

El futuro del grafeno (III): desarrollo de dispositivos electrónicos

Autores: Luis Miguel Requejo Morcillo, OT MAT, SDG PLATIN; Yolanda Benzi Rabazas, OT ELEC, SDG PLATIN.

Palabras clave: grafeno, electrónica, transistor, flexible.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 2.1.1; MT 2.1.2; MT 2.1.3; MT 2.1.4; MT 2.2.5; MT 4.3.4

Este tercer capítulo se centra en la generación de futuros dispositivos electrónicos de interés para la defensa, más concretamente en la mejora de la capacidad de los transistores actuales y en el desarrollo de lo que se denomina como electrónica flexible.

Las propiedades ya conocidas que presenta el grafeno (material existente más delgado, casi transparente, más resistente, rígido y a su vez elástico, con mayor conductividad térmica, con una muy elevada movilidad de los portadores de carga, etc.) han hecho de éste un complemento e incluso un futuro sustituto del silicio en el ámbito de la electrónica y los circuitos integrados, así como la base sobre la que construir una nueva generación de dispositivos electrónicos flexibles.

Transistores y circuitos integrados

En la actualidad, la mayoría de los circuitos integrados que se fabrican utilizan la tecnología CMOS (*Complementary-symmetry Metal-Oxide-Semiconductor*), fundamentada en el silicio. Esto incluye microprocesadores, memorias, procesadores digitales de señales y muchos otros tipos de circuitos integrados digitales.

Los transistores de silicio, diminutos conmutadores que transmiten información en un chip, se han vuelto año tras año cada vez más pequeños (llegando a la nanoescala) para aumentar la velocidad a la que se desplazan los electrones. De acuerdo a la Ley de Moore, según la cual cada dos años se duplica el número de transistores en un circuito integrado, para el año 2024, la tecnología nos habrá llevado hasta los 7 nanómetros de separación entre los transistores, punto en el que la velocidad, consumo y tamaño había llegado al mínimo posible utilizando el silicio como base (según ITRS - *International Technology Roadmap for Semiconductors*). Actualmente, los fabricantes están trabajando con tamaños de 14 nanómetros. Por ello, existe una necesidad cada vez más urgente de buscar nuevos materiales y diseños de arquitectura de circuitos para el procesamiento y almacenaje de información que superen las limitaciones de la actual tecnología a medida que nos acercamos a estos límites.

De momento no hay una alternativa viable que ofrezca las ventajas de la

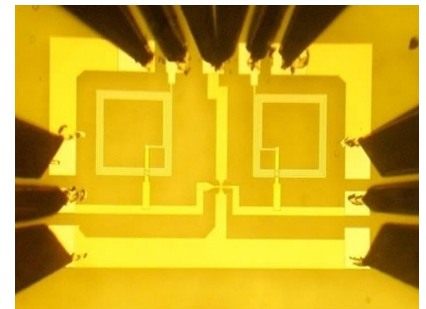


Fig. 2. La empresa IBM ha fabricado el primer circuito integrado de grafeno que aparece en la imagen. (Fuente: www.grafeno.com).

tecnología CMOS, pero se piensa en el grafeno como una opción posible. Este material podría ser utilizado para la fabricación de dispositivos electrónicos de altas prestaciones. En un principio se piensa que el grafeno podría ser incorporado en heteroestructuras basadas en la tecnología CMOS de silicio y en sustratos poliméricos.

Pasar de los dispositivos individuales a circuitos integrados más complejos es la tarea más exigente cuando se trata de aprovechar el potencial del grafeno en electrónica. Investigadores que participan en el Programa *Graphene Flagship* están desarrollando y optimizando procesos escalables para la fabricación de dispositivos de alta frecuencia. Han diseñado un primer demostrador de circuito: un receptor para la banda de milimétricas (75 a 115 GHz). El diseño se basa en transistores de efecto de campo (FET) de grafeno, utilizando una tecnología de fabricación por transferencia a sustratos de silicio y poliméricos.

