

Más información en menos espacio

Grabación magnética

Alejandro Butera

Instituto Balseiro y Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica



Los discos rígidos han dominado el mercado de almacenamiento de información digital en medios regrabables durante los últimos 50 años. Absolutamente todas las tecnologías alternativas han sucumbido a la notable capacidad de estos para reducir sus dimensiones y guardar cada vez más bits en menos espacio físico.

Algo de historia

En el año 1898 Valdemar Poulsen, un empleado de la compañía de teléfonos de Copenhague, grabó una voz humana en el que fue el primer equipo de grabación magnética de la historia. Poulsen patentó su invento al que llamó 'telegráfono' convirtiéndolo en el primero de una larga serie de desarrollos tecnológicos. El telegráfono que se muestra en la figura 1 consistía en un micrófono que convertía el sonido en señales eléctricas. Estas señales alimentaban una bobina con núcleo de hierro que 'grababa' la variación de intensidad de campo magnético sobre un alambre de acero (una cuerda de piano) que se desplazaba respecto del electroimán. En el alambre quedaban registradas zonas de distinta magnetización que podían luego ser leídas con el mismo electroimán para reconvertirlas en señales eléctricas. Estas alimentaban un parlante que las transformaba en ondas de sonido. La grabación magnética más antigua que aún se conserva se realizó con el telegráfono de Poulsen y corresponde al emperador Franz Josef de Austria hablando en la exposición de París de 1900.

En 1935 las empresas alemanas AEG y BASF presentaron en la feria de Berlín el 'magnetófono'. En este nuevo equipo el cable de acero había sido reemplazado por una cinta flexible de acetato de celulosa cubierta con una pintura de óxido férrico (Fe_3O_4). En 1956 IBM presentó su computadora RAMAC (del inglés *Random Access Method of Accounting and Control* -Método de conteo y control de acceso aleatorio-) que incluyó el primer disco rígido de la historia. El disco de la RAMAC estaba contenido en un gabinete del tamaño de un refrigerador y el motor que lo hacía funcionar tenía una potencia similar al de una pequeña mezcladora de cemento. El corazón del equipo eran 50 discos de aluminio cubiertos en ambas caras con una película de óxido de hierro. Cada disco tenía 60cm de diámetro y giraba a 1200rpm. La lectura y escritura se realizaba con un par de cabezas que se desplazaban verticalmente de un disco a otro con un control neumático, y desplazándose radialmente accedían a una posición dada dentro del disco seleccionado. La unidad tenía una capacidad total de cinco megabytes (5.000.000 de bytes), apenas suficiente hoy en día para guardar algunos segundos de música en formato MP3.

A pesar de que mucho ha cambiado en la industria informática desde la mitad del siglo pasado (recordar las válvulas, las memorias con núcleo de ferrita o las tarjetas perforadas que ya forman parte de los museos informáticos), el principio básico de funcionamiento de un disco magnético ha cambiado muy poco en los últimos 50 años. Es muy probable



Figura 1. **Telegráfono de Poulsen, año 1898. El primer sistema de grabación magnética fue originalmente creado para cumplir las funciones de un contestador telefónico.** (Tomado de 'Magnetic recording history pictures', <http://history.acusd.edu/gen/recording/tape.html>)



Figura 2. **Esquema de una multicapa utilizada como medio en un disco rígido magnético. La estructura de los medios magnéticos se ha vuelto cada vez más compleja debido al incesante aumento en el número de bits por unidad de área. Actualmente son necesarias al menos siete capas (varias con espesores de solo algunas distancias atómicas) para lograr un disco con las características deseadas. De todas ellas la capa gruesa de CoCrPtB (cobalto, cromo, platino y boro; pintada de color gris) es la que guarda la información.**

que un ingeniero que participó en el proyecto RAMAC en 1956 no tenga mayores problemas en comprender el funcionamiento de un disco moderno.

Principio de funcionamiento

El modo de funcionamiento de un disco rígido actual guarda similitudes aún con el telegráfono de Poulsen del siglo XIX. Hay tres principios fundamentales de física básica que entran en juego.

1. Una corriente eléctrica produce un campo magnético (ley de Ampère).
2. Las variaciones del campo magnético inducen una tensión en una bobina (ley de Faraday-Lenz).
3. Los dominios en un material magnético tienden

a orientarse en la dirección del campo aplicado (interacción Zeeman).

