

La memoria del futuro

Un filme ferroeléctrico en delgadísimas capas podrá reemplazar a las películas ferromagnéticas de las computadoras

Yuri Vasconcelos

Un filme ferroeléctrico constituido por finísimas capas de un material semiconductor podrá utilizarse para la fabricación de memorias que equipan computadoras y una infinidad de dispositivos electrónicos, con ventajas sobre las películas ferromagnéticas empleadas actualmente por la industria de semiconductores para la producción de *chips*. La capacidad de almacenamiento de ese nuevo material, creado a mediados de la década pasada en el Centro Multidisciplinario para el Desarrollo de Materiales Cerámicos (CMDMC), es hasta 250 veces mayor que la de las memorias convencionales. Su durabilidad también es inmensamente superior: alrededor de 300 años, frente a los cinco años de los chips actuales.

La novedad podrá aportar grandes beneficios a los consumidores, y también sugerir nuevos rumbos a la industria de informática y electrónica en el ámbito nacional e internacional, de acuerdo con los investigadores que toman parte en este desarrollo. Los trabajos estuvieron a cargo de dos grupos de investigadores, uno de

ellos coordinado por el profesor José Arana Varela, del Laboratorio Interdisciplinario de Electroquímica y Cerámica (Liec) de la Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Araraquara, y el otro por el profesor Elson Longo, del laboratorio también llamado Liec, pero dependiente de la Universidad Federal de São Carlos (UFSCar). Actualmente, Varela es director presidente de la FAPESP, en tanto que Longo, jubilado en la UFSCar, trabaja en el Liec de la Unesp.

El desarrollo de la película ferroeléctrica se vale de un nuevo método relativamente sencillo y de bajo costo de deposición química, mediante la utilización de un horno de microondas casero. Y es producida a partir de una solución orgánica obtenida de ácidos cítricos, presentes en frutas tales como el limón y la naranja. Esta solución se emplea en la preparación de un compuesto sólido y con una estructura química polimérica similar a la de los plásticos, en cuya conformación se encuentran el bario, el plomo y el titanio como componentes. El compuesto va a un horno simple, con temperatura de hasta 300 grados Celsius, a los efectos de extraerle algunos

elementos orgánicos indeseables, tales como el carbono. Luego se efectúa la cristalización del material en un aparato de microondas doméstico para la obtención de un filme delgado de titanato de bario y plomo.

“Debimos sortear muchas dificultades técnicas para desarrollar el filme ferroeléctrico. Cuando empezamos los trabajos, hace treinta años, ésa era un área de investigación nueva, ya que todo el mundo usaba memorias magnéticas. La fabricación de memorias mediante el método químico era en aquella época la frontera del conocimiento”, afirma Longo. “Cuando decidimos empezar a investigar este nuevo material, no teníamos competencia en el área. Tardamos dos años para elaborar los primeros filmes finos reproducibles de calidad”, dice. De acuerdo con el investigador, un aspecto fundamental para el éxito de la empresa fue el carácter multidisciplinario del equipo, integrado por físicos, químicos e ingenieros.

También fue importante la asociación con científicos de otros estados y del exterior para vencer los obstáculos que surgieron en el transcurso del trabajo. “Intentamos trabajar con grupos que tenían competencia en áreas que no dominábamos”, recuerda Longo. Las investigaciones del grupo empezaron luego de un viaje de Varela a Estados Unidos, durante el cual mantuvo contacto con la nueva tecnología. “A su regreso, nos percatamos de la necesidad de desarrollar filmes finos con enfoque en las áreas de memoria, sensores y catalizadores”, comenta Longo.

