

GRABACIÓN MAGNÉTICA

Alejandro Butera, Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro, 8400 Bariloche Río Negro.
Investigador del CONICET

Los discos rígidos han dominado el mercado de almacenamiento de información digital en medios regrabables en los últimos 50 años. Absolutamente todas las tecnologías alternativas han sucumbido ante la notable capacidad de estos equipos para reducir permanentemente las dimensiones y guardar cada vez más bits en menos espacio físico. Detallaremos el principio de funcionamiento de un disco rígido moderno y comentaremos los nuevos descubrimientos físicos que han hecho posible que un disco actual permita guardar 10 000 000 de veces más información por unidad de área que el original del año 1956.

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 llamado telegráfono que sería el punto de partida para una larga serie de desarrollos tecnológicos. El telegráfono que se muestra en la figura 1 consistía en un micrófono que se utilizaba para convertir el sonido en señales eléctricas. Estas señales alimentaban una bobina con núcleo de hierro que "grababan" 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 ser luego leídas con el mismo electroimán y ser convertidas nuevamente a señales eléctricas. Estas señales alimentaban un parlante que las transformaba en ondas sonoras. La grabación magnética más antigua que aún se conserva corresponde al Emperador Franz Josef de Austria hablando en la exposición de París de 1900 y se realizó en el telegráfono de Poulsen. En 1935 AEG y BASF de Alemania presentan el magnetófono en la feria de Berlín. 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). Hacia 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 con el 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 60 cm de diámetro y giraba a 1200 rpm. La lectura/escritura se realizaba con un par de cabezas que se desplazaban verticalmente de un disco a otro con un control neumático, y con un desplazamiento radial accedían a una posición dada dentro del disco seleccionado (ver figura 2). El disco completo tenía una capacidad total de 5 Mbytes (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 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

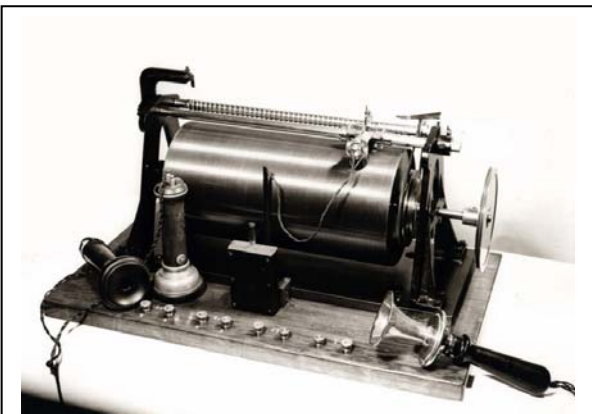


Figura 1. TELEGRÁFONO DE POULSEN, AÑO 1898. El primer sistema de grabación magnética fue originalmente creado para cumplir las funciones de un contestador telefónico. (Tomado de la referencia 7).



Figura 2. PRIMER DISCO RÍGIDO DE LA HISTORIA FABRICADO POR IBM EN 1956. El cabezal accionado neumáticamente puede verse en el centro de la figura, mientras que algunos de los 50 discos magnéticos se observan a la derecha de la fotografía. (Tomado de la referencia 1).

