

Nuevos aislantes para los transistores del futuro

Investigadores de la UCM prueban nuevas técnicas y materiales para asegurar la capacidad aislante y la óptima funcionalidad de dispositivos microelectrónicos cada vez más pequeños

El transistor es el elemento fundamental de cualquier circuito. La carrera por reducir el tamaño y aumentar las capacidades de artículos electrónicos tales como ordenadores y teléfonos móviles, se enfrenta a limitaciones físicas y técnicas cada vez más difíciles de superar. Germán González e Ignacio Mártil dirigen una investigación dedicada a obtener y estudiar dieléctricos –aislantes- de alta permitividad para que los transistores puedan continuar reduciéndose, sin perder funcionalidad. La sustitución del óxido de silicio, utilizado en la industria microelectrónica desde la década de los 50, permite contribuir a solucionar uno de los mayores problemas de la microelectrónica actual

Sabrina Bagarella

“Realizar dieléctricos de alta permitividad es trabajar en una de las áreas más críticas de la tecnología microelectrónica actual” afirman Germán González e Ignacio Mártil sobre la investigación en la que trabajan desde 1992. La industria microelectrónica basa sus productos en circuitos integrados realizados con una tecnología que se conoce desde hace más de 40 años. Aunque se han ido mejorando y optimizando con el paso del tiempo, éstos circuitos siguen funcionando a base de transistores de silicio, el cual tiene una propiedad única: una fácil oxidación que genera unas características aislantes excelentes.

¿Por qué interesa que un semiconductor produzca un óxido que tenga buenas propiedades como aislante? Actualmente los circuitos integrados están compuestos de 2 tipos de transistores: Por una parte, los transistores bipolares, que necesitan el óxido como elemento pasivo de manera tal que aisle a un transistor de otro, sin que se afecte el funcionamiento de cada uno por separado. En los transistores de efecto campo, por el contrario, el óxido – el aislante- es una parte estructural del dispositivo y de su funcionamiento.

El transistor de efecto campo se compone de un drenador y una fuente - de características equivalentes-, los cuales se comunican a través de una estructura de metal aislante semiconductor, en la que el aislante es actualmente el óxido de silicio. Si en el metal se aplican ciertas tensiones, el drenador y la fuente logran conectarse eléctricamente. “En electrónica digital, cuando no pasa corriente equivale a 0, si pasa, equivale a 1”, precisa Ignacio Mártil, recordando el lenguaje binario básico en todo equipo digital.

Los investigadores señalan que el aislante con ciertas “incrustaciones” tiene diferentes propiedades, que incluso puede transformarse en una memoria. Mientras más memoria tiene un ordenador, mayor es su capacidad funcional. “Se ha podido pasar en pocos años de memorias RAM de decenas de kilobytes a gigabytes gracias a la



Ignacio Mártil y Germán González

El aislante es una parte estructural e indispensable de los transistores de efecto campo



Equipo de la Sala Blanca de la Facultad de Físicas (UCM)

reducción de tamaño de los transistores. Al reducir el tamaño, hay que reducir todas las dimensiones, incluso la distancia entre el drenador y la fuente y el espesor del aislante”, comenta Germán González.

Para que la estructura de metal aislante semiconductor siga cumpliendo su función en tamaños tan súper reducidos – unos 2 nanómetros (dos milmillonésimas de metro)- el aislante tiene que ser suficientemente denso como para soportar las tensiones eléctricas de manera adecuada. “Existen cientos de problemas relacionados para resolver, pero éste es nuestro nicho tecnológico, lo que intentamos solucionar”, afirma Ignacio Mártil.

Miniaturización: Un “gran” problema

El problema de la miniaturización en los aislantes aparece en la literatura científica desde hace unos diez años, aproximadamente. Antes, con las cualidades del silicio y su óxido resultaba absurdo plantearse remplazarlo. Pero la necesidad de hacer transistores cada vez más pequeños nos lleva a buscar otras alternativas. ¿Por qué esta necesidad de hacer transistores cada vez más pequeños? “El mercado de consumo es el que empuja estos cambios” comentan Germán González e Ignacio Mártil, quienes consideran que “los PC y los teléfonos móviles son los motores de la industria microelectrónica actual”, mientras que en otros tiempos lo eran las necesidades militares.

El “cuello de botella” consiste en conseguir un aislante de mayor espesor físico que el óxido de silicio, pero que tenga su mismo comportamiento eléctrico. El problema es que el comportamiento eléctrico del silicio y de su óxido es difícilmente emulable. Cuando se intenta depositar un aislante distinto del óxido de silicio en la intercara, ésta se destruye.

Para solucionar este problema, la investigación de los doctores Mártil y González se plantea:

1. Encontrar una técnica que minimice la destrucción de la intercara entre el aislante y el silicio durante la formación de dicho aislante
2. Lograr una técnica que permita extrapolar los resultados exitosos a la industria que quiera hacerlo
3. Encontrar técnicas complementarias que permitan reconstruir la intercara tras haber depositado el aislante

“Para sustituir al óxido de silicio, cuya permitividad es de 4, el dieléctrico sustituto debe tener una permitividad mayor a 20”, indican los investigadores, recordando que la permitividad es la cualidad intrínseca de cualquier aislante.

El estudio de las propiedades de otros materiales que puedan cumplir con este requisito resulta prioritario. Mártil indica que han tenido “resultados excelentes” con el óxido de titanio (TiO_2), cuya permitividad es de 90. El óxido de hafnio (HfO_2) y el óxido de zirconio (ZrO_2) son otros dieléctricos que, según ambos investigadores, “están dando resultados prometedores” con una permitividad de 30, aproximadamente.

