

ELECTROMIGRACIÓN DE HIDRÓGENO EN ÓXIDO DE ZINC

Barbero Martín L.M, Moreno Sánchez A. y Martínez Tamayo G.
Laboratorio de Implantación iónica
Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN

Se analiza el comportamiento eléctrico de películas delgadas de ZnO dopado y sin dopar, ante aplicación de un campo eléctrico estático por tiempos prolongados. La evidencia sugiere una posible migración del hidrógeno implantado hacia los electrodos de polarización. Se presenta además indicios de que el mismo efecto de transporte sucede también para algunas impurezas intrínsecas.

ABSTRACT

The electrical behavior of hydrogen doped and undoped ZnO thin under the influence of a long term external electric field is analyzed. The evidence suggests a possible migration of implanted hydrogen towards one of the bias electrodes. Also are discussed some clues that same effect could also occur for intrinsic impurities.

INTRODUCCIÓN

La migración de impurezas atómicas o moleculares en un material originada por la aplicación de un campo eléctrico externo E se conoce como electromigración. La fuerza que la produce se compone de dos contribuciones: la fuerza directa F_d ejercida por el campo sobre la carga que efectivamente representa la impureza colocada en el medio (carga desnuda Z menos carga de polarización Z_p), tal que $F_d = eZd = e(Z - Z_p)$, siendo e la carga elemental; y la fuerza de arrastre F_w que ejerce la corriente de electrones móviles sobre la impureza.

Existe controversia en cuanto a la magnitud de la carga directa, sugiriéndose inclusive valores extremos ($Z_d = Z$ según algunos autores, $Z_d = 0$ según otros)[1]. Para el hidrógeno la situación es todavía más incierta, prediciéndose condiciones de apantallamiento que van desde su presencia como H^- hasta la interacción con el medio como ión desnudo [2]. Cualquiera sea el caso, existe consenso en que el efecto dominante en la electromigración corresponde a la fuerza de arrastre, al menos para el rango de densidades electrónicas propias de los metales [3].

DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.

Se trata de observar el posible desplazamiento de una región definida dopada con hidrógeno, sobre una película de óxido de zinc degenerado, de espesor típico 0.5 micras. A la muestra se aplica una tensión baja y constante durante un lapso de 1 a 2 horas, en una variante del experimento típico de medición de conductividad. Previamente han sido delimitados sobre la muestra 3 zonas de control: de cátodo, dopado y ánodo, fijando

para ello, en disposición paralela (a modo de electrodos), 4 alambres de cobre #40 con pintura de plata líquida (Fig. 1) [4].

La técnica de medición se basa en la lectura simultánea del voltaje de cada zona y la corriente de circuito. Se analizan primordialmente variaciones concomitantes, de fase opuesta, en las lecturas de la zona central y alguna de las zonas adyacentes (lo cual indicaría la dirección del suceso); así mismo se compara con las lecturas correspondientes de las muestras de referencia. Estos testigos se obtienen de una misma película madre que se fragmenta en cuatro muestras, 1 ó 2 de las cuales se dedica(n) a este fin. Ello asegura que muestra y referencia posee en lo posible características de fabricación similares.

La región dopada (zona central) se logra mediante el haz colimado de hidrógeno que suministra la máquina de implantación iónica del laboratorio, bajo las siguientes condiciones típicas de operación:

- Energía del haz (hidrógeno sin filtrar en masa): 12 KeV
- Corriente de iones: Aprox. 4×10^{-8} A
- Tiempo de implantación: 90- 100 min.
- Dosis: 1.5×10^{18} iones/cm²

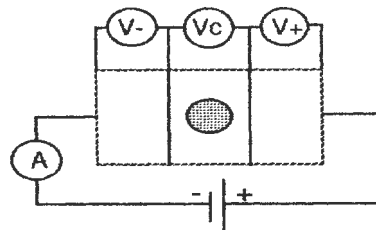


figura 1: diseño experimental para detectar el desplazamiento de la región implantada

Las muestras de ZnO se fabrican por el método de evaporación reactiva en el laboratorio de Celdas Solares de este departamento de física. Se eligieron muestras con una relativa alta conductividad (0.01 ohm-cm aprox.) que garantizaran una fuerza de arrastre suficiente.

ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO.

El comportamiento de la tensión central de las muestras implantadas comparativo a aquel de las muestras testigo permite apreciar que mientras éstas últimas observan sistemáticamente una tendencia monótona ya sea creciente o decreciente, las primeras muestras la aparición, hacia los 30 minutos, de una estructura que supone la superposición de un pico (Fig.2). Se asume que esta estructura guarda correspondencia con el paso de impurezas hidrogénicas bajo alguno de los electrodos de control de la región central.