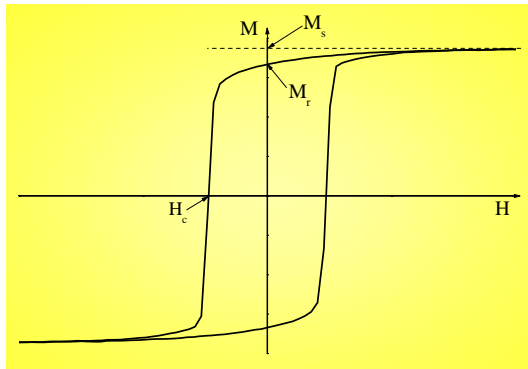


Figura 3. LAZO DE HISTÉRESIS DE UN MATERIAL MAGNÉTICO

La curva de magnetización M en función de campo H (o “lazo de histéresis”) se puede utilizar para diferenciar un material “blando” con campo coercitivo H_c igual o menor a unos Oersted y uno “duro” en los que el campo coercitivo H_c es superior a varios miles de Oersted. (Cómo referencia el campo magnético terrestre que alinea la aguja de una brújula es menor a 1 Oersted). Los materiales duros se emplean como medio de grabación magnética y los blandos se usan en los cabezales de lectura y escritura. La magnetización de saturación M_s es el máximo valor que alcanza la magnetización cuando el material es sometido a altos campos magnéticos. M_r es la magnetización remanente que queda en el sistema al quitar el campo aplicado.

magnético (ley de Ampère)

2. Las variaciones de 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 (usando 2) la información magnética. 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. (Ver la figura 3 para la definición de “blando” y “duro”). 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.

A continuación y por el resto de este artículo, nos centraremos exclusivamente en la descripción de los discos rígidos por ser estos equipos los de más avanzada tecnología 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



Figura 4. 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 7 capas (varias con espesores de sólo algunas distancias atómicas) para lograr un disco con las características deseadas. De todas ellas la capa gruesa de CoCrPtB (pintada de color gris) es la que guarda la información.

esencialmente en los mismos principios físicos para funcionar.

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 nanociencia y serán comentados en detalle.

Medio Magnético

Los requisitos fundamentales que debe cumplir un medio magnético son: alto campo coercitivo (ver figura 3), estabilidad magnética y térmica, estar formado por granos muy pequeños cristalinamente orientados, magnéticamente aislados y de alta anisotropía magnética. Tienen que ser también resistentes a la corrosión y al uso. 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 performance 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 7 capas (como se muestra en la figura 4) y cada una de ellas cumple una misión

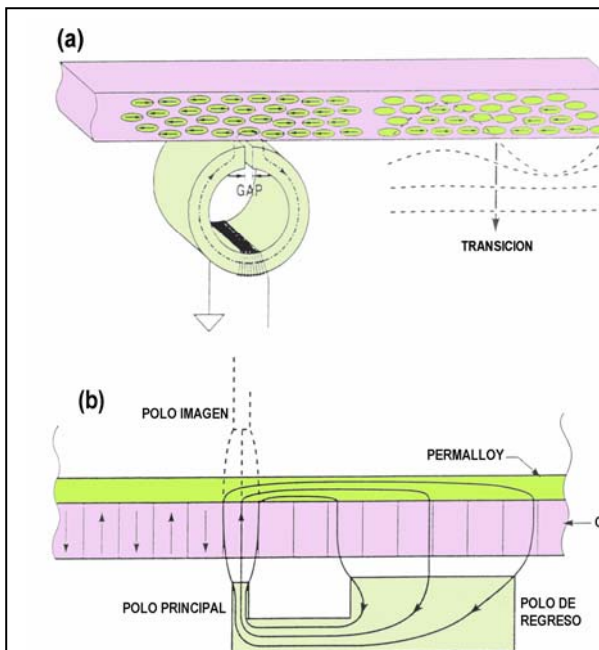


Figura 5. GRABACIÓN MAGNÉTICA PARALELA Y PERPENDICULAR

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 sensa estos estados magnéticos ya que intercepta las líneas de flujo que salen de las regiones magnetizadas y genera una señal de voltaje (actualmente, como se explicará más adelante, la lectura no es inductiva sino magneto-resistiva). 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 la referencia 6.)

