

Heteroestructuras y sus aplicaciones en la industria semiconductor

Heterostructures and their applications in the semiconductor industry

Arroyo E. Adrián*, Teresa Romero

*Autor de correspondencia: adrianarroyo@uadec.edu.mx

Universidad Autónoma de Coahuila. Facultad de Ciencias Químicas. Boulevard V. Carranza. Col. República. Saltillo Coahuila. C.P. 25000.

Resumen

En este documento se quiere plantear un enfoque sobre las heteroestructuras, las ventajas de su uso para la creación de semiconductores viables para la industria. El desarrollo de las técnicas para la creación de semiconductores ha producido un gran avance en el campo de la electrónica, debido al control que estas técnicas ofrecen mejorando las propiedades de la fabricación obteniendo un mayor soporte eléctrico, dureza y resistividad aplicables para la industria electrónica, las propiedades que se obtienen al combinar un componente con otro de diferentes características y las ventajas y desventajas de éstos al momento de aplicarlos.

Palabras Clave: *Heteroestructuras, Semiconductor.*

Abstract

This document is focused on the heterostructures, the advantages of their use for the creation of semiconductors viable for the industry. The development of techniques for the creation of semiconductors has produced a great advance in the field of electronics, due to the control that these techniques offer improving the properties of manufacture, obtaining a greater electrical support, hardness and resistivity applicable to the electronics industry, the properties that are obtained when combining a component with another of different characteristics as well as the advantages and disadvantages of these at the moment of applying them.

Keywords: *Heterostructures, Semiconductor.*

Introducción

En la última década, el estudio de heteroestructuras tiene mucha innovación debido a las grandes aplicaciones que se obtienen al combinar dos estructuras. Las propiedades que se obtienen al combinar elementos con características similares, o los cuales por algún método de caracterización o síntesis se pueden apilar o combinar, son de gran ayuda en la industria para la fabricación de semiconductores. Se pueden emplear materiales con grandes propiedades electromecánicas, flexibilidad y resistividad para crear en la industria semiconductores viables y más baratos [1-2]. La forma más simple

de heteroestructura es la unión de los dos materiales semiconductores diferentes, lo que es conocido como una heterounión [1,2]. También, se pueden obtener capas de alta calidad basadas en materiales óxidos [3,4].

Al fabricar estos semiconductores una de las principales metas que se desea obtener es un equilibrio entre ambas fases, generando un flujo de carga estable entre ellos [4]. Para la creación de nuevas tecnologías, se necesita combinar elementos conocidos por sus excelentes propiedades mecánicas, eléctricas o magnéticas para realizar una agrupación con materiales de bajas características o propiedades similares ya sean internas o externas, para la innovación y el descubrimiento de herramientas más eficaces al momento de optimizar materiales [4].

Una de las principales aplicaciones de heteroestructuras semiconductoras son para láseres de diodo, diodos emisores de luz, diodos detectores ópticos y celdas solares.

En la industria se requieren nuevos semiconductores debido a la frágil maleabilidad de los materiales que están contruidos. Con el desarrollo de las nuevas tecnologías se pueden realizar cálculos para la simulación del comportamiento y tener resultados aproximados de esta técnica para prevenir ciertos resultados.

El objetivo de este documento es la divulgación de conocimientos sobre heteroestructuras enfocándose a diversas aplicaciones principalmente en la industria electrónica, aparatos tecnológicos y semiconductores con propiedades más resistentes o con gran soporte eléctrico.

Conceptos relevantes

Se le llama “heteroestructura” a la unión de dos semiconductores distintos, de manera que la composición química del sistema en conjunto cambie con la posición. Una heteroestructura semiconductoras consiste en dos o más capas con diferente ancho de banda prohibida (gap) [3,4]. Los semiconductores de una heteroestructura son generalmente compuestos como el Arseniuro de Galio (GaAs) de los grupos III y V de la tabla periódica o semiconductores como el Germanio (Ge) ó el Silicio (Si). Dependiendo de cada aplicación estos materiales son dopados con impurezas que reemplazan algunos átomos de la estructura cristalina (In ó Al en reemplazo de Ga; P, Sb ó N en reemplazo de As) [1,4,5]. A continuación, se muestra una heteroestructura a base de grafeno cuyas características podrían dar lugar a una futura generación de teléfonos móviles, tabletas o televisores flexibles (Figura 1).

