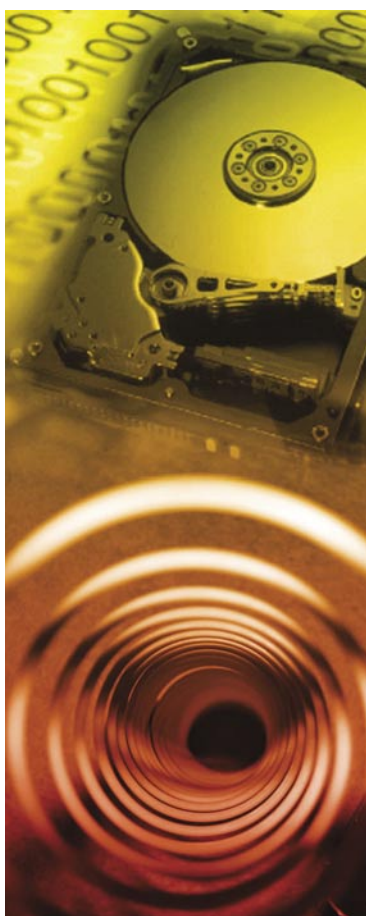


SPINTRÓNICA:

El futuro de los componentes tecnológicos



En 1989 se descubre un nuevo efecto electrónico llamado la magnetorresistencia gigante (GMR). Con ello nace una nueva área de investigación en la física básica y, por ende, una particular forma de concebir la carga eléctrica de los electrones. Se trata de la Spintrónica, o electrónica del spin. A juicio de físicos y de ingenieros, el aporte de esta área al desarrollo de las tecnologías de la información está en las ventajas que entrega la mecánica cuántica. Con la manipulación de las propiedades descubiertas en el electrón, se podría llegar a definir una nueva clase de dispositivos dotados con mayor capacidad de almacenamiento, y componentes de alta flexibilidad como, por ejemplo, memorias no volátiles, puertas lógicas reprogramables y sensores de campo magnético, con altísima sensibilidad. Bienvenida miniaturización.

Por Roberto Rodríguez S.

Nadie podría negar los aportes de la física básica al mundo de la física y al de la ingeniería aplicada. Quizás el ejemplo más tangible sea el descubrimiento del transistor en los laboratorios Bell, en 1947, que rápidamente revolucionó la industria electrónica de semiconductores, al aparecer en 1952 los primeros transistores de germanio (Ge).

La cadena de impactos y de consecuencias en el mundo de la investigación de la física sigue hasta hoy, y promete revolucionar nuevamente el mundo con una nueva tecnología: la spintrónica. Con ella, tanto físicos como ingenieros, creemos estar una vez más -al igual que hace 60 años atrás- en la envidiable posición de ofrecer un camino para definir una nueva clase de dispositivos con los cuales explotar las ventajas que entrega el mundo cuántico a las tecnologías de información y al almacenamiento de datos.

Esta nueva tecnología se hace mucho más atingente de estudiar. A raíz del progreso en la miniaturización de los dispositivos electrónicos semiconductores en los chips, estamos alcanzando rápidamente los dominios de la mecánica cuántica, lo que afectará directamente el comportamiento de los electrones en circuitos en escala nanométrica (10⁻⁹ metros). Claro está que el pragmatismo en la construcción de los dispositivos electrónicos, por parte de los ingenieros, intentará, por todos los medios y vías posibles, evitar al mundo cuántico, re-diseñando los chips semiconductores dentro del contexto de la electrónica clásica.

Hasta ahora, la electrónica se basa únicamente en la manipulación de la carga eléctrica de los electrones. Por ejemplo, el funcionamiento de las memorias DRAM (Dynamic Random Access) y FLASH, dependen del almacenamiento de una cantidad de carga. Pero hoy, además, se sabe que las partículas subatómicas (como los electrones y los protones) tienen una propiedad, llamada spin, la que abre nuevas perspectivas al mejoramiento de los componentes tecnológicos.

Spin es un concepto mecánico cuántico; técnicamente, es la propiedad de las partículas subatómicas (electrones, protones, antimateria) de rotar de este a oeste o viceversa, y que en términos conceptuales se ha dado en llamar: momento angular intrínseco. Estas dos direcciones de rotación opuestas llevan a dos posibles valores,

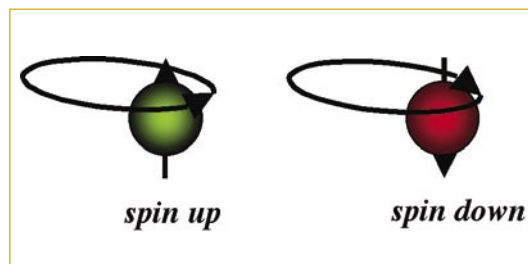


Figura 1 : Los científicos representan el spin con un vector. Para una esfera rotando de “este a oeste” el vector apunta para el “norte” o “up”. En el caso contrario, apunta para el “sur” o “down”.

usualmente denominados “spin up” o “spin down” (para arriba o para abajo, ver figura 1). Esta carga en rotación genera un campo magnético local similar a un electroimán. Además de la propiedad de rotación, el electrón presenta un momento angular orbital; es decir, “orbita” alrededor del núcleo del átomo. De este modo, el spin representa una propiedad tan importante como lo es la masa y la carga de la partícula.