En el sistema de Poulsen el cabezal es un electroimán (una bobina enrollada sobre un material magnético blando). Este material sirve tanto para escribir (usando las propiedades 1 y 3) como para leer la información magnética (usando la 2). El cabezal convierte la señal eléctrica en un campo magnético variable que magnetiza al medio de una manera proporcional a la intensidad de la señal. Para que la información guardada dure en el tiempo el medio debe ser un material magnéticamente duro, o sea que conserve su magnetización en presencia de

campos externos. Si se pasa el cabezal sobre una zona determinada, los cambios de magnetización en el medio producen variaciones en el campo magnético superficial que a su vez inducen una señal eléctrica en el electroimán.

Por el resto de este artículo me ocuparé exclusivamente de los discos rígidos por tratarse de los equipos de tecnología más avanzada dentro de los sistemas de grabación magnética. Los otros sistemas (tarjetas magnéticas, cintas de audio, de video y de datos, etc.), si bien utilizan tecnologías distintas, se basan esencialmente en los mismos principios físicos para funcionar.

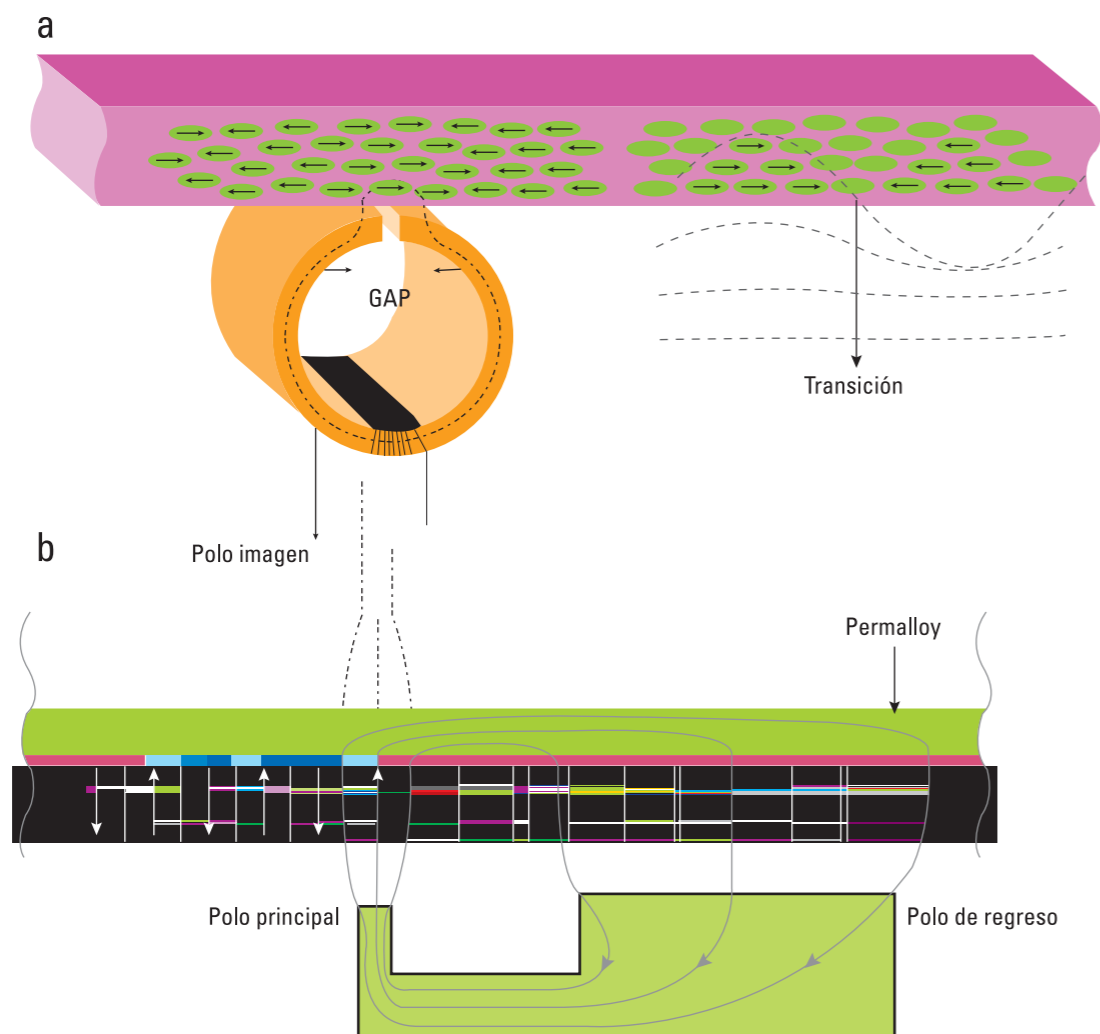


Figura 3. Grabación magnética paralela y perpendicular.