Para realizar estas pruebas, los investigadores utilizan una técnica que nadie había aplicado en esta área, extrapolada del campo de superconductores de alta

González y Mártil prueban dieléctricos de permitividad mayor a la del óxido de silicio con una técnica novedosa extrapolada de otro campo de la electrónica

temperatura crítica. “En definitiva, los superconductores son también óxidos metálicos. Si la técnica funcionaba con ellos ¿por qué no con lo nuestro?”, comentan.

Para sacar la investigación adelante, hizo falta la financiación del Ministerio de Educación y Ciencia y del Fondo de Desarrollo Regional (FEDER) a fin de montar el laboratorio con las máquinas necesarias, muchas de las cuales han sido ensambladas por los mismos Germán e Ignacio con ayuda de técnicos de la facultad. “Los técnicos en los grupos de investigación aportan una visión más tridimensional de las cosas y los equipos. Aportan soluciones prácticas.”

La Sala Blanca, un laboratorio resguardado de contaminación externa, es donde se realiza el depósito y procesado de los aislantes, la parte más crítica de la investigación. El análisis necesario para la caracterización de los materiales se realiza en otros laboratorios, entre los que se cuentan 4 españoles y uno en Alemania. “A diferencia de la mayoría de los centros de investigación en España, nosotros nos encargamos de producir, más que de analizar”, comenta Germán González .

Los investigadores utilizan además las instalaciones del Centro de Asistencia al Investigador (CAI) de Técnicas Físicas de la Facultad, antes Centro de Implantación Iónica, el cual fue dirigido por el doctor González durante varios años. Allí someten las láminas con el óxido aislante a temperaturas de 1300 grados a fin de mejorar las propiedades del dieléctrico y de la intercara.

A diferencia de la Sala Blanca, el CAI presta servicios a cualquiera que los solicite, bien sea otras facultades o incluso empresas privadas. Posee un implantador microelectrónico prácticamente nuevo cuyo objetivo esencial es la realización de impurificaciones de semiconductores. La aplicación más importante es, sin lugar a dudas, la elaboración de dispositivos electrónicos como los transistores, o bien optoelectrónicos tales como detectores y LEDs.

“Contamos con un equipo más que aceptable para los niveles españoles”, comenta Ignacio Mártil, a la vez que González señala la dificultad de encontrar salidas a la investigación que les ocupa por la ausencia de industria microelectrónica en España. “ En nuestro país no hay interés en este campo porque no existe un parque industrial de este sector”, afirma, si bien la preocupación por la microelectrónica es notable sobretodo en países como EEUU, Japón, y, por supuesto, el sureste asiático, donde se fabrican la inmensa mayoría de los transistores y chips que se utilizan en todo el mundo.

Sobre el futuro de esta línea de investigación, Germán González comenta que la nanotecnología de la que ahora se habla tanto y que es usada extensivamente para definir las ciencias y técnicas que se aplican a un nivel de nanoescala, es decir, de unas medidas extremadamente pequeñas, no es un tema nuevo para la microelectrónica. “Las técnicas originarias de la microelectrónica se extrapolan a otros campos”, señalan los investigadores, quienes a pesar de las limitaciones nacionales están conscientes de que su sector es y seguirá siendo de una gran importancia en la ciencia y la industria mundial.

En el equipo de González y Mártil hay investigadores que colaboran con centros en Inglaterra y Alemania, lo que consideran una manera de nutrir al proyecto y asegurar



Equipo en proceso de ensamblaje en el CAI de Técnicas Físicas

su vigencia. “No hay que olvidar que trabajamos en una universidad”, puntualiza Mártel. “Nuestra idea es ofrecerle a nuestros doctorandos temas de tesis con futuro, que resulten realizables”.

La importancia de la publicación y la docencia para el investigador

“Publica o muere”, dicen los americanos. Esta es una afirmación que Ignacio Mártel y Germán González se toman muy en serio, lo que queda demostrado en los 8 o 10 trabajos por año que publican en los medios impresos sobre física más prestigiosos del mundo. “Todo lo publicamos en inglés, nada en español”, comenta el doctor Mártel, no sólo porque las mejores revistas científicas se editan en ese idioma, sino porque el interés por la microelectrónica es notable fuera de España.

“Este es un terreno muy abierto por lo que, a pesar de las dificultades, es posible publicar sobre estos temas de investigación”, comentan los investigadores, a la vez que señalan que las publicaciones científicas constituyen para ellos una importante fuente de consulta y conocimiento.

Según Germán González “el investigador busca al publicar su perfeccionamiento personal, pero debe de tener cuidado.” Al respecto comenta que es habitual juzgar al hombre de ciencia por el número de publicaciones que ha generado, sin tomar en cuenta su trayectoria docente. “Separar al investigador de la docencia es un error, lo mismo que separar al docente de la investigación”.

En el aspecto docente, los investigadores recuerdan con especial afecto unas prácticas de laboratorio de alumnos que fueron publicadas por el prestigioso *American Journal of Physics*, y que aparecen citadas en otros trabajos. “Cuando nos dirigimos a nuestros alumnos les decimos: Sabéis lo mismo que cualquiera, podéis hacer cualquier cosa...como en el caso de un grupo de estudiantes de la Universidad de Marsella, quienes desarrollaron un equipo en los laboratorios de la facultad y terminaron comercializándolo a nivel industrial”

FICHA TÉCNICA

Centro: Dpto. de Físicas III. UCM

Directores: Germán González e Ignacio Mártel

Dirección: Facultad de Ciencias Físicas.
Ciudad Universitaria, Madrid

Teléfono: 91 394 4443

Email: germang@fis.ucm.es

imartil@fis.ucm.es

Página web: <http://www.ucm.es/info/electron/>

Líneas de investigación: Realización de transistores de efecto campo con dieléctricos de alta permitividad para aplicaciones microelectrónicas, entre otros.