



Industria y Comercio

SUPERINTENDENCIA

Delegatura de Propiedad Industrial

División de Nuevas Creaciones

SOLICITUD

PATENTE DE INVENCION

04-95903

21. EXPEDIENTE No.

54. TITULO Dispositivo de Almacenamiento de Datos.

51. CLASIFICACION INTERNACIONAL G11C 19/08, 13/02

71. SOLICITANTE Eastgate Investment Limited

DOMICILIO Hamilton, Bermuda

74. APODERADO Lilia Maria Rodriguez D' Aleman

22. BOGOTA, D.C., Sept. 27/2004

202099

FORMULARIO ÚNICO DE SOLICITUD DE PATENTE
PCT
ENTRADA EN FASE NACIONAL

1) **SOLICITUD DE:**

☒ Patente de invención ☐ Patente de Modelo de Utilidad

☐ Capítulo I. ☒ Capítulo II.

2) S LICITANTE (71)	Nombre: EASTGATE INVESTMENT LIMITED	IDENTIFICACIÓN C.C. ☐ NIT: ☐ C.E. ☐ OTRO ☐ Cual _____ NÚMERO _____
	Dirección: Cedar House, 41 Cedar Avenue, P.O. Box HM 1179, Hamilton HM, EX, Bermuda	
	Nacionalidad o domicilio: Hamilton, HM, EX, Bermuda	
	Lugar de constitución: Bermuda	
	Teléfono: Fax: E. Mail:	

3) REPRESENTANTE O APODERADO	Nombre: DILIA MARÍA RODRÍGUEZ D'ALEMAN	IDENTIFICACIÓN C.C. ☒ NIT: ☐ C.E. ☐ OTRO ☐ NÚMERO: 41.654.882 TP: 20824 CSJ
	Dirección: Carrera 11 N°. 93-43 Of. 404 Santafé de Bogotá D.C.	
	Teléfono: 6350835 Fax: 6350824 E. Mail: clarkemodet@clarkemodet.com.co	

4) INVENTOR (ES) (72)	Nombre: COWBURN, Russell, Paul
	Dirección: University of Durham, Department of Physics, Rochester Building Science Laboratories, South Road, Durham DH1 3LE, Gran Bretaña
	Nacionalidad o Domicilio: Inglés

5) **PCT (86)**
Solicitud Internacional No. PCT/GB03/01266 Fecha: Marzo 25, 2003

Publicación Internacional No. WO 03/083874 A1 Fecha: Octubre 9, 2003

6) **Título (54)** DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO DE DATOS (ver folio 26)

7) **Clasificación Internacional:** G11C 19/08, 13/02

8) PRIORIDAD	33) País de Origen	(32) Fecha	(31) Número de Solicitud
	Gran Bretaña	Marzo 27, 2002	0028092.5
SI ☒ NO ☐			

9) **C mprobante de pago N°. 04-75,237 Fecha: Septiembre 22, 2004**

2

SUPERINDUSTRIA Y COMERCIO
Radicacion : 04695963 (063)339 Folios: 04
Fecha (Acto): 2004-09-27 16:15:53
Tramite : 011 PCT-PATENT 379 FASE INCI 411 PRESENTA
Dependencia: 2060 DIVISION DE MARCAS CREACIONES

MIT : 800174089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 01 - 75,237
FECHA : SEPTIEMBRE 22 DE 2004

CONSIGNACION

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PAGO	Vr. PAGO
CLARKE NOBET Y CO. COLOMBIA	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	31534172	21/09/2004	7,593,000.00

CONCEPTO

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-01 SOLICITUDES	1 TRAMITES DE SOL. DE PATENTE DE IN	422,000.00
		TOTAL :	\$ 422,000.00

SON: CUATROCIENTOS VEINTIDOS MIL PESOS

RESPONSABLE : _____ 

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

P580

10)