En la figura (a) se esquematiza el proceso de grabación paralela. El cabezal de escritura crea estados magnéticos paralelos a la superficie del medio que se corresponden con las señales binarias de datos. Si se desea grabar un '0' se genera un campo magnético de modo tal que la magnetización quede paralela a la región contigua. El '1' corresponde a orientaciones opuestas. Por reciprocidad el cabezal también detecta estos estados magnéticos ya que intercepta las líneas de flujo que salen de las regiones magnetizadas y genera una señal de voltaje. En el caso de grabación perpendicular (figura b) el cabezal está diseñado para que genere un campo magnético perpendicular a la superficie del film y por eso es necesario tener un polo de 'regreso' para las líneas de campo. (Adaptado de

LEMKE JU, 1990, 'Magnetic storage: principles and trends', *MRS Bulletin*, Mar., p. 31.)

Discos rígidos magnéticos

Los componentes básicos de un disco rígido son: el medio magnético donde se almacena la información, el transductor o cabezal de lectura/escritura, la electrónica y las partes mecánicas. Los dos primeros componentes son los que nos interesan desde el punto de vista de la nanociencia y los que comentaré en detalle.

Medio magnético

Las características fundamentales que debe tener un medio magnético son: poseer un alto campo coercitivo (para evitar que se invierta la magnetización), ser estable magnética y térmicamente, y estar formado por granos muy pequeños cristalinamente orientados, magnéticamente aislados y de alta anisotropía magnética o sea que se magneticen fácilmente en alguna dirección preferencial. Tienen que ser también resistentes a la corrosión y al uso. Sobra decir que encontrar un material que cumpla con todos estos requisitos no es tarea sencilla. En los primeros discos rígidos se utilizaron óxidos de hierro magnéticos que se depositaban con técnicas químicas o simplemente se pintaban sobre el sustrato. Sin embargo, a medida que se fue incrementando la densidad de información se hizo necesario cambiar a materiales con mejor desempeño y agregar capas adicionales que ayudan, por ejemplo, a mejorar la estabilidad magnética o a evitar la corrosión. Actualmente el medio magnético de un disco consta de unas siete capas, como se indica en la figura 2 de la página 25, y cada una de ellas cumple una misión específica. Es necesario fabricar la multicapa en condiciones muy controladas para que cumpla con los requerimientos mencionados más arriba. La técnica de deposición más utilizada es conocida como *sputtering*. Consiste en hacer incidir átomos ionizados de argón contra un blanco del material que se desea depositar. Las moléculas (o átomos individuales) son arrancados del blanco y se depositan sobre un sustrato. Para evitar contaminaciones indeseadas todo el sistema debe estar en alto vacío (con presiones menores a la diez millonésima de la presión atmosférica). Como sustrato y soporte de las capas se usa un disco de aluminio o de vidrio, generalmente de 8,9 o de 6,3cm de diámetro. Sobre el sustrato se deposita una película de NiP para darle una mejor terminación a la superficie. En la superficie superior se deposita una capa de carbón tipo diamante que es muy delgada y cumple la función de proteger a la capa magnética de la corrosión. Sobre ella se deposita una delgadísima capa lubricante de un espesor promedio menor a una molécula. Las capas de cromo (Cr) y cromo cobalto (CoCr) tienen

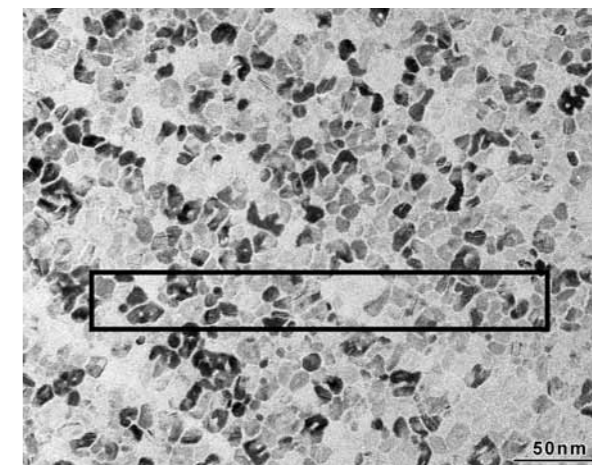


Figura 4. Microscopía de alta resolución de un medio magnético moderno. La imagen de microscopía electrónica de transmisión de campo brillante fue tomada de una aleación de cobalto, cromo platino y boro. Los granos oscuros corresponden al cobalto cristalino. Las regiones claras que rodean a los granos magnéticos están compuestas por el resto de los elementos. El tamaño promedio de los granos magnéticos es de 8nm. Se ha superpuesto un rectángulo para indicar el tamaño aproximado de un bit de información (30nm x 250nm). La región de transición entre bits es de ~10nm.