Receptores en esta gama de frecuencias se utilizan comúnmente para aplicaciones de radar y de comunicaciones, ya sean móviles, terrestres o por satélite. Se espera que la fabricación de circuitos integrados de alta frecuencia basados en grafeno suponga un salto cualitativo en la capacidad actual de los dispositivos inalámbricos, debido fundamentalmente a un aumento en su rendimiento acompañado de reducciones considerables en términos de tamaño, peso y consumo. Las ventajas ofrecidas afectarían tanto a los terminales de comunicaciones del combatiente como a los diferentes sistemas que vayan embarcados en plataformas (radares, antenas, etc.).

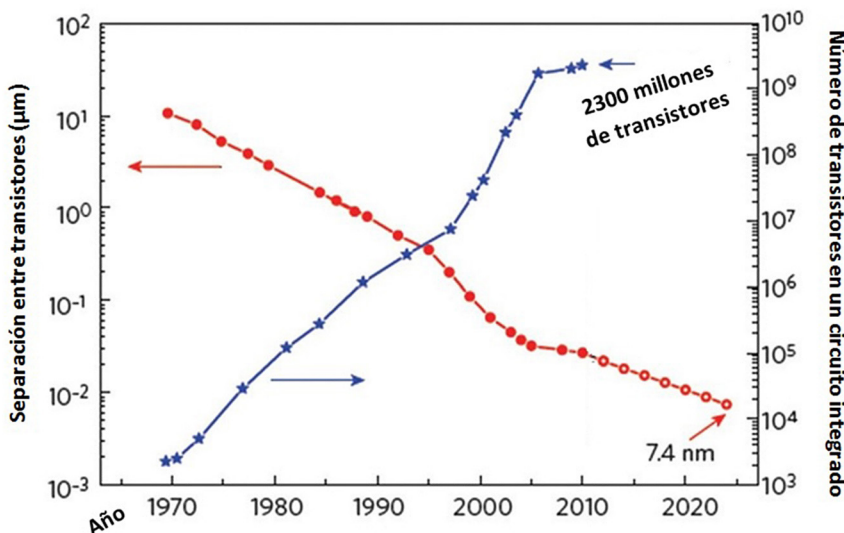


Fig. 1. Evolución y tendencia del número de transistores y de la separación entre transistores. (Fuente: Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems – Royal Society of Chemistry).

Electrónica Flexible

La electrónica basada en silicio convencional es inherentemente rígida, pero circuitos flexibles basados en el grafeno pueden abrir una gran cantidad de posibilidades que complementarían y mejorarían las tecnologías establecidas. El uso de circuitos electrónicos flexibles haría posible el desarrollo de dispositivos nuevos, como ordenadores tipo «*tablet*» que se pudieran enrollar o plegar, textiles con sensores integrados, etc.

Una lámina de grafeno puede conducir electrones rápidamente casi sin calentarse y además puede ser totalmente transparente. Se comporta como una membrana impermeable, químicamente inerte y estable, resistente desde un punto de vista mecánico, muy flexible, y por tanto podría usarse en el desarrollo de futuras pantallas táctiles flexibles. Estas características hacen del grafeno un material ideal como conductor transparente de próxima generación, sustituto del óxido de indio y estaño (ITO), actualmente utilizado en la fabricación de películas conductoras transparentes. Y es que la escasez de indio y su fragilidad, que hace que sea difícil de usar cuando la flexibilidad es un requisito, han provocado que un importante número de empresas y centros de tecnología buscando un sustituto del ITO.