específica. Es necesario crecer la multicapa en condiciones muy controladas para que cumpla con los requerimientos más arriba mencionados. 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 10^{-7} Torr). Como sustrato y soporte de las capas se usa un disco de aluminio o de vidrio, generalmente de $3\frac{1}{2}$ o de $2\frac{1}{2}$ pulgadas 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 Cr y CoCr tienen como objetivo lograr que la película magnética crezca en forma epitaxial, es decir, que los granos de Co tengan su eje de anisotropía magnetocristalina paralelo al plano del film. De este modo tanto la energía magnetostática como la cristalina favorecen que la magnetización quede paralela al plano del film. Aquí conviene aclarar que existen dos esquemas para magnetizar al medio como se muestra en la figura 5. 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 comercian se utiliza la grabación longitudinal. La capa siguiente de CoCrPtB de 3 nm junto con la delgadísima capa de Ru (0.8 nm, menos de 3 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 artículo de Laura Steren en esta misma entrega). 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 Co y la función de los otros elementos químicos es, fundamentalmente, la de aislar los granos de Co 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 tenderán a darse vuelta debido al fuerte acople de intercambio existente. Si los granos magnéticos son separados por regiones no magnéticas, este acople disminuye y es posible magnetizar una región dada sin alterar el entorno. El diámetro de los granos de Co en un medio actual es menor a 10 nm (ver figura 6). Este tamaño está en el límite de estabilidad magnética a temperatura ambiente en películas de Co. Como se discute en el artículo de nanopartículas este tamaño mínimo depende de la anisotropía de las partículas. Actualmente se está invirtiendo un gran esfuerzo de investigación en compuestos en los que el superparamagnetismo (es decir cuando el desorden térmico destruye el orden magnético) recién aparece en tamaños menores a los 3 nm. Estos compuestos son aleaciones ordenadas de CoPt con anisotropías magnetocristalinas 10 veces mayores que las de Co 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 sólo 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 10, de modo que la