(Gentileza de Richard Zhou, MMC Technologies EEUU.)

como objetivo lograr que la película magnética crezca en forma epitaxial, es decir, que los granos de cobalto tengan su eje de magnetización fácil paralelo al plano del film. De este modo, tanto la energía magnetostática como la cristalina favorecen que la magnetización quede en este plano. Conviene aclarar que existen dos esquemas para magnetizar al medio tal como se muestra en la figura 3. En uno las magnetizaciones quedan dentro del plano del disco (grabación longitudinal) y en el otro apuntan en la dirección normal (grabación perpendicular). En todos los discos que actualmente se comercializan se utiliza la grabación longitudinal. La capa siguiente de cobalto-cromo-platino-boro (CoCrPtB) de 3nm junto con la delgadísima capa de rutenio (Ru) (0,8nm, menos de tres capas atómicas) se han introducido muy recientemente en la estructura de multicapas y su función es mejorar la estabilidad magnética explotando el fenómeno conocido como 'acoplamiento de intercambio' (ver el artículo 'Electrónica del espín (espintrónica)' de L Steren en *Ciencia Hoy* 85:48-50, 2005). La capa magnéticamente activa, es decir donde se guarda la información, es una aleación de CoCrPtB (similar a la capa estabilizadora) en forma de film delgado de unos 15nm de espesor. Los dominios magnéticos en esta capa apuntan en dirección opuesta a los de la capa delgada de CoCrPtB debido al acople antiferromagnético mediado por la capa de Ru. El elemento magnético es el cobalto y la función de los otros elementos químicos es, fundamentalmente, la de aislar

sus granos para disminuir la interacción de intercambio entre ellos y lograr que el tamaño de grano sea lo más uniforme posible. En un material magnético usual (por ejemplo un pedazo de hierro o de cobalto) si uno revierte la dirección de la magnetización en una parte de la muestra, la magnetización de las regiones vecinas también tenderá a darse vuelta debido al fuerte acoplamiento de intercambio existente. Si los granos magnéticos son separados por regiones no magnéticas, este acoplamiento disminuye y es posible magnetizar una región dada sin alterar el entorno. El diámetro de los granos de cobalto en un medio real es menor a 10nm, como se muestra en la figura 4 de la página anterior. Este tamaño está en el límite de estabilidad magnética a temperatura ambiente en películas de este material. Actualmente se están estudiando compuestos de aleaciones ordenadas de cobalto-platino (CoPt) con anisotropías magnetocristalinas diez veces mayores que las del cobalto puro. El interés en disminuir el tamaño de cada partícula magnética está estrechamente ligado a la carrera por aumentar la densidad de bits por unidad de área. El bit se define como la región en la que se puede invertir la magnetización sin afectar a las regiones vecinas. No está formado por un solo grano magnético, sino que cada bit contiene unos 1000 granos (algo menos en los medios más nuevos). Los bits son regiones rectangulares con una relación largo/ancho de aproximadamente diez, de

modo que la anisotropía de forma favorece la alineación de la magnetización según la dirección más larga. En los discos modernos el tamaño del bit es 250nm x 30nm (figura 5) y las regiones de transición entre bits (en donde no se guarda información) son de menos de 10nm. Si bien los granos están relativamente aislados, no están totalmente desacoplados y por lo tanto no es posible lograr que cada bit tenga el tamaño de un grano magnético. Debido a este acoplamiento la relación señal/ruido es proporcional al número de granos por bit; por lo tanto, si se desea disminuir el tamaño del bit se debe, necesariamente, reducir el tamaño del grano.

Cabezal de lectura/escritura

Originalmente un único cabezal era utilizado tanto para la lectura como para la escritura de información en los discos. Este cabezal de doble propósito funcionaba de forma inductiva con una bobina arrollada sobre una armadura ferromagnética toroidal. En modo escritura una corriente eléctrica produce un campo magnético que graba la superficie del disco. En modo lectura las transiciones entre zonas del disco con distinta orientación magnética inducen una corriente sobre la bobina del cabezal. El cabezal de escritura de hoy en día sigue siendo inductivo, pero para aumentar la sensibilidad el