La Spintrónica, o electrónica del spin, por defecto, pretende estudiar las interacciones existentes entre ambas propiedades del electrón en los materiales de estado sólido y su relación con el magnetismo. Como área de estudio, es un campo emergente de investigación en física básica e ingeniería, que surge de la electrónica a partir del descubrimiento, en 1989, de un poderoso efecto llamado de magnetorresistencia gigante (GMR).

La GMR aparece como consecuencia del hecho de que electrones con spin up y spin down experimentan diferentes resistencias (ver figura 2) cuando pasan a través de multicamadas magnéticas (camadas magnéticas separadas por materiales metálicos no magnéticos). El efecto de la magnetorresistencia gigante ha sido utilizado extensivamente por la industria de la grabación magnética, gracias al desarrollo de estructuras llamadas de válvulas de spin, que se utilizan -desde 1998- como sensores de campo magnético en los discos duros. De hecho, las cabezas de lectura de los discos duros de las más avanzadas computadoras son válvulas de spin. ¿Su resultado? Han otorgado mayor velocidad de lectura y almacenamiento de datos.

• **MEMORIAS NO VOLÁTILES**

El segundo mayor descubrimiento que impulsó las actividades en la spintrónica fue el de altos valores en la magnetorresistencia a temperatura ambiente en uniones magnéticas por efecto túnel (MTJ).

Estas uniones consisten en dos capas magnéticas separadas por una capa muy fina de óxido aislante. En estos dispositivos, dependiendo de la orientación relativa entre las magnetizaciones, los electrones “saltan” por efecto túnel (que es un efecto cuántico) de una capa magnética a otra, a través de la capa aislante. Esto se traduce en un cambio de resistencia cuando la magnetización de una capa es conmutada con respecto a la otra (ver figura 2). Este cambio en la resistencia es mayor en las MTJ que en las válvulas de spin.

Este fenómeno ha revolucionado la industria de grabación magnética y es ya usado en la construcción de los primeros tipos de memorias no volátiles: las memorias magnéticas de acceso aleatorio (MRAM). Estas memorias deben combinar las ventajas de las DRAM, tales como rapidez y alta densidad, y ser no volátiles como las memorias FLASH. Muy probablemente las MRAM se convertirán en las memorias universales, reemplazando las memorias volátiles y no volátiles.

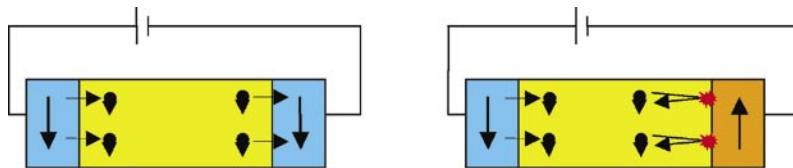
El elemento de memoria en las MRAM representa el valor de un bit digital, que depende de si los sentidos de las magnetizaciones de las capas superior e inferior sean iguales u opuestos (ver figura 3). Cuando el sentido en las magnetizaciones es el mismo, el estado, por ejemplo, representa un “1”; contrario a esto, cuando la polaridad entre las magnetizaciones es contraria, la magnetorresistencia aumenta, correspondiendo a un “0”. Para cambiar la resistencia del elemento MRAM de baja (1) para alta (0), basta aplicar una corriente eléctrica a través de las entradas conectadas al dispositivo de memoria. Además de almacenar los bits digitales, un único elemento de MRAM puede ser usado para representar funciones lógicas, como AND u OR.

Los componentes magnetológicos podrán elevar la capacidad multitarea de dispositivos electrónicos a un nuevo patamar, reduciendo con esto la necesidad de



COMPUTACIÓN CUÁNTICA

Una línea de investigación en torno al spin consiste en el desarrollo de la computación cuántica. En la computación clásica, la información se memoriza, se transmite y se respalda mediante combinaciones binarias de ceros y unos. En la computación cuántica la información se almacena a nivel microscópico en bits cuánticos (Qubits), los que se logran con los distintos estados del spin de un electrón. Pero el spin no tiene una posición binaria (0,1), sino combinaciones lineales arbitrarias de estos dos estados. En una computadora cuántica una localidad de memoria estaría formada de n Qubits, y a diferencia de una computadora clásica en la cual una localidad de memoria solamente almacena una cadena exacta de n bits, en la computadora cuántica la misma localidad almacenaría una superposición de las 2^n (léase “2 elevado a n”) diferentes cadenas de n bits. Esto significa que se pueden realizar simultáneamente un número exponencial de operaciones, lo cual se denomina Paralelismo Cuántico.



Resistencia baja

Resistencia alta

Figura 2 : Cuando se hace pasar una corriente eléctrica a través de un dispositivo como el ilustrado en la figura 2, dependiendo de la orientación relativa de la magnetización de las capas ferromagnéticas (en estas capas la mayoría de los spins son paralelos, en este caso decimos que la capa está magnetizada) la resistencia cambia. Cuando las magnetizaciones son paralelas la resistencia es menor que en el caso contrario, cuando son antiparalelas.

incorporar diferentes microprocesadores en los equipamientos electrónicos que podrán ser reconfigurados y optimizados para realizar cualquier tarea, ya siendo como procesadores de música, imagen o de cálculos matemáticos complejos.

Comparadas con las computadoras modernas que trabajan casi enteramente con la electrónica convencional, las computadoras con memorias magnéticas serán capaces de almacenar datos, consumir menos energía y procesar los datos más rápidamente. Tengamos en cuenta que las memorias convencionales tienen transistores que usan la carga eléctrica para almacenar ceros y unos. Las memorias basadas en la spintrónica usan los estados de “spin para arriba” y “spin para abajo” para almacenar los datos. Una vez que los spines son alineados, estos permanecen en este estado a no ser que el mismo sea alterado por un campo magnético. Como resultado, los datos almacenados podrán ser recuperados en el momento que la computadora sea encendida, evitando mover estos desde el disco rígido hasta las memorias. Por otro lado, la no volatili-

dad significa que no es necesario sincronizar la extracción de bits digitales de las células de almacenamiento en la memoria del computador, lo que simplifica y torna más rápido el procesamiento. Los propios bits son almacenados donde son procesados. Además, al contrario de CMOS, los componentes magnetológicos no necesitan necesariamente tener sus dimensiones reducidas para mejorar su desempeño, lo que es una ventaja para los fabricantes de chips preocupados en producir componentes cada vez menores.

En conclusión, durante estos últimos 15 años la electrónica del spin ha emergido como un nuevo campo en física aplicada, donde muchos de los proyectos e investigaciones aún están en estado de concepción puramente académica. Desgraciadamente, en nuestras principales economías sudamericanas, como Brasil, Argentina y Chile, el incentivo a las investigaciones básicas deja aún mucho que desear; necesitamos encarescidamente invertir en el área del conocimiento a corto y a largo plazo, ya que sólo así dejaremos de exportar materias primas para exportar tecnologías.

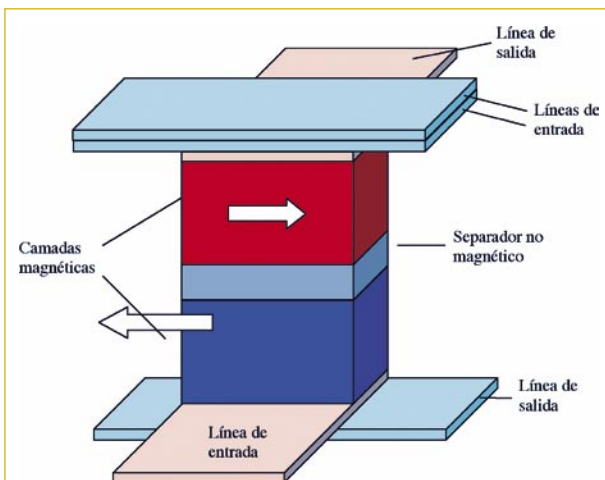


Figura 3 : Corrientes eléctricas circulando a través de las líneas de entrada producen un campo magnético que muda el estado de las magnetizaciones de las capas magnéticas pudiendo conmutar el sentido de las mismas para producir una salida digital “0” o “1”. El resultado de la conmutación puede ser leído a través de las líneas de salida.

Roberto Rodríguez S.

Es Doctor en Física de la Universidad Federal de Pernambuco (Brasil) y, en la actualidad, cursa un Post Doctorado en la misma Institución. En los últimos años ha estudiado las propiedades estáticas y dinámicas de estructuras magnéticas y los mecanismos de relajación magnética en filmes finos y multicapas metálicas, especializándose en la generación de ondas de spin.