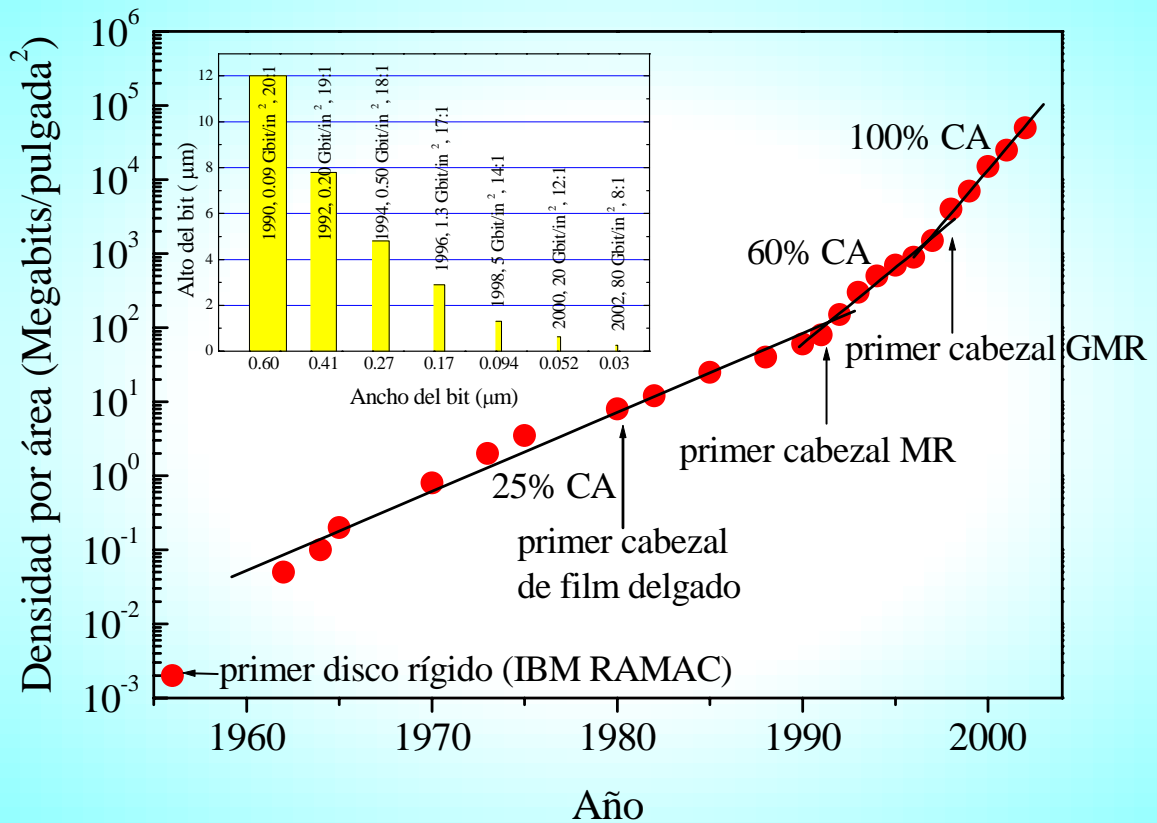


Figura 7. EVOLUCION DE LA DENSIDAD DE INFORMACION

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 3 años). Cuando se introdujeron las cabezas lectoras magneto-resistentes 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 magneto-resistencia 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 7 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 al 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 bien 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 la referencia 2.)

anisotropía de forma favorece la alineación de la magnetización según la dirección más larga. En los discos modernos el tamaño del bit es 250 nm x 30 nm (figura 7) y las regiones de transición entre bits (en donde no se guarda información) son de menos de 10 nm. 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 acople 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 de 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 funciona 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 sigue siendo inductivo aún hoy, pero para aumentar la sensibilidad el 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

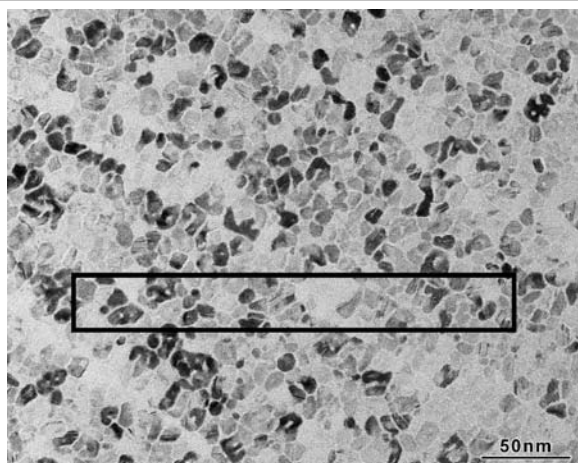


Figura 6. MICROSCOPIA DE ALTA RESOLUCIÓN DE UN MEDIO MAGNÉTICO MODERNO.

La imagen de microscopía electrónica de transmisión de campo brillante fue tomada de una aleación de CoCrPtB. 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 8 nm. Se ha superpuesto un rectángulo para indicar el tamaño aproximado de un bit de información (30 nm x 250 nm). La región de transición entre bits es de ~10 nm.

Gentileza de Richard Zhou, MMC Technologies USA.

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 fue introducida por IBM en 1991 con la aparición del cabezal de lectura magneto-resistivo (MR) de película delgada, basado en materiales cuya resistencia eléctrica cambia en presencia de un campo magnético. En 1997 un cabezal de lectura aún más sensible basado en el efecto de magneto-resistencia gigante (GMR) fue presentado por IBM. 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 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 magneto-resistencia 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" (del inglés spin valve) y son estructuras de multicapas especialmente construidas para sensar 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" (spin-dependent scattering en inglés) 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. La válvula de espín tiene cuatro elementos fundamentales: A) una capa antiferromagnética que puede ser natural o sintética. Se utilizan una gran variedad de antiferromagnetos naturales, entre los más comunes podemos mencionar PtMn, MnIr, NiO, FeMn, etc. 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 Cu u otro metal noble que separa las dos capas ferromagnéticas, y D) una capa magnética de muy bajo campo coercitivo (que suele ser Permalloy) que está libre para moverse en la dirección del campo magnético aplicado. Con este tipo de estructura de multicapas se logran cambios de resistividad superiores al 15% al invertir unos pocos Oersted la magnitud del campo magnético. La complejidad extrema de un sensor magneto-resistivo utilizado como lector de discos rígidos puede observarse en el esquema de la figura 8.

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/pulgada cuadrada el espesor total de la multicapa no supera los 15 nm, y las dimensiones laterales son menores a los 200 nm.

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 sólo sustrato de silicio de 6 pulgadas de diámetro se pueden fabricar alrededor de 30000 cabezales en forma simultánea. El material elegido como núcleo magnético es Permalloy debido a su muy buena respuesta a altas frecuencias (se escribe a cientos de megahertz) y su magnetostricción nula.

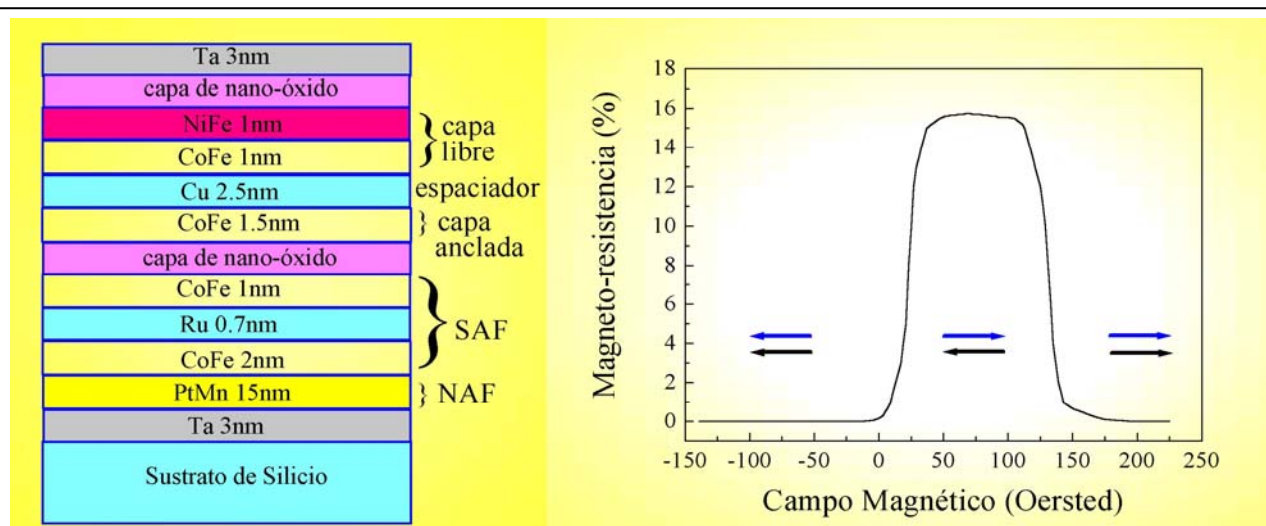


Figura 8. VÁLVULA DE ESPÍN UTILIZADA COMO CABEZA LECTORA

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 Ta. El PtMn es un antiferromagneto natural (NAF) que sirve para anclar al antiferromagneto sintético (SAF) formado por la tricapa CoFe-Ru-CoFe. Sobre ésta 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. La NOL 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 magneto-resistencia 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 magneto-resistencia (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.

Actualmente se está realizando mucho trabajo de investigación en 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 de Permalloy.

A pesar de que las funciones de lectura y escritura son independientes, los cabezales están integrados en un sólo 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 15 nm sobre un disco que rota a más de 10000 rpm. Para comprender mejor la magnitud de las distancias y tolerancias involucradas leer el apartado en que se lleva 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. El ritmo de crecimiento

en la densidad de bits se ha incrementado recientemente más allá de lo previsto debido a la introducción de tecnologías revolucionarias basadas en descubrimientos realizados sólo 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 Gbits/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/pulgada cuadrada (1 Tbit = 10^{12} bits). Para aumentar aún más la densidad de bits se han propuesto medios pre-diseñados (o *patterned 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 2014 la capacidad de un disco se habrá multiplicado por 1000, es decir tendríamos discos rígidos de 100 terabytes (100 000 000 000 000 bytes). Más allá de que el progreso tecnológico permita llegar o no 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 Tbytes comenzaríamos copiando nuestro viejo disco en el nuevo y sólo llenaríamos un 0.1% 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 resolución, 1 millón de CD's en formato MP3, o 50000 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 CD's?. Si quisiéramos bajar información de Internet usando una conexión de banda ancha de 1Mhz tardaríamos más de 20 años en completar nuestro disco.