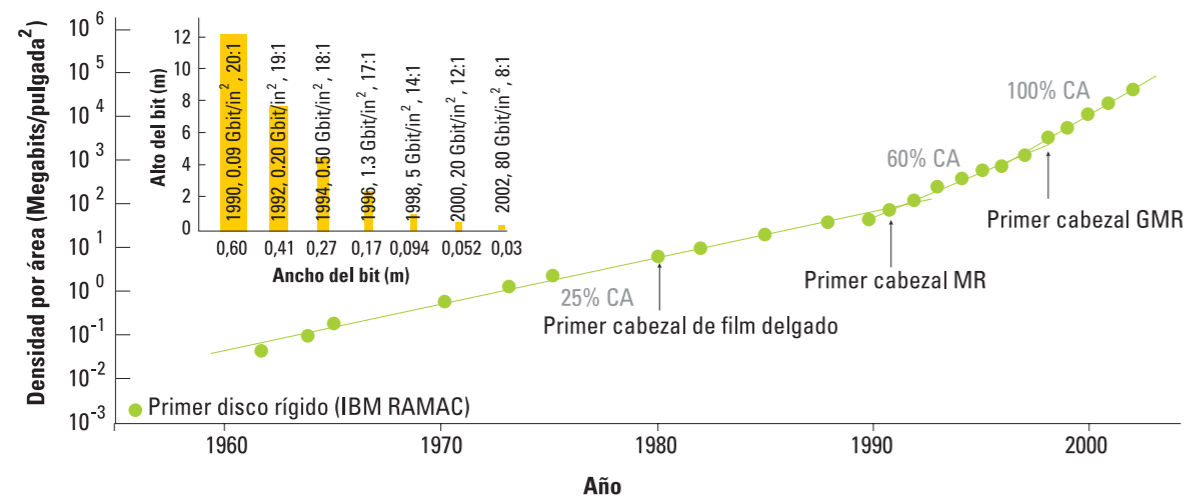
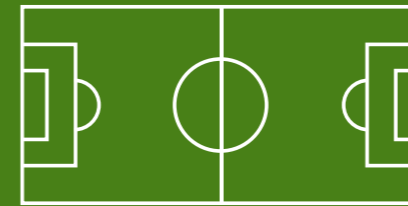


Figura 5. Evolución de la densidad de información. Desde la creación de la RAMAC hasta principios de los años 90 la densidad de bits por unidad de área tenía un crecimiento anual (CA) del 25% (es decir se duplicaba cada tres años). Cuando se introdujeron las cabezas lectoras magnetorresistentes el crecimiento aumentó al 60% anual (se duplicaba cada año y medio). En 1997 IBM presentó la primera cabeza lectora basada en el fenómeno de magnetorresistencia gigante y desde entonces la tasa de crecimiento ha aumentado al 100% anual. Notar que la escala del eje vertical es logarítmica y que hay casi siete órdenes de magnitud entre el valor del año 1956 y el de la actualidad. El tamaño de los bits está íntimamente ligado a la densidad de información por unidad de área. En el recuadro se observa que desde el año 1990 hasta la actualidad el área de cada bit se ha reducido en un factor 1000 con el consiguiente aumento en la densidad. Ya se han realizado demostraciones en las que se han grabado más de 100 gigabits en una pulgada cuadrada, o sea unos 15 mil millones de bits en un cm². Junto a cada año se referencia la densidad de información por unidad de área y la relación alto-ancho de cada bit. (Adaptado de GROCHOWSKI E, 'IBM magnetic hard disk drive technology', <http://www.almaden.ibm.com/sst/html/leadership/leadership.htm>).

Disco rígido en escala 1:1500



Si multiplicáramos todas las dimensiones de un disco rígido por 1500 llevaríamos la superficie del medio magnético al tamaño aproximado de un estadio de fútbol (unos 100 metros de diámetro). Cada bit de información tendría 50 x 400 micrómetros,

es decir el tamaño de un cabello humano de menos de medio milímetro de largo. En 100 metros de diámetro podríamos acomodar 150 mil millones cabellos, por lo que harían falta 1.500.000 personas (a 100.000 cabellos por cabeza) para llenar el campo de juego. El brazo sobre el que va montado el cabezal de lectura/escritura tendría unos 5 metros de lado y el cabezal mismo unos 3cm. Lo más sorprendente sería la distancia del cabezal al 'césped': 25 micrómetros (medio cabello). Notar que cualquier imperfección en la superficie debe ser

considerablemente menor a este tamaño para evitar que el cabezal se destruya. Un grano de arena sería un desastre en nuestro disco-estadio y algo 1500 veces más pequeño que un grano de arena sería igualmente catastrófico en un disco real. El sistema mecánico que sostiene al cabezal tan próximo a la superficie del disco debe ser extraordinariamente estable para evitar colisiones con la superficie que destruirían los 'cabellos', o apartamentos excesivos que impedirían discernir si en una posición dada hay o no un bit/cabello presente.

cabezal de lectura se ha separado y opera basado en un principio físico totalmente distinto.