CÓMO HACERLO

Pero la fabricación de chips con memoria ferroeléctrica requiere de un ambiente extremadamente limpio y profesionales capaces de efectuar la deposición de filmes delgados. Se entiende que filme es cualquier película muy delgada que separa dos fases de un sistema, o forma la propia interfaz de esa separación. Dichas películas se originan entre dos líquidos, tal como sucede entre el agua y el aceite, entre un líquido y un vapor o en las superficies de sólidos. Las investigaciones en el área de filmes finos sólidos –con espesor menor que un micrón (la millonésima parte de

un metro)– evolucionan en forma significativa debido a las ventajas de este material, fundamentalmente en la miniaturización de aparatos electrónicos.

“Grandes grupos industriales de Estados Unidos, Europa y Asia están invirtiendo millones de dólares en la obtención de filmes finos ferroeléctricos, pues son compatibles y fácilmente integrables con la actual tecnología de producción de circuitos integrados que emplean chips de silicio y de arseniuro de galio”, afirma Longo. En 2010, científicos de la Universidad de Cornell, Estados Unidos, fueron más allá y lograron crear un filme de titanato de europio, al mismo tiempo ferromagnético y ferroeléctrico, logro que fue considerado una proeza, ya que casi no existen en la naturaleza materiales que posean simultáneamente propiedades ferroeléctricas (eléctricamente polarizados y sin conducción de corriente) y ferromagnéticas (con campo magnético permanente).

Cuando se somete al titanato de europio al laminado en capas nanométricas, se lo estira y se lo posiciona sobre un compuesto de disprosio –un elemento químico del grupo de los lantánidos, al igual que el europio–, presenta propiedades ferromagnéticas y ferroeléctricas mejores que las conocidas actualmente.

Para Jacobus Willibrordus Swart, docente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y de Computación de la Universidad de Campinas (Unicamp) y coordinador del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de Sistemas Micro y Nanoelectrónicos (INCT/ Namitec), financiado por el gobierno federal y la FAPESP, existen buenas posibilidades de que las memorias ferromagnéticas ocupen espacio en el mercado, pero eso todavía tardará algún tiempo. “Puede sonar extraño, pero la industria de microelectrónica y semiconductores es muy conservadora. Solamente se dedica a nuevos materiales cuando existe una necesidad urgente y una demanda justificada”, dice.

“Las memorias ferromagnéticas poseen probadas ventajas técnicas. Empero, para que tengan futuro, deben ser factibles comercialmente”, dice Swart. Según el investigador, el cambio de un ma-

terial en uso –en este caso, las memorias magnéticas– por uno nuevo, implica la realización de ajustes tecnológicos, nuevos procesos de aprendizaje y riesgos de disminución de la productividad en la fabricación de chips.