Desde el punto de vista militar, uno de los mayores beneficiarios sería el propio soldado. Un soldado tiene que cargar con una gran diversidad de dispositivos electrónicos para mejorar su efectividad en combate, (unidad GPS para localizar la posición de la unidad, ordenadores portátiles para recibir imágenes por satélites del entorno, guías por infrarrojos para marcar objetivos en tierra, sistemas de vigilancia, etc.) lo cual resulta en una pérdida de movilidad y operatividad del mismo. La solución a esta problemática podría pasar por el empleo de dispositivos electrónicos

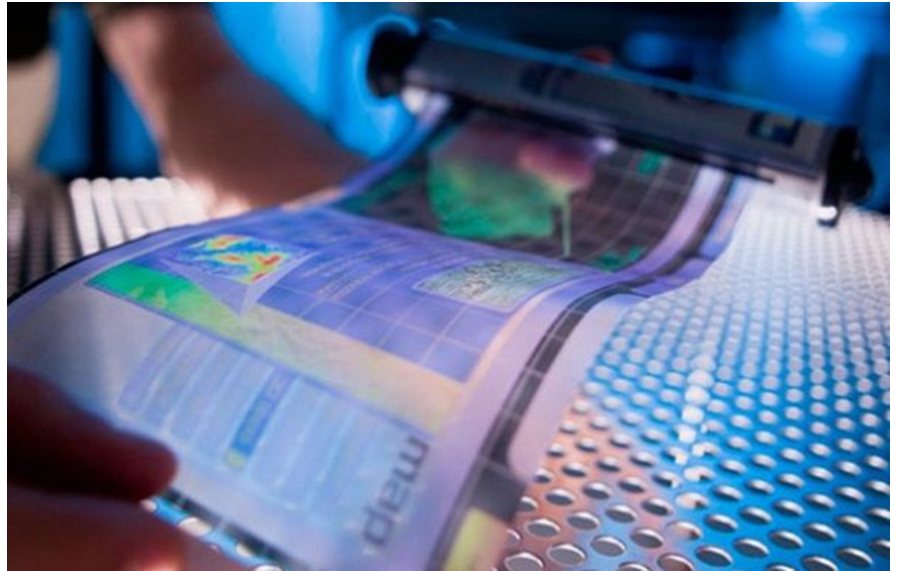


Fig. 3. El grafeno podría ser el material clave para el desarrollo de futuros dispositivos electrónicos flexibles.

(Fuente: <http://blog.i-mas.com/2050/el-grafeno-revolucionando-la-electronica/>).

flexibles y resistentes, que podrían ir integrados en el propio uniforme o acoplados a alguna extremidad, mediante los cuales se podría acceder rápidamente a la información que apareciese en la pantalla, como por ejemplo la situación en el campo de batalla, o cambios de objetivo o estratégicos, etc.

Estado actual y futuro

Actualmente, la tecnología necesaria para producir circuitos de grafeno se encuentra todavía dando los primeros pasos, pero se esperan grandes avances tecnológicos en los próximos 5 años que permitirán disponer de dispositivos electrónicos de grafeno comercializables durante los próximos 10 años.

Uno de los desafíos para la obtención de transistores de grafeno es su integración con otros componentes en un solo chip debido principalmente a una mala adherencia del grafeno con metales y óxidos y a la falta de sistemas de fabricación fiables de dispositivos y circuitos de manera reproducible.

Actualmente se ha conseguido fabricar transistores y circuitos de grafeno, sobre superficies rígidas con técnicas de fabricación de chips convencionales, obteniéndose velocidades de conmutación récord dentro de la electrónica. Pero cuando se ha intentado aprovechar la resistencia del grafeno y su flexibilidad para dispositivos de plástico, esta velocidad cae en picado. La electrónica flexible implica el desarrollo de procesos de fabricación adecuados, y la integración de componentes flexibles en los sistemas. Se van dando pequeños pasos en este sentido y, a día de hoy, se ha logrado con éxito la fabricación de transistores de grafeno flexibles en obleas de aproximadamente 15 cm.

Por otra parte, indicar que la aplicación del grafeno en el sector de la electrónica de consumo está limitado por el alto coste del material (se emplea grafeno de gran calidad). Por ello, uno de los retos más importantes es el desarrollo de procesos de fabricación de grafeno de alta calidad (monocapa y sin defectos) a gran escala.