ANEXOS

- ☒ Comprobante de pago de la tasa de presentación de la solicitud
- ☐ Comprobante de pago por reivindicación de prioridad
- ☐ Documento que acredite la existencia y representación legal cuando el solicitante sea persona Jurídica
- ☐ Poderes, si fuera el caso
- ☐ Documento de cesión del inventor al solicitante o a su causante
- ☐ Declaraciones
- ☒ Copia de la solicitud Internacional. (Resumen, descripción, reivindicación, Dibujos).
- ☒ Traducción de la solicitud Internacional al castellano. (Resumen, descripción, reivindicación, Dibujos)
- ☒ Copia del examen preliminar efectuado por la IPEA
- ☐ De ser el caso, copia del contrato de acceso
- ☐ De ser el caso, documento que acredite la licencia o autorización de uso de conocimientos tradicionales de las comunidades Indígenas
- ☐ De ser el caso, certificado de depósito del material biológico
- ☐ Arte final 12 x 12 y 6 x 6 cm
- ☐ De ser el caso, información sobre otras solicitudes de patente o títulos obtenidos en el extranjero por el mismo titular o su causante, relacionados parcial o totalmente con la invención de esta solicitud.
- ☒ Otros
 1. Reporte internacional de búsqueda
 - 2.

11) FIGURA CARACTERÍSTICA:

12) Solicitud concesión de la patente,

NOMBRE: DILIA RODRÍGUEZ D'ALEMAN

FIRMA:

C.C. 41.654.882 de Bogotá TP 20824 CSJ

Instrucciones para el diligenciamiento del presente formulario. Ver reverso de esta página

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
9 October 2003 (09.10.2003)

PCT

(10) International Publication Number
WO 03/083874 A1

(51) International Patent Classification⁷: G11C 19/08, 13/02

(21) International Application Number: PCT/GB03/01266

(22) International Filing Date: 25 March 2003 (25.03.2003)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
0028092.5 27 March 2002 (27.03.2002) GB

(71) Applicant (for all designated States except US): EAST-GATE INVESTMENTS LIMITED [—/—]; Cedar House, 41 Cedar Avenue, P.O. Box HM 1179, Hamilton HM-BX (BM).

(72) Inventor; and

(75) Inventor/Applicant (for US only): COWBURN, Russell,

Faul (GB/GB); University of Durham, Department of Physics, Rochester Building Science Laboratories, South Road, Durham DH1 1LE (GB).

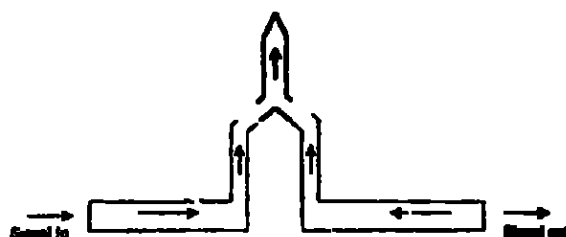
(74) Agent: NOVAGRAFF PATENTS LIMITED; The Crescent, 54 Blossom Street, York YO24 1AP (GB).

(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GR, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, EG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO,

[Continued on next page]

(54) Title: DATA STORAGE DEVICE



(57) Abstract: A data storage device for storing digital information in a readable form is described made up of one or more memory elements, each memory element comprising a planar magnetic conduit capable of sustaining and propagating a magnetic domain wall formed into a continuous propagation track. Each continuous track is provided with at least one and preferably a large number of inversion nodes wherein the magnetisation direction of a domain wall propagating along the conduit under action of a suitable applied field, such as a rotating magnetic field, is changed.



WO 03/083874 A1

1/2
5**DATA STORAGE DEVICE**

The invention relates to a data storage device for the storage of digital information such as computer files, digital music, digital video etc. In particular the invention relates to a data storage device to which data can be written and read back an unlimited number of times.

A wide range of data storage devices has become available in recent years employing a range of media for a range of digital data storage applications. Data storage devices are designed which are adapted to some of a variety of operational characteristics, including capacity, speed of access, write/ rewrite ability, ability to retain data stably over time (with or without power), size, robustness, portability and the like.

