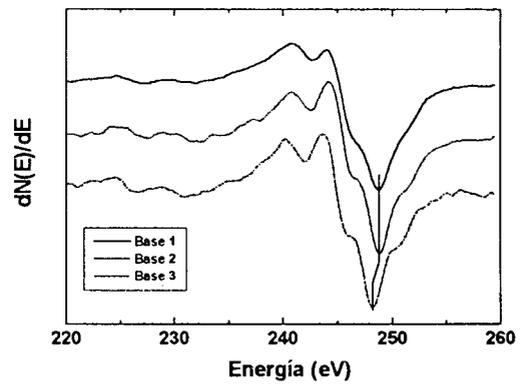


Figura 5: Espectros patrones en función de la energía.

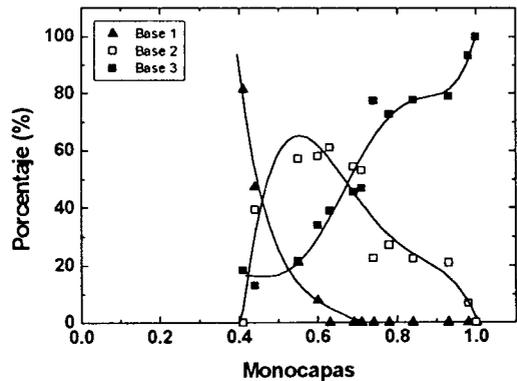


Figura 6: Pesos de cada base en función del recubrimiento de K.

Discusión.

El corrimiento de los niveles de los átomos del sustrato (As y Ga) al evaporar un metal, así también como los del adsorbato (K), se produce en cristales clivados en ultra alto vacío debido a la curvatura de las bandas (band bending) inducida por el adsorbato.⁷⁻⁹ En efecto, en cristales de GaAs clivados en el plano (110) las bandas son planas y no aparecen estados super-

ficiales en la banda prohibida. El adsorbato introduce niveles en la banda prohibida, y si el cristal está dopado aparece una curvatura de bandas, cuya magnitud y sentido depende del nivel y tipo de dopaje. En el caso de superficies preparadas por ciclos de bombardeo y recocido, las bandas están originalmente curvadas debido a la presencia de estados de defectos en la banda prohibida, por lo que al depositar el adsorbato no aparece ninguna curvatura adicional.⁵ Además, un corrimiento de este tipo se traduciría, al usar el ACP, en la aparición de tantas componentes como espectros corridos se tengan. Por el contrario, en nuestro caso, el ACP revela la existencia de solo 3 componentes independientes, siendo dos de ellas espectros de igual forma, una desplazada respecto de la otra 0.6 eV. Esta imagen corresponde a un desdoblamiento de la señal de K en dos componentes.

Este efecto ha sido previamente observado al estudiar con fotoemisión la adsorción de Cs sobre GaAs(110),¹⁰ y se ha intentado explicar de dos formas diferentes: a través de la existencia de dos sitios no equivalentes de adsorción o a la presencia, en la primera etapa de evaporación, de átomos de adsorbato aislados (menor energía cinética del electrón Auger) y grupos de átomos de adsorbato.¹ Esta última imagen es compatible con el comportamiento de los factores o bases, dado que el que correspondería a los átomos aislados (el de menor energía cinética o base 1) desaparece a recubrimientos del orden de 0.6 MC. Para poder dilucidar esto, estamos llevando

a cabo experimentos con distinto grado de daño sobre la superficie.

La tercer componente tiene cambio de forma respecto a las bases uno y dos y aparece desde el principio de la evaporación. Esto indica que la interfase K/GaAs(110) es reactiva² y que esta reacción, si bien es de poca magnitud al principio, ocurre desde el comienzo mismo de la evaporación.

Referencias.

- 1- F. Bechstedt y M. Scheffler, Surf. Sci. Rep. **18**, 145 (1993) (y referencias en la misma).
2. M. Betti, U. Del Pennino, C. Mariani, S. Valeri y J. Schaefer, Surf. Sci. **211/212**, 659 (1989).
3. K. Magnusson y B. Reihl, Phys. Rev. B **40**, 7814 (1989).
4. B. Reihl, R. Dudde, L. Johansson, K. Magnusson, S. Sorensen y S. Wiklund, Appl. Surf. Sci. **56-58**, 123 (1992).
5. J. E. Ortega, J. Ferrón, R. Miranda, C. Laubschat, M. Domke, M. Prietsch y G. Kaindl, Phys. Rev. B **39**, 12751 (1989).
6. M. Passeggi, Jr., I. Vaquila y J. Ferrón, Surf. Inter. Anal. **20**, 761 (1993).
7. R. Cao, K. Miyano, T. Kendelewicz, I. Lindau y W. E. Spicer, Phys. Rev. B **39**, 12655 (1989), J. Vac. Sci. Technol. B **7**, 919 (1989).
8. M. Prietsch, M. Domke, C. Laubschat, T. Mendel, C. Xue y G. Kaindl, Z. Phys. B **74**, 21(1989).
9. M. Prietsch, C. Laubschat, M. Domke y G. Kaindl, Europhys. Lett. **6**, 451 (1988).
10. T. Wong, N. DiNardo, D. Heskett, and E. Plummer, Phys. Rev B **41**, 12342 (1990).