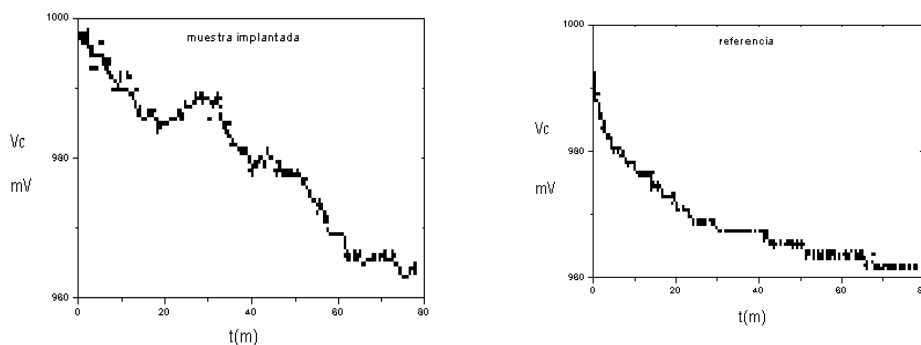


Fig 2: comportamiento temporal del voltaje en la región central (Vc)

La tendencia monótona de las muestras de referencia permitió no solamente vislumbrar un posible suceso de electromigración de hidrógeno en las muestras implantadas, sino que muestran en sí mismas un comportamiento interesante en su característica corriente-voltaje sobre los tiempos prolongados de la prueba.

Específicamente se observó un alto grado de reversibilidad en el comportamiento de las variables eléctricas al realizar inversión reiterada de la polaridad de la tensión aplicada (ej.fig.3), hecho que sugiere la posibilidad de flujo de impurezas intrínsecas hacia alguno de los electrodos de polarización.

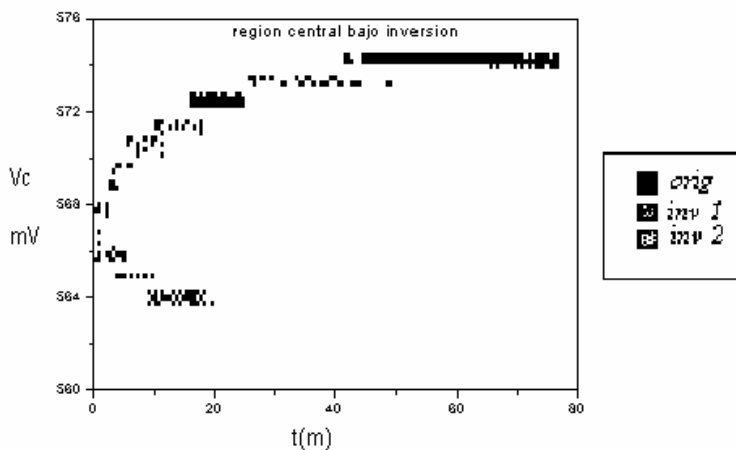


Fig 3: representación de las corrientes a través del voltaje central de una muestra de referencia

Aunque este comportamiento podría ser común a un fenómeno de polarización estática del material, nos inclinamos por la primera alternativa, como se infiere de los argumentos siguientes:

- A diferencia del proceso de transporte, un proceso de polarización de tipo capacitivo del material se vería relajado rápidamente a causa de las bajas resistencias que típicamente presentaron las muestras (algunos $K\Omega$ a decenas de ellos).

- Los procesos de polarización se caracterizan por reducir el campo eléctrico neto dentro del material, cuya manifestación es la tendencia a la disminución en la corriente. En el presente caso se observan blancos con comportamiento de corriente creciente en el tiempo.

- En algún caso aislado la muestra de referencia produjo estructuras complementarias (en contrafase) en las señales de voltaje pertenecientes a la zona central y a una zona de control adyacente, de manera análoga a lo hecho por las muestras implantadas. El hecho se interpretó también como debido al cruce inter-zonal de impurezas intrínsecas de una muestra con una marcada inhomogeneidad de su composición.

CONCLUSIONES

Se sugiere una explicación plausible a las anomalías débiles observadas en las curvas de corriente-voltaje de muestras de ZnO implantadas con hidrógeno, como un proceso de transporte de impurezas. Dado que a la energía de implante utilizada en el rango medio de penetración en el material es apenas unos 100 Å ignoramos si esta eventual migración ocurre bajo superficie, o si por el contrario, se trata más bien de un fenómeno de transporte puramente superficial.

La reversibilidad de las variables experimentales al realizar inversión de la polaridad, junto a las variaciones relativas en contrafase entre el voltaje de región central y de alguna región adyacente, permiten argumentar un posible proceso de transporte de impurezas intrínsecas dentro del material, o eventualmente sobre su superficie.

REFERENCIAS

- [1]. R.S. Sorbello, Physical Review B 31 No 2, 798 (1985)
- [2]. G.M. Martínez, J.C. Eckardt, G.H. Lantschner, N.R. Arista; Physical Review A 54 No 4, 3131 (1996)
A. Arnau, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research B 93, 195, 1994
- [3]. A.H. Verbruggen, R. Griessen, J.H. Rector; Physical Review Letters 52 No 18, 1625 (1985)
- [4]. L.M. Barbero Martín, Trabajo dirigido de la especialización en ciencias físicas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (1999)