ENERGÍA OPTIMIZADA

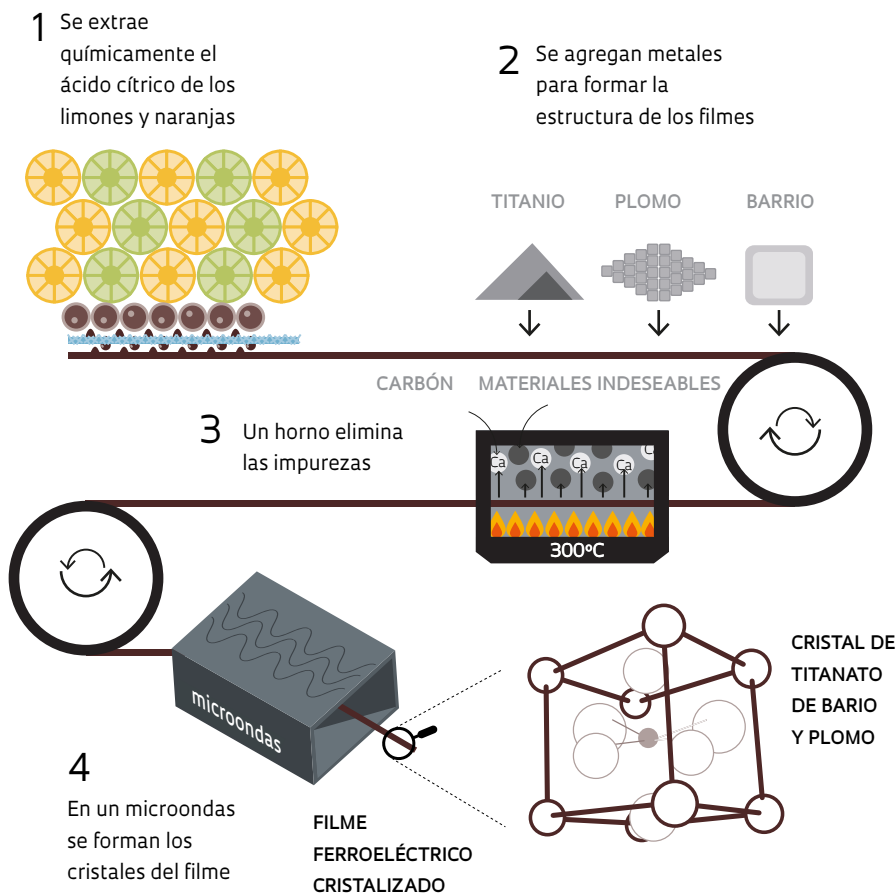
Entre las ventajas del uso de filmes ferroeléctricos en la preparación de los dispositivos electrónicos, en comparación con las cerámicas ferromagnéticas utilizadas en memorias, ellos señalan su menor tamaño, su bajo peso, la gran velocidad de lectoescritura y el bajo voltaje de operación. “Actualmente, en las pastillas de los semiconductores de 1 centímetro cuadrado de área es posible archivar 1 megabyte (MB) de información. Con la nueva memoria, será posible archivar en el mismo espacio 250 MB”, destaca Longo. Asimismo, los materiales ferroeléctricos hacen posible la construcción de memorias electrónicas que no requieren ni un mínimo de energía para funcionar. “La capacidad de almacenar información está vinculada al ordenamiento de sus átomos”, dice Longo.

Cada célula de memoria contiene un único transistor de acceso conectado a un capacitor ferroeléctrico, un dispositivo que almacena energía en un campo eléctrico. El transistor actúa haciendo las veces de interruptor, permitiendo que el circuito de control lea o escriba los números 0 y 1, del sistema binario, que se almacenarán en el capacitor. El principio utilizado es el mismo de los semiconductores magnéticos empleados en las tarjetas de crédito comunes y en las del transporte. “La diferencia radica en que a las tarjetas magnéticas hay que apoyarlas sobre una lectora para pasar la información, en tanto que a las tarjetas ferroeléctricas puede leerse a una distancia de hasta seis metros”, explica Longo. La lectura se efectúa por radiofrecuencia. El chip, de unos 2 milímetros cuadrados de superficie, no es visible. Embutido en las tarjetas o en los celulares, por ejemplo, posee un sistema de protección contra *hackers*.

Hace cuatro años se llegó a pensar en la posibilidad de construir una fábrica destinada a la producción de semiconductores ferroeléctricos en São Carlos, cuya inversión ascendería a los 1.000 millones de reales. Inicialmente, la me-

El jugo que se convirtió en filme

La materia prima de las películas ferroeléctricas cristalizadas sale de los limones y las naranjas



moria de acceso aleatoria ferroeléctrica o FeRAM, también conocida como memoria no volátil –dado que una vez removida la energía la información sigue almacenada–, sería producida con tecnología desarrollada por la empresa estadounidense Symetrix, creada hace dos décadas en Estados Unidos por el brasileño Carlos Paz de Araújo, docente de ingeniería eléctrica de la Universidad de Colorado. De acuerdo con los entendimientos iniciales, el CMDMC, uno de los Centros de Investigación, Innovación y Difusión (Cepid) de la FAPESP, tendría una activa participación en el desarrollo de nuevas memorias ferroeléctricas y nuevos materiales.

