

Electroluminiscencia bajo tensión continua de dispositivos MOS basados en nanocristales de silicio obtenidos por LPCVD

Electroluminescence from silicon nanocrystals- based LPCVD MOS devices under continuous voltage

Joan JUVERT⁽¹⁾, Jorge BARRETO⁽¹⁾, Alfredo MORALES⁽¹⁾, David IZQUIERDO⁽²⁾, José Ignacio GARCÉS⁽²⁾, Carlos DOMÍNGUEZ⁽¹⁾

1. Dept. Micro y Nanosistemas, Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB – CNM), CSIC, Campus UAB, Bellaterra 08193
2. Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza, C/ María de Luna, 1, Edificio A, L3.05 E-50018, Zaragoza, Spain.

Persona de contacto: Joan JUVERT (joan.juvert@imb-cnm.csic.es).

RESUMEN:

Se han realizado medidas de electroluminiscencia bajo tensión continua en dispositivos con nanocristales de silicio. Las capas enriquecidas en silicio se han obtenido mediante LPCVD y todo el proceso de fabricación es compatible con la tecnología CMOS. La luminiscencia bajo tensión continua se manifiesta en la aparición de puntos luminosos en la muestra. La intensidad que fluye por el dispositivo llega a un régimen de saturación así como la potencia emitida, lo cual se traduce en un máximo de eficiencia de electroluminiscencia para un cierto valor de la intensidad de corriente.

Palabras clave: silicio, electroluminiscencia, nanocristales, tensión continua, LPCVD, CMOS

ABSTRACT:

Electroluminescence measurements under continuous voltage have been carried out on devices with embedded silicon nanocrystals. Silicon excess has been achieved by means of LPCVD in a CMOS compatible procedure. Luminescence under continuous voltage is produced by the appearance of highly luminescent spots on the sample. The intensity flowing through the device reaches a saturation regime as well as the emitted power. This translates to a maximum electroluminescence efficiency for a given value of current intensity.

Key words: silicon, electroluminescence, nanocrystals, continuous voltage, LPCVD, CMOS

1.- Introducción

Las nanoestructuras de Si han atraído mucha atención en los últimos años por sus potenciales aplicaciones en LEDs [1], detectores [2] y/o memorias [3]. Actualmente se cono-

cen diversas técnicas para conseguir nanocristales de Si inmersas en matriz dieléctrica (típicamente óxido de Si). Resultan particularmente interesantes las técnicas compatibles con la tecnología CMOS, puesto que

permiten la integración en dispositivos electrónicos mediante procesos de fabricación estándar. En ese sentido, las técnicas más utilizadas son el PECVD [1, 4] (plasma enhanced chemical vapour deposition), LPCVD [5] (low pressure chemical vapour deposition) y la implantación iónica [6].

Este trabajo presenta los resultados de caracterización eléctrica y de luminiscencia de dispositivos MOS que contienen nanocristales de silicio.

La luminiscencia de las capas dieléctricas ricas en Si se produce mediante recombinaciones radiativas en el seno de los nanocristales de Si [7]. Para conseguir estas recombinaciones es necesario un flujo de carga a los nanocristales.

El uso de estructuras MOS facilita la inyección de carga al interior de los óxidos no estequiométricos. La aplicación de una tensión eléctrica a la estructura capacitiva que contiene la matriz dieléctrica produce una acumulación de carga en la superficie del óxido. Según la tensión aplicada y la distribución de nanocristales, parte de la carga puede atravesar la matriz directamente o a través de los nanocristales y desplazarse por alguno de los mecanismos de inyección conocidos (efecto túnel directo, Fowler-Nordheim, emisión Schottky, emisión de Poole-Frenkel y/o conducción por *hopping*). De este modo se pueden establecer caminos conductivos que tienen los nanocristales de Si por nodos y que permiten la conducción a través de la matriz dieléctrica [8].

2.- Experimental

Se han fabricado estructuras capacitivas utilizando una estructura MOS estándar, modificada convenientemente para la determinación de la electroluminiscencia.

Se han utilizado sustratos de Si <100> dopado con Boro ($0.1-1 \Omega \cdot \text{cm}$) así como un electrodo superior de silicio policristalino dopado hasta degeneración con Fósforo. El objetivo es crear un exceso de carga de signos opuestos a ambos extremos de la matriz de óxido. Cuando se aplique una tensión ambos tipos de carga entrarán en la matriz por extremos opuestos, generando recombinaciones radia-

tivas.