Otro problema no menor aparecería al tratar

2- Ed Grochowski, IBM magnetic hard disk drive technology,

<http://www.almaden.ibm.com/sst/html/leadership/leadership.htm>

3- Peter Grünberg, Layered magnetic structures: history, highlights, applications, Physics Today, p.31, May 2001.

4- James D. Livingston, 100 years of magnetic memories, Scientific American, p.106, Nov. 1998.

5- Hideo Fujiwara, Recording devices, Encyclopedia of Applied Physics, p.149, vol 16, 1996.

6- James U. Lemke, Magnetic storage: principles and trends, MRS Bulletin, p. 31, Mar. 1990.

7- Magnetic recording history pictures, <http://history.acusd.edu/gen/recording/tape.html>.

GLOSARIO DE TÉRMINOS:

Electroimán: Tipo de imán formado por una bobina (usualmente de cobre) enrollada sobre un núcleo ferromagnético (usualmente Fe). Tiene la ventaja sobre un imán permanente que controlando la intensidad de

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 15×10^{10} 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 3 cm. 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 apartamientos excesivos que impedirían discernir si en una posición dada hay o no un bit/cabello presente.

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 sólo en forma aritmética, mientras que la capacidad de guardar y distribuir información aumenta en forma geométrica. ¿O se encargará la versión 2014 de Windows de llenar el 99.9% restante de nuestro disco rígido?.

LITERATURA SUGERIDA

1- Brian Hayes, Terabyte territory, American Scientist, p.212, vol. 90, May-June 2002.

la corriente que circula por la bobina se controla el valor del campo magnético.

Dominio Magnético: Los materiales magnéticos de dimensiones macroscópicas no suelen tener una magnetización apreciable en ausencia de campo magnético. Esto se debe a que pueden bajar su energía magnética si crean pequeñas zonas con las magnetizaciones opuestas a perpendiculares (llamadas dominios). La energía adicional que implica la introducción de una pared de dominio no es significativa a menos que la dimensión del material sea del orden de los micrones. En este caso el material no se dividirá en dominios.

Oersted: Unidad de campo magnético. El campo magnético terrestre que alinea la aguja de las brújulas con el norte geográfico equivale aproximadamente a 1

Oe. El de un imán permanente como los que se pegan en las heladeras es de unos 500 Oe.

Anisotropía Magnetocristalina: En un material magnético la magnetización no siempre está distribuida en forma isotrópica. Su forma geométrica, el proceso de fabricación, o su estructura cristalina pueden generar una dirección de ordenamiento preferencial. Si esta anisotropía es debida fundamentalmente a las características intrínsecas del material se suele decir que es del tipo magnetocristalina.

Filmes epitaxiales: En estos filmes la estructura va creciendo en forma totalmente ordenada según alguna dirección cristalina determinada por las características del sustrato.

Antiferromagnetismo: En el caso más simple se lo puede pensar como un material en el que dos subredes ferromagnéticas iguales, pero de magnetización opuesta, están interpenetradas para generar un sistema magnéticamente ordenado, pero de magnetización total igual a cero.

Superparamagnetismo: Estado desordenado que ocurre en los materiales ferromagnéticos cuando el tamaño se reduce lo suficiente como para que la energía térmica se haga mayor a la magnética. Este fenómeno recién se observa a temperatura ambiente en partículas con tamaños menores a los 10 nm.

Litografía óptica: Técnica que consiste en reproducir un diseño sobre una superficie utilizando máscaras y resinas sensibles a la radiación electromagnética en el rango visible o ultravioleta.

ARTICULO PUBLICADO

GRABACIÓN MAGNÉTICA, Alejandro Butera,
Revista Ciencia Hoy, Volumen 15 - Nº 86 Abril-Mayo
2005