A partir de 1980 los cabezales 'tradicionales' de lectura/escritura (es decir aquellos en los que un fino alambre de cobre es enrollado sobre un material ferromagnético blando) fueron reemplazados por cabezales producidos íntegramente con técnicas de deposición de películas delgadas en alto vacío, litografía óptica y comido iónico o químico. A estos nuevos dispositivos se los llamó 'cabezales inductivos de película delgada' ya que se reduce notablemente una de las dimensiones. En un cabezal de lectura inductivo la magnitud de la corriente inducida disminuye en forma proporcional al área del bit a ser leído, a la distancia cabezal-disco y a la magnetización remanente del medio. A fines de los años 80 estos efectos estaban limitando la densidad de información que podía leerse de un disco rígido. La solución la presentó IBM en 1991 con la aparición del cabezal de lectura magnetorresistivo (MR) de película delgada, basado en materiales cuya resistencia eléctrica cambia en presencia de un campo magnético. En 1997 la misma empresa presentó un cabezal de lectura aún más sensible basado en el efecto de magnetorresistencia gigante (GMR por sus siglas en inglés). Si bien el funcionamiento de ambos sensores se basa en el cambio de resistencia que se produce al aplicar un campo magnético, el principio físico subyacente es totalmente distinto. Los sensores magnetorresistivos (MR) explotan el hecho de que en algunos materiales la resistencia eléctrica depende de la orientación relativa entre la dirección de circulación de la corriente y la dirección en la que se orienta la magnetización. Por este motivo también se la llama magnetorresistencia anisotrópica. El material más utilizado es el Permalloy ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) con una variación de resistencia de aproximadamente un 2%, lo que implica un aumento de sensibilidad de casi un orden de magnitud con respecto a

los cabezales inductivos. A los cabezales que utilizan la propiedad de GMR se los denomina 'válvula de espín' y son estructuras de multicapas especialmente construidas para detectar las transiciones magnéticas que se producen entre los bits. En este tipo de sensores se observa que cuando las capas magnéticamente activas se alinean en forma antiparalela la resistencia es alta y que disminuye rápidamente cuando el alineamiento es paralelo. La explicación más aceptada para comprender este fenómeno se conoce como 'colisión dependiente de espín' y se basa en el hecho de que el número de colisiones que sufre un electrón con su espín apuntando hacia arriba es mayor cuando atraviesa capas con magnetización antiparalela que cuando atraviesa capas con magnetización paralela (ver Steren L, 'Electrónica del espín (espintrónica)', en CIENCIA HOY 85:48-50, 2005). La válvula de espín tiene cuatro elementos fundamentales: a) una capa antiferromagnética que puede ser natural o sintética. Se utiliza una gran variedad de antiferromagnetos naturales, entre los más comunes podemos mencionar manganeso-platino (PtMn), manganeso-iridio (MnIr), óxido de níquel (NiO), e hierro-manganeso (FeMn). Los antiferromagnetos sintéticos más usados son las tricapas de CoFe/Ru/CoFe. En esta estructura las dos capas ferromagnéticas de CoFe se acoplan antiparalelamente al ser separadas por una delgadísima capa de Ru no magnético; b) una capa ferromagnética de dureza intermedia (normalmente CoFe) que se crece sobre la anterior y queda 'anclada' al antiferromagneto, es decir cuesta bastante revertir la dirección de la magnetización aplicando un campo magnético; c) un espaciador no magnético de cobre u otro metal noble que separa las dos capas ferromagnéticas, y d) una capa magnética de muy bajo campo coercitivo (que suele ser de Permalloy) que está libre para moverse en la dirección del campo magnético aplicado. Con este tipo de estructura de multicapas se logran cambios de

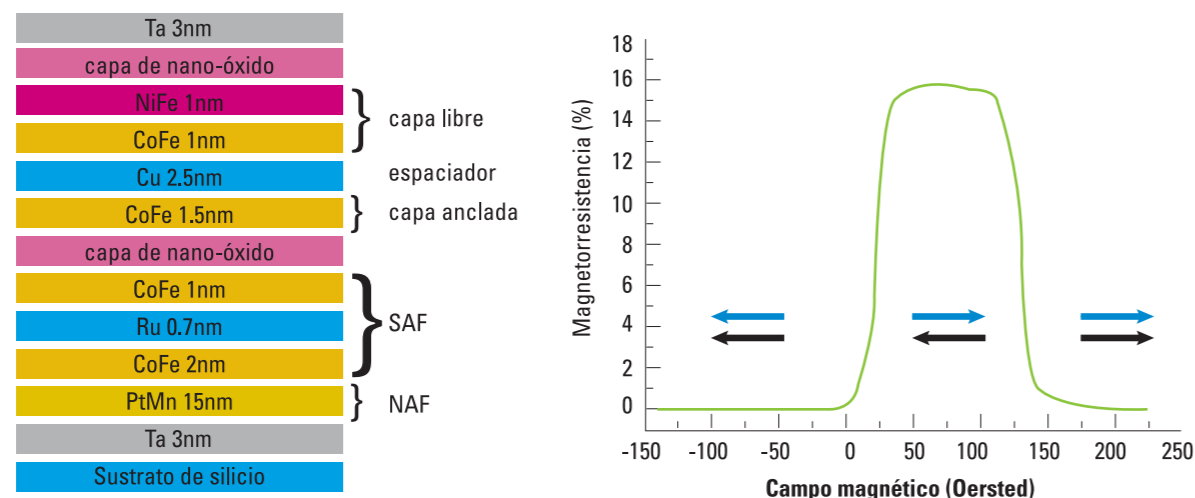


Figura 6. Válvula de espín utilizada como cabeza lectora. En la figura de la izquierda se presenta un esquema de una válvula de espín como las que se utilizan actualmente para leer información de los discos rígidos. El sustrato suele ser un monocristal de Si sobre el que se crece una delgada capa semilla de tantalio (Ta). El platino-manganeso (PtMn) es un antiferromagneto natural (NAF de sus siglas en inglés) que sirve para anclar al antiferromagneto sintético (SAF) formado por la tricapa CoFe-Ru-CoFe. Sobre esta capa se crece una delgadísima capa de óxido (NOL: *nano oxide layer*) y encima se crece otra capa de CoFe que es la que queda anclada al SAF. El cobre sirve de espaciador y la bicapa de CoFe-NiFe es la capa libre que rota al aplicar un campo magnético. Ambas capas de NOL, la que se crece antes de la capa superficial de Ta y la que está entre las dos capas de CoFe, cumplen la función de 'reflectores de espín' y permiten aumentar considerablemente los valores de magnetorresistencia llegando a más del 15% en los sensores más avanzados. En la figura de la derecha se muestra el cambio relativo de resistencia eléctrica en función de campo magnético. Para campos negativos, tanto la capa magnética libre (flecha azul) como la anclada (flecha negra) están alineadas con el campo y la magnetorresistencia (MR) es pequeña. Cuando el campo cambia de signo las dos capas magnéticas apuntan en direcciones opuestas y aumenta notablemente la MR. Para valores altos de campo, la capa anclada también revierte su orientación y la resistencia disminuye nuevamente.

resistividad superiores al 15% al invertir unos pocos Oersted la magnitud del campo magnético (el campo magnético terrestre es de tres décimos en estas unidades). La complejidad extrema de un sensor magnetorresistivo utilizado como lector de discos rígidos puede observarse en el esquema de la figura 6.

Debido a que el tamaño de bit que debe leer el cabezal es cada vez más pequeño, las dimensiones del sensor se han reducido drásticamente. Para los discos actuales con densidades de más de 30 gigabits (mil millones de bits) por pulgada cuadrada el espesor total de la multicapa no supera los 15nm, y las dimensiones laterales son menores a los 200nm.

Como ya se mencionó, el cabezal de escritura sigue utilizando el principio inductivo para funcionar. La transición de los cabezales tradicionales a los de película delgada tiene como mérito, además del incremento de la sensibilidad, la relativa simplicidad de fabricación que permite una producción masiva. Actualmente en un solo sustrato de silicio de seis pulgadas de diámetro se pueden fabricar alrededor de 30.000 cabezales en forma simultánea. El material elegido como núcleo magnético es el Permalloy debido a su muy buena respuesta a altas frecuencias (la velocidad de escritura es de cientos de megahertz) y a que tiene una magnetostricción (deformación con campo magnético) casi nula. Se está investigando otro tipo

de aleaciones magnéticamente blandas que, además de buena respuesta en frecuencia, permitan generar los campos magnéticos cada vez más altos que son necesarios para revertir la magnetización de bits magnéticos con campos coercitivos cada vez más grandes. Entre los materiales más estudiados están el CoFe y el FeTaN con magnetizaciones de saturación que duplican a la del Permalloy.

A pesar de que las funciones de lectura y escritura son independientes, los cabezales están integrados en un solo elemento pues es de fundamental importancia mantener un preciso alineamiento geométrico entre ambos cabezales. El creciente incremento en la densidad de bits por unidad de área ha forzado a disminuir la distancia entre el cabezal y la superficie del disco hasta casi llegar al contacto mecánico. El cabezal 'vuela' a unos 15nm sobre un disco que rota a más de 10.000rpm. Para comprender mejor la magnitud de las distancias y tolerancias involucradas sugiero leer el recuadro 'Disco rígido en escala 1:1500' en que se llevó todo el sistema a la escala de un campo de fútbol.

Futuro

La densidad de información que se puede almacenar en un disco rígido ha crecido en forma sostenida

en los últimos 50 años utilizando simplemente leyes de escala. Este ritmo de crecimiento se ha incrementado recientemente más allá de lo previsto debido a la introducción de tecnologías revolucionarias basadas en descubrimientos realizados solo unos años antes de que el producto llegue al mercado. Con los sistemas actuales de grabación longitudinal se espera aumentar la densidad hasta unos 200 gigabits por pulgada cuadrada (casi un factor 10 comparado con un disco actual). La migración a medios de grabación perpendicular permitiría llegar a valores de densidad de hasta 1 terabit por pulgada cuadrada (1 terabit = 1 billón de bits). Para aumentar aún más la densidad de bits se han propuesto medios prediseñados (o *pattermed media*) en los que los bits están formados por dominios magnéticos aislados en una matriz no magnética. Otros esquemas proponen adaptar los microscopios de fuerza atómica para guardar información en escalas de átomos individuales.

Sea cual fuere el sistema que domine el mercado en el futuro, lo cierto es que si el ritmo de crecimiento de 100% anual continúa en los próximos 10 años, para el año 2015 la capacidad de un disco se habrá multiplicado por 1000, es decir tendríamos discos rígidos de más de 100 terabytes (100.000.000.000.000 bytes; 1 byte = 8 bits). Más allá de que el progreso tecnológico permita llegar a discos de semejante capacidad, la pregunta que naturalmente surge es: ¿tenemos suficiente información para llenarlos? Si pudiéramos traer del futuro un disco de 100 terabytes comenzaríamos copiando nuestro viejo disco en el nuevo y solo llenaríamos un 0,5% del espacio disponible. Si se nos ocurriera guardar la información contenida en todos los libros de una biblioteca dispondríamos de espacio suficiente para 100 millones de volúmenes, mucho más de lo que tiene cualquier biblioteca del mundo. El disco podría archivar 10 millones de fotos de muy alta reso-

lución, un millón de discos compactos en formato MP3, o 50.000 películas en formato DVD. Esto es mucho más de lo que nosotros (incluyendo familiares, amigos y vecinos) podríamos leer, escuchar o ver durante todas nuestras vidas. Otro problema se presentaría al intentar cargar toda esa información en el disco. ¿Cuánto tiempo y esfuerzo nos llevaría digitalizar varios millones de fotos o copiar cientos de miles de discos compactos? Si quisiéramos bajar información de Internet usando una conexión de banda ancha de un megabit por segundo tardaríamos más de 20 años en completar nuestro disco.

Otro problema no menor aparecería al tratar de organizar semejante cantidad de información. Cualquier persona que utilice una computadora sabe lo que cuesta mantener ordenados y fácilmente accesibles algunos gigabytes. Según parece, en el futuro próximo tendremos un superávit de capacidad para guardar información, debido esencialmente a que el producto de la creatividad humana crece solo en forma aritmética, mientras que la capacidad de guardar y distribuir información aumenta en forma geométrica. ¿O se encargará la versión 2015 de Windows de llenar el 99,5% restante de nuestro disco rígido?



Alejandro Butera
Doctor en Física, Instituto Balseiro.
Profesor Adjunto, Instituto Balseiro - Universidad Nacional de Cuyo.
Investigador Adjunto, CONICET, Centro Atómico Bariloche - CNEA
butera@cab.cnea.gov.ar

Página web del Laboratorio de Resonancias Magnéticas del Centro Atómico Bariloche:
<http://www.cab.cnea.gov.ar/cab/invbasica/Resonancia>

Lecturas sugeridas

- FUJIWARA H, 1996, 'Recording devices', *Encyclopedia of Applied Physics*, vol. 16, p. 149.
- GROCHOWSKI E, 'IBM magnetic hard disk drive technology', <http://www.almaden.ibm.com/sst/html/leadership/leadership.htm>
- GRUNBERG P, 2001, 'Layered magnetic structures: history, highlights, applications', *Physics Today*, May, p. 31.
- HAYES B, 2002, 'Terabyte territory', *American Scientist*, vol. 90, May-June, p. 212.

- LEMKE JU, 1990, 'Magnetic storage: principles and trends', *MRS Bulletin*, Mar., p. 31.
- LIVINGSTON JD, 1998, '100 years of magnetic memories', *Scientific American*, Nov., p. 106.
- 'Magnetic recording history pictures', <http://history.acusd.edu/gen/recording/tape.html>