Debido a que los contactos superiores, de aluminio reflejan la práctica totalidad de la luz [9], se ha elegido un electrodo superior de silicio policristalino tipo n (ver figura 1) que permite obtener un contacto superior con propiedades conductivas suficientemente parecidas a las de un metal a la vez que permite el paso de la luz emitida por los nanocristales que se encuentran en la capa de óxido (ver figura 2). Por otro lado, el sustrato de Si actúa como un espejo, redirigiendo toda la luz hacia arriba.

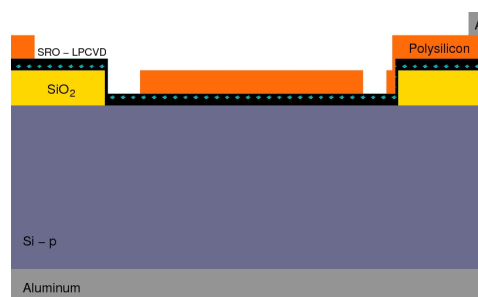


Fig. 1: Perfil de los dispositivos utilizados.

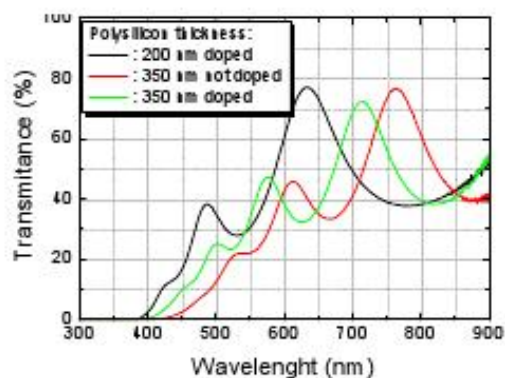


Fig. 2: Transmitancia del silicio policristalino para distintos dopajes.

La capa de óxido de silicio con nanocristales embebidos se ha obtenido mediante LPCVD (ver condiciones del proceso en la tabla 1). Después se ha aplicado un recocido de alta temperatura ($1100 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 180 min) para formar los nanocristales.

En estudios anteriores se ha demostrado que los parámetros utilizados para la formación

de la capa activa producen un exceso de silicio de aproximadamente un 4 % at. Que corresponden con un tamaño promedio de nanocrystal de ~ 1.3 nm [10].

Temperatura (°C)	720
Presión de SiH ₄ (Torr)	0,047
Presión de N ₂ O (Torr)	1,4
Tiempo de procesado (min.)	140

Tabla 1: Parámetros estándar de deposición de SiO_x por LPCVD.

Finalmente, a fin de mejorar el contacto posterior de la estructura (ver figura 1), se ha realizado una implantación de Boro en el dorso de $5 \cdot 10^{14}$ cm⁻² a 80 keV (posterior al recocido de los nanocrisales a fin de asegurar el perfil deseado) con su correspondiente recocido para activar los dopantes a 800 °C durante 30 minutos.

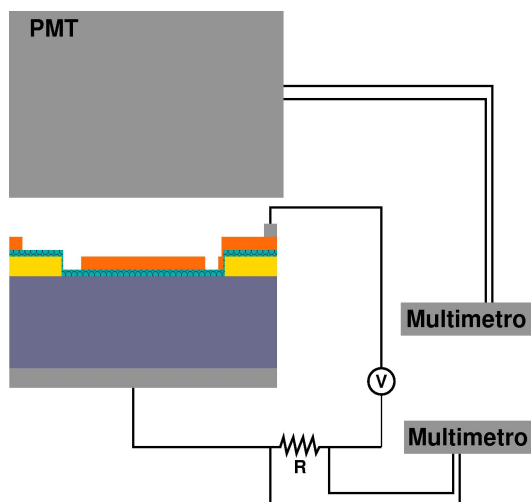


Fig. 3: Esquema de medida. Las dimensiones se han exagerado a fin de mejorar la visibilidad.