“Desafortunadamente las negociaciones no prosperaron y Symetrix decidió instalar su fábrica en China. Fue

una lástima, ya que aparte de la fábrica en sí misma, estimamos que otras entre 300 y 400 nuevas empresas de la cadena productiva podrían haberse instalado en la zona”, informa Elson Longo. Según éste, el éxito del negocio tropezó con la dificultad para obtener recursos con vistas a erigir la planta de São Carlos. “Symetrix llegó a iniciar tratativas con un inversor privado nacional que nosotros contactamos, pero la negociación no prosperó. La instalación de una industria de semiconductores es compleja e involucra intereses diversificados que no fueron contemplados”, comenta Longo. La tecnología desarrollada por Araújo y su equipo fue licenciada por Panasonic en Japón, donde se la emplea en tarjetas de metro y trenes, así como en las licencias de conducir.

EN EL SUPERMERCADO

La memoria ferroeléctrica podría utilizarse también como componente en la fabricación de coches y en supermercados. En el sector automovilístico, podrá formar parte de un sistema anticollisiones, una tecnología patentada por Symmetrix. “Con esta memoria es posible instalar un sistema de seguridad en los automóviles con sensores en el rango del infrarrojo, que funcionarán como cámaras de visión nocturna para detectar la presencia de gente, animales o autos detenidos en un rango entre 100 y 200 metros delante del vehículo”, explica. En los supermercados, la utilización de la memoria ferroeléctrica en lugar de los códigos de barras hará posible la concreción de un control integrado de los productos. Informaciones tales como la fecha de vencimiento del producto, el nombre del fabricante, el precio, las existencias y la cantidad comprada estarán alojadas en un dispositivo del tamaño de la punta de un alfiler. “No es meramente un código de barras, sino una memoria inteligente”, dice Longo.

“Cada etiqueta con un chip embutido podrá costar menos de dos centavos de real”, subraya Varela. El consumidor que salga de compras sabrá anticipadamente cuánto ha gastado al pasar a una distancia de tres o cuatro metros de un tablero. De aceptar concluir la compra, antes de salir por la puerta se le hará el débito en la tarjeta que carga en su bolsillo. “Mientras que una tarjeta magnética (como las de crédito o débito) dura entre cuatro y cinco años, la tarjeta ferroeléctrica puede utilizarse hasta un billón de veces para las funciones de escribir y leer en forma eléctrica (la forma en que se graban las informaciones en la memoria ferroeléctrica), lo que da un promedio de vida útil de 300 años”, explica Varela. Una de las razones para ese menor tiempo de vida útil de las tarjetas magnéticas radica en la necesidad de contacto directo para efectuar la lectura.

El grupo de la Unesp de Araraquara sintetizó recientemente otro mate-

rial prometedor con propiedades ferroeléctricas: la ferrita de bismuto, una aleación de bismuto, hierro y oxígeno. Y puede llegar a erigirse en una alternativa a las memorias convencionales, dado su bajo consumo de energía. “El punto débil es la elevada corriente de fuga, lo que disminuye su aplicabilidad. Estamos trabajando para disminuir la corriente de fuga”, dice Longo. Según él, hasta ahora, la principal aplicación del nuevo material, sintetizado por rusos y estadounidenses, está vinculada al desarrollo de sensores.

La investigación que resultó en los filmes delgados de titanato de bario y de plomo forma parte de una carrera mundial que ya dura alrededor de 30 años, cuyo objetivo es superar uno de los problemas de la microelectrónica: el tamaño de la célula de memoria. Esta pieza está disminuyendo de tamaño anualmente a los efectos de aumentar la cantidad de dispositivos y de suministrarles una mayor capacidad de archivo y procesamiento de datos a las computadoras. Los científicos vinculados al grupo que dio origen al CMDMC empezaron a estudiar

los materiales ferroeléctricos en 1992. El conocimiento que surgió de dichos estudios resultó en la publicación de 208 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales. Desde 2000, cuando se creó ese Cepid, se han graduado 18 doctores y 22 magísteres en materiales ferroeléctricos.

Las novedades presentadas por los equipos de los profesores Longo y Varela, quienes, juntos, coordinaron tres proyectos temáticos de la FAPESP –Desarrollo de Cerámicas y Filmes Ferroeléctricos mediante el Control de la Microestructura, Síntesis y Caracterización de Filmes Finos y Cerámicas Ferroeléctricas y La Influencia de la Texturización y los Defectos Cristalinos sobre las Propiedades Ferroeléctricas de Filmes Finos y Cerámicos–, podrán en el futuro reducir la histórica dependen-

cia brasileña de las importaciones de dispositivos semiconductores, que llegaron a un monto de 4.900 millones de dólares en 2011, de acuerdo con datos de la Asociación Brasileña de la Industria Eléctrica y Electrónica (Abinee), un valor un 10% superior al del año anterior.

El mercado mundial de semiconductores es multimillonario, y de acuerdo con información de la Semiconductor Industry Association (la Asociación de la Industria de Semiconductores, en castellano), movió 299.500 millones de dólares en 2011, un récord histórico. Hace algunos años que el gobierno brasileño intenta infructuosamente atraer a una multinacional de semiconductores para que se instale en el país. En 2010 se inauguró la fábrica de Ceitec en Porto Alegre. La estatal, ligada al Ministerio de Ciencia y Tecnología, es apuntada como el embrión de la fábrica brasileña de semiconductores. ■

En los coches y en los códigos de barra, otras posibles aplicaciones

Los proyectos

1. Desarrollo de Cerámicas y Filmes Ferroeléctricos mediante el Control de la Microestructura – nº 1998/14324-0 (2000-2012); **Modalidades** Centros de Investigación, Innovación y Difusión (Cepid); **Coordinadores** Elson Longo –Centro Multidisciplinario para el Desarrollo de Materiales Cerámicos, UFSCar; **Inversión** R\$ 21.025.671,96 por año para todo el CMDMC.
2. Síntesis y Caracterización de Filmes Finos y Cerámicas Ferroeléctricas – nº 2000/01991-0 (2000-2005); **Modalidades** Ayuda a la Investigación – Proyecto Temático; **Coordinadores** José Arana Varela –Laboratorio Interdisciplinario de Electroquímica y Cerámica, Unesp; **Inversión** R\$ 1.319.395,06.
3. La Influencia de la Texturización y los Defectos Cristalinos en las Propiedades Ferroeléctricas de Filmes Finos y Cerámicos – nº 2004/14932-3 (2005-2009); **Modalidades** Ayuda a la Investigación – Proyecto Temático; **Coordinadores** José Arana Varela –Laboratorio Interdisciplinario de Electroquímica y Cerámica, Unesp; **Inversión** R\$ 704.506,70.

Artículos científicos

1. COSTA, C. E. F. *et al.* Influence of strontium concentration on the structural, morphological, and electrical properties of lead zirconate titanate thin films. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, v. 79, n. 3, p. 593-97, 2004.
2. SIMÕES, A. Z. *et al.* Electromechanical properties of calcium bismuth titanate films: A potential candidate for lead-free thin-film piezoelectrics. *Applied Physics Letters*, v. 88, p. 72916-19, 2006.

De nuestro archivo

Memorias del futuro, Edición nº 153 – noviembre de 2008; *Una inversión de peso*, Edición nº 144 – febrero de 2008. *Magnéticas y sensibles*, Edición nº 175 – septiembre de 2010; *Conductores al horno*, Edición nº 97 – marzo de 2004; *Seguridad para crecer*, Edición nº 72 – febrero de 2002; *Mayor capacidad de memoria*, Edición nº 52 – abril de 2000.