Known data storage devices include magnetic tape storage, magnetic hard disk storage, and optical disc storage. All offer advantages of good storage capacity and relatively rapid data access, and all can be adapted for ready write and rewrite of data. All require moving parts in the form of electromechanical or optical readers. This can limit the extent to which devices incorporating such data storage media can be miniaturised, and limit the use of the device in high-vibration environments. Although in each case the surface medium is the key to data storage, the mechanisms involved require careful control of properties also of any supporting substrate. Thus, such devices have to be of carefully controlled construction. Moreover all require the reader to have access to the surface of the device, which can place limitations on design freedom for the device.

It is an object of the present invention to provide an alternative digital data storage device which offers versatility in alternative situations, in particular

CONFIRMATION COPY

for example which can be miniaturised, and/or which can be incorporated into other devices such as smart cards, identification tags and patches or the like, and/or which can be incorporated onto flexible substrates, and/or which can be used in high-vibration environments, and/or which is of simple/ low cost manufacture etc.

It is a particular object of the invention to provide a data storage device which compactly and effectively stores digital data and provides for data to be written to the invention and read back an unlimited number of times.

10

Thus, according to the invention a data storage device for storing digital information (such as computer files, digital music, digital video etc) in a readable form comprises one or more, and in particular a plurality of, memory elements, each memory element comprising a planar magnetic conduit capable of sustaining and propagating a magnetic domain wall formed into a continuous propagation track, wherein each continuous track is provided with at least one and optionally a plurality and in particular a large number of inversion nodes whereat the magnetisation direction of a domain wall propagating along the conduit under action of a suitable applied field is changed and in particular substantially reversed.

Each conduit is formed into a continuous propagation track. Conveniently a conduit is formed into a closed loop to comprise such a continuous propagation track. Such a loop is provided with at least one and optionally a plurality and in particular a large number of inversion nodes. Data is able to pass around the closed loop in accordance with the mechanism outlined below. In a variant, the magnetic conduit does not form an entire closed loop of inversion nodes, but rather a linear chain of inversion nodes with means to transfer data between the two ends thereof so that data is still able to circulate

around an apparently closed loop, for example comprising a data writing facility at one end of the chain and data reading facility at the other end of the chain, and additional circuitry to feed the data back electronically from the output of the chain to the input of the chain.

5

Conveniently the inversion nodes comprise features in the structure and shape of the conduit which are so adapted as to cause a change in the magnetisation direction, and preferably a substantial reversal in the magnetisation direction, of a domain propagating thereacross under action of a suitable applied field, such as a directionally varying and in particular a rotating magnetic field.

It is nevertheless necessary that the conduit direction and hence the domain wall propagation direction varies without sharp discontinuities at any point. Thus, the conduit in the region of and comprising the inversion node must have configurational features such as to cause a change in the magnetisation direction, and preferably a substantial reversal in the magnetisation direction, of a domain propagating thereacross but without any specific sharp variation in propagation direction.

In a preferred embodiment, an inversion node comprises a substantial reversal of magnetisation direction at the inversion node. Preferably, the inversion node comprises a portion in which a direction change away from the initial path and a subsequent direction change back to the initial path are provided in the conduit such that no direct propagation path is possible across the deviating portion. In particular, deviations comprise 90° deviations from the initial path. For the reasons indicated, deviations from the initial path preferably occur gradually over a distance along the conduit track.

For example, the inversion node comprises a cycloidal portion within the conduit loop structure, in particular directed internally, or a topological equivalent of such a structure.

- 5 Preferably, a plurality of such cycloidal portions are provided in each loop. Thus a device in accordance with the invention preferably comprises a number of magnetic conduits formed into closed loops each comprising a plurality of cycloids serving to effect abrupt directional reversals in a magnetisation direction of a domain wall passing thereacross and hence serving as inversion
10 points for domain walls as they are propagated along the conduit of the invention by a suitable driving field.

- Preferably each cycloid has a turning radius which is in the range three to ten times the conduit width. Preferably the cycloid is such as to produce a
15 substantial change, for example a substantial 180° reversal, of magnetisation direction as a domain wall passes therethrough.

- In accordance with the present invention, the magnetic conduit needs to have architecture capable of sustaining and propagating a domain wall under action
20 of a controlling field. Typically, the magnetic conduit may be formed as a continuous track of magnetic material. Thus, the loops in the device in accordance with the invention preferably comprise magnetic wires, in particular generally planar magnetic wires on a suitable substrate.