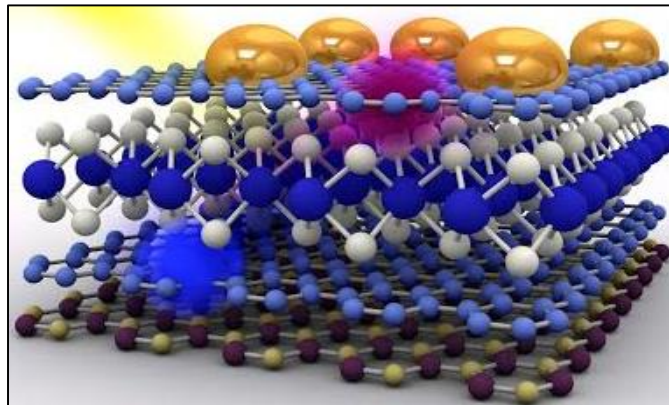


Figura 1. Representación de una heteroestructura semiconductor para crear LEDs (pantallas) basada en grafeno.

El estudio de heteroestructuras ha sido muy experimentado en la actualidad. Los principales avances que se obtuvieron fueron en los años ochenta y noventa [5,6]. Un estudio realizado por A. Oiwa y colaboradores, menciona que se pueden agrupar estructuras con propiedades similares y así obtener heteroestructuras viables y aplicables para semiconductores [2,5,6]. En estos documentos se menciona, que al unir una estructura sobre otra con propiedades similares se obtiene la combinación de estas propiedades.

Debido a la gran demanda de materiales semiconductores, cada día son mayores los requerimientos técnicos en la fabricación de dispositivos de alta tecnología. Por ejemplo, la pureza tiene que ser del orden de ppb (partes por billón), y el número de defectos de la estructura cristalina debe ser extremadamente bajo [7].

Las capas individuales, dentro de un compuesto multicapas, tienen que acoplarse perfectamente a la estructura cristalina; para minimizar las tensiones, y las transiciones estructurales entre capas tienen que ser abruptas [8].

De manera concreta, las propiedades físicas de los materiales óxidos que forman una bicapa están fuertemente influenciadas por efectos de interfaz en las superficies de contacto sustrato/película y en la interfaz entre los dos materiales de la bicapa. Este efecto de interfaz se refleja en la estructura cristalina y morfología, y en las propiedades físicas - característica principalmente como el magnetismo, la conductividad [8,9].

Actualmente los estudios de heteroestructuras para semiconductores han ido en decremento debido a que se realizaron estudios muy importantes como dopaje con tierras raras y obtención de brecha energética más eficiente, así como resistencia a grandes cantidades de energía. En la Figura 2 se puede apreciar un semiconductor dopado con escandio teniendo mejor conductividad y durabilidad en su uso cotidiano [9].



Figura 2. Semiconductor creado con tierras raras (escandio) para mejora de la conductividad eléctrica y mayor tiempo de vida.

Debido a las excelentes propiedades que se obtienen en las heteroestructuras, se han realizado experimentos como la fotocatalisis utilizando su banda energética para el limpiado de aguas residuales [10]. Las técnicas de crecimiento y procesado, masterización de materiales, propiedades mejoradas es resultado de impresionantes avances en montajes experimentales y herramientas espectroscópicas, aplicación de nuevos conceptos de estructuras y dispositivos en funcionamiento, la comprensión de nuevos fenómenos físicos, aprovechamiento de aspectos relativos al acoplamiento de electrones, fotones y fonones en baja dimensión. La mayoría de estos desarrollos son, por así decirlo, relativamente recientes [11].



Figura 3. Imagen de un circuito eléctrico de una pantalla de LEDS con semiconductores hecho con heteroestructuras para aumentar su resistencia a la electricidad.

El desarrollo de heteroestructuras ha permitido que la era de la miniaturización tecnológica haya visto la luz en forma de circuitos integrados o microcircuitos que reúnen todos los componentes básicos que requiere un circuito electrónico (Figura 3): resistores, capacitores, semiconductores y transistores, sustituyendo las conexiones alámbricas de berilio por capas de aluminio y mejorando su funcionalidad al emplear elementos compuestos por diferentes tipos de semiconductores [12,13]. Debido a esto, se han lo-

grado realizar circuitos y microcircuitos de diferentes elementos y para diversas aplicaciones. A continuación, se presenta un ejemplo de un microcircuito de aluminio (Figura 4).

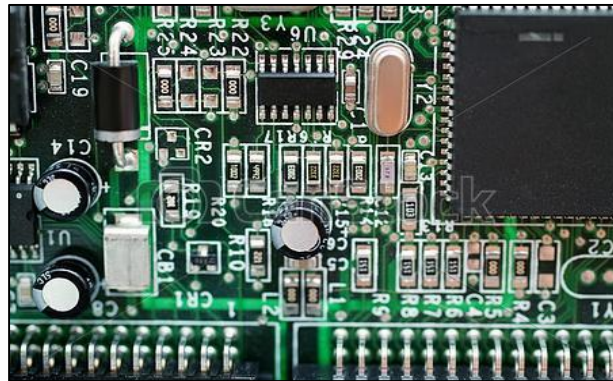


Figura 4. Placa de microcircuito integrado de aluminio para computadora y computadora portátil.

Conclusiones

Los éxitos obtenidos en las primeras investigaciones fueron seguidos por una enorme cantidad de trabajos enfocados al mejoramiento de materiales semiconductores a base de heteroestructuras, comprendiendo el efecto de las posibles fallas y controlando las variadas propiedades esenciales que se usan en los sistemas de comunicaciones modernos.

Con el estudio de heteroestructuras, se lograron crear semiconductores de gran resistencia principalmente a la electricidad soportando grandes cargas. Se ha logrado disponer de circuitos electrónicos variados y eficientes que han desembocado en la creación de aparatos y aplicaciones, como los LED. Las heteroestructuras tienen un importante impacto en la ciencia y tecnología moderna y son el fundamento de los transistores de alta frecuencia y de los dispositivos optoelectrónicos. Gracias a las ventajas de éstas, se puede controlar el movimiento de los portadores de carga en los semiconductores, lo que se ha aprovechado de manera eficaz en la industria semiconductora, principalmente en la elaboración de circuitos eléctricos. Todo esto favorece el desarrollo de la era tecnológica actual que sin lugar a dudas beneficia significativamente al progreso de la industria electrónica [12,13,14].

Referencias

1. Lommer, G., Malcher F, Rossler, U. (1998) Spin splitting in semiconductor heterostructures for $B \rightarrow 0$. Physical Review Letters, 2:2-3.
2. Oiwa, A., Hirasawa, M., Katsumoto, S. 2002. Ferromagnetic order induced by photogenerated carriers in magnetic III-V semiconductor heterostructures of (In, Mn) As/GaSb. Physical Review Letters, 4:3-5.

3. Simon, J., Protasenko, V., Lian, C., Xing, H., Jena, D. (2010) Polarization-induced hole doping in wide-band-gap uniaxial semiconductor heterostructures. *Science*, 2010: 1-3.
4. Bastard, G. (2016) *Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures* (Les Editions de Physique, Paris, 1988), p. 317.
5. Enoki, T., Suzuki, M., Endo M. (2003) *Graphite intercalation compounds and applications*. Oxford University Press, New York, p.23.
6. Hsieh, J.J., Rossi, J.A., Donnelly, J.P. (2015) Room-temperature CW operation of GaInAsP/InP double-heterostructure diode lasers emitting at 1.1 μm . *Appl. Phys. Lett.*, 28 (12): 709-711.
7. Alferov, Zh.I., Kazarinov, R.F. (2013) Semiconductor laser with electrical pumping". U.S.S.R. Patent- Author's certificate 181.737, claim 950, 840, Mar. 30.
8. Zambrano Gustavo, E.M. (2017) Study of interface phenomena in heterostructures based on complex oxides. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas Politécnico de México. Pp. 24.
9. Chang, L.L., Esaki, L. (2010) Semiconductor quantum heterostructures. *Physics Today*, 45: 36-43.
10. Sun, Z., Yang, Z., Zhou, J., Yeung, M. H., Ni, W., Wu, H., Wang, J.A. (2009) General approach to the synthesis of gold-metal sulfide core-shell and heterostructures. *Angew. Chem., Int. Ed*, 48: 2881-2885.
11. Bengonchea, A.M. (2012) Crecimiento, fabricación y caracterización de heteroestructuras y nanocolumnas ordenadas basadas en nitruros del grupo III para la aplicación de sensores. Departamento de ingeniería electrónica, Escuela superior de ingenieros. P. 341.
12. Dutta, S.K., Mehetor, S.K., Pradhan, N. (2014) Metal semiconductor heterostructures for photocatalytic conversion of light energy. Department of Materials Science and Center for Advanced Materials. Indian Association for the Cultivation of Science, Kolkata 700032, p.18-25, India.
13. Bastard, G. (2016) *Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures*. Editions de Physique, Paris, 1988, p. 317.
14. Le, N.B., Huan, T.D., Woods, L.M. (2016) Interlayer interactions in van der waals heterostructures: electron and phonon properties. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8 (9): 6286-6292.