Para las medidas de luminiscencia se ha montado un circuito conectando en serie el

dispositivo con nanocrisales y una resistencia. Encima del dispositivo situamos un fotomultiplicador HAMAMATSU H5784-20. Se miden simultáneamente la electroluminiscencia, la tensión aplicada y la corriente que circula por la resistencia (ver figura 3). Los resultados se obtienen tras promediar los datos de varias medidas consecutivas. Se ha utilizado una fuente Agilent E3647A y unos multímetros 34401A y 34410A también de Agilent.

3.- Resultados

La figura 4 presenta la intensidad que circula por el dispositivo en función de la tensión aplicada al circuito. Para tensiones bajas se puede distinguir un régimen de no conducción. Al alcanzar una tensión umbral (~ 8 V) para la cual el campo eléctrico en el dispositivo es suficientemente intenso (~ 3 MV / cm) se establecen caminos conductivos. Parte de la carga que fluye se puede recombinar dando lugar a la emisión de fotones. El dispositivo llega hasta un umbral de tensión (~ 12 V, 5 MV / cm) a partir del cual la intensidad de corriente empieza a saturar. Tal y como puede verse en la figura 5 el dispositivo comienza a emitir a partir de este segundo umbral de tensión (~ 12 V). Además. Puede observarse cómo el aumento del valor de la resistencia de carga induce una disminución de la potencia emitida.

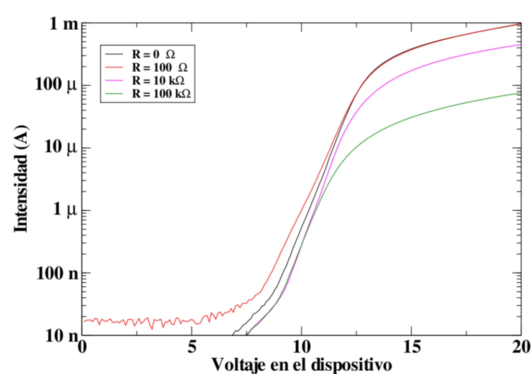


Fig. 4: Intensidad circulando por el circuito en función de la tensión aplicada.

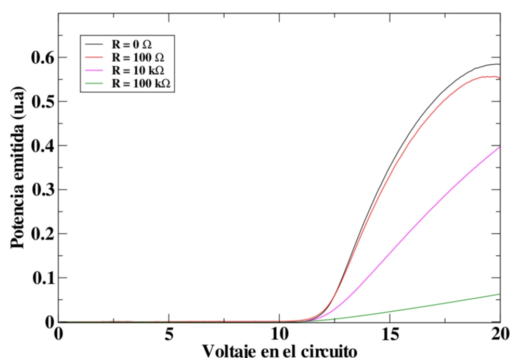


Fig. 5: Potencia emitida en función de la tensión aplicada al circuito.

En la figura 6 puede verse la relación entre potencia emitida e intensidad. Esta relación es claramente independiente del valor de la resistencia de carga. También aquí se pone de manifiesto que la potencia emitida satura para intensidades altas. Esta saturación de la potencia emitida trae consigo una disminución de la eficiencia como bien puede observarse en la figura 7. El máximo de eficiencia se encuentra en torno a los 0.3 mA, que se corresponde con el codo de la saturación de la intensidad sin resistencia de carga.

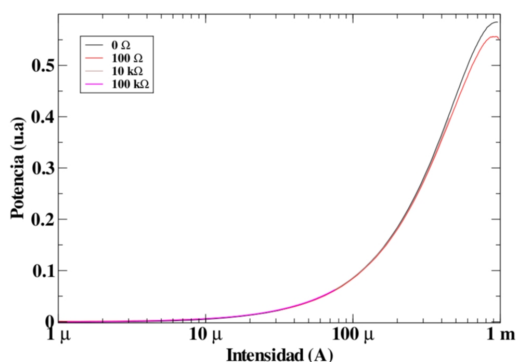


Fig. 6: Potencia emitida en función de la intensidad circulando por el circuito.

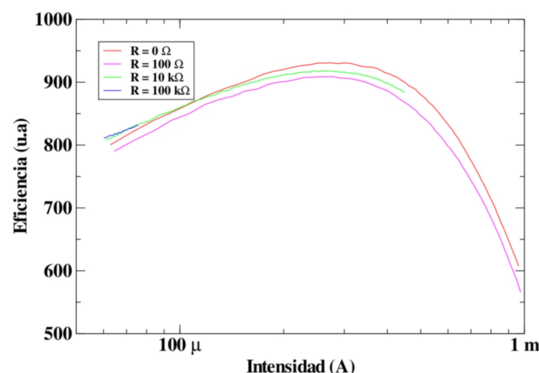


Fig. 7: Eficiencia del dispositivo.

4.- Conclusiones

Los resultados obtenidos arrojan luz sobre el origen de la electroluminiscencia de dispositivos MOS con nanocrisales de silicio bajo estimulación continua. Por otro lado, permiten identificar tres regímenes diferentes de inyección de carga en este tipo de estructuras. Haciendo uso de los modelos previamente desarrollados sobre la creación de caminos de conducción formados por cadenas de nanocrisales [8,10], se puede relacionar directamente la potencia emitida con la densidad de carga que fluye por los dispositivos.

La potencia emitida por un dispositivo empieza a crecer fuertemente cuando la intensidad comienza a saturarse, lo cual indica que en ese momento empiezan a producirse las recombinaciones radiativas que amortiguan el incremento de la intensidad que circula por el dispositivo. En otras palabras, parte de la carga se recombina radiativamente.

Por otro lado, la dependencia de la eficiencia relativa de electroluminiscencia con la corriente que circula por los dispositivos muestra que existe un rango óptimo donde la fracción de corriente que produce recombinaciones radiativas es máxima. Esto lleva a tener que buscar una solución de compromiso para lograr una eficiencia aún mayor.

Agradecimientos: Este trabajo se ha realizado con fondos del proyecto MAT2002-04484-C03-01 financiado por el Plan Nacional de Investigación y Ciencia.

Referencias

- [1] J. BARRETO, M. PERÁLVAREZ, J. A. RODRÍGUEZ, A. MORALES, M. RIERA, M. LÓPEZ, B. GARRIDO, L. LECHUGA, C. DOMÍNGUEZ, "Pulsed electroluminescence in silicon nanocrystals-based devices fabricated by PECVD", *Physica E*, 38, 193-196, 2007.
- [2] D. BERMAN-MENDOZA, M. ACEVES-MIJARES, L. RAÚL-BERRIEL-VALDOS, J. CARRANZA, J. PEDRAZA, C. DOMÍNGUEZ-HORNA, C. FALCONY, *Laser Focus World*, 41(9), 103, 2005.
- [3] T. Z. Lu, M. ALEXE, R. SCHOLZ, V. TALELAEV, M. ZACHARIAS, "Multilevel charge storage in silicon nanocrystal multilayers", *Appl. Phys. Lett.* 87, 202110, (2005)
- [4] F. PRIOLO, F. IACONA, D. PACIFICI, A. IRRERA, M. MIRITELLO, G. FRANZÒ, D. SANFILIPPO, G. DI STEFANO, AND P.G. FALLICA, "Electroluminescent Devices Based on Er-Doped Si Nanoclusters", *Appl. Phys. A*, 74 1.
- [5] Z. YU, M. ACEVES, M. A. IPIÑA, "Single electron charging and transport in silicon rich oxide", *Nanotechnology* 17, 3962-3967, 2006.
- [6] J. BARRETO, M. PERÁLVAREZ, A. MORALES, B. GARRIDO, J. MONTSERRAT, C. DOMÍNGUEZ, "Rapid Communications: Broad range adjustable emission of stacked SiNx/SiOy layers", *J. Mater. Res.* 23, 1513-1516, 2008.
- [7] F. IACONA, G. FRANZO, C. SPINELLA, "Correlation between luminescence and structural properties of Si nanocrystals", *J. Appl. Phys.* 87 (3), 1295-1303, 2000
- [8] A. MORALES-SANCHEZ, J. BARRETO, C. DOMINGUEZ, M. ACEVES J. A. LUNA-LOPEZ, "The mechanism of electrical annihilation of conductive paths and charge trapping in silicon-rich oxides", *Nanotechnology* 20, 045201, 2009.
- [9] O. S. HEAVENS, "Optical properties of thin solid films", Dover Publications, 1965
- [10] A. MORALES-SANCHEZ, J. BARRETO, C. DOMINGUEZ, M. ACEVES, Z. YU, J. A. LUNA-LOPEZ, "Coulomb blockade effects in silicon nanoparticles embedded in thin silicon-rich oxide films", *Nanotechnology* 19, 165401, 2008.