- 25 The data storage device thus uses a number of planar magnetic conduits and in particular magnetic wires which are preferably shaped into closed loops of cycloids. In particular, the invention employs magnetic nanoscale technology, the device comprising a number of planar magnetic nanowires preferably formed into a plurality of closed loops of cycloids.

a

The planar magnetic nanowires are preferably less than 1 μm in width and are formed onto any suitable substrate. Width is a trade off between the improved storage capacity of devices employing narrower nanoscale wires and fabrication costs and complexities. However devices incorporating wires above one micron are unlikely to be effective, and 50 nm is a likely practical lower limit of cost-effective practicality for current wire forming techniques. It should be emphasised that it is not a technical effect limit, and that improved fabrication techniques could render further miniaturised devices embodying the invention practical.

The wires are deposited on a substrate in the form of a thin layer of magnetic material. Wire thickness is optimised for optimum performance of the device, and is broadly a function of width. In particular wire thickness is generally around $1/40^{\text{th}}$ of wire width. Wire thickness is generally not less than 2 nm, and preferably not less than 3 nm. Wires are in practice unlikely to be more than 25 nm thick.

The wires can be fabricated by optical lithography, X-ray lithography, micro-contact printing, e-beam lithography, deposition through a shadow mask or by some other suitable method. The wires are made from a magnetic material such as Permalloy ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) or CoFe or some other soft magnetic material.

The data storage device incorporating inversion nodes as above described is subject to the application of a suitable directionally varying and in particular rotating magnetic field in a manner of operation described in greater detail below, which gives the inversion node a memory function. The provision of a plural array of loops each incorporating one or more inversion nodes allows a device in accordance with the invention to store data serially in a ring.

Data can be written to a device in accordance with the invention and read back an unlimited number of times. Unlike magnetic tape storage or magnetic hard disk storage, the invention requires no moving parts. Consequently, it can be easily miniaturised and used in high-vibration environments. The principle of the invention is very simple, and manufacturing costs can be kept low. Moreover, no power is required to retain data in the memory of the invention when it is not in use.

10 The invention uses a number of magnetic conduits such as planar magnetic wires. The planar wires are formed on some substrate, but unlike microelectronic memory, this substrate plays no role in the electronic or magnetic operation of the device, serving essentially only to provide mechanical support. Conventional silicon substrates may still be used, but
15 since no functionality is necessary from the substrate, materials other than silicon may also be used, such as glasses or plastics. Examples include polyimide such as Kapton, polyethylene terephthalate or Mylar-type materials, acetate, polymethylmethacrylate or other. Plastic substrates have the advantage of low cost and simplicity of fabrication and also offering the
20 potential for mechanical flexibility which makes the invention suitable for integration into plastic cards such as Smart Cards, or into clothing.

Because no mechanical access is required to the surface of the invention, as is required in compact disc, magnetic tape and magnetic hard disc storage, a
25 large number of substrates can be stacked on top of each other to form a 3-dimensional memory cube.

The invention's areal storage density is moderate, being higher than magnetic tape but lower than magnetic hard disks. Reading and writing data rates can

be very high if required, and even higher than hard disk drive rates. However, the invention stores data serially in a ring, and so access time to a given block of data is likely to be relatively slow, making the invention of limited applicability as a direct replacement for the primary hard disk drive in
5 computers.

International patent application PCT/GB01/05072 applies and develops some of the principles of the Cowburn and Welland paper referenced above to describe how digital logic circuits could be constructed from chains of
10 nanometre scale dots of magnetic material, or nanometre scale planar magnetic wires. In particular, is described a magnetic NOT-gate which is shown in figure 1 of the present application.

In figure 1 the arrows represent magnetisation direction within the narrow
15 strips of magnetic material which form the gate. The central structure of the gate reverses the direction of magnetisation coming in from the left.

In use the gate is placed in a magnetic field, the vector of which rotates in the plane of the device with time. Whilst the device of the invention is not
20 limited by any theory of operation, it can be noted that because of magnetic shape anisotropy, the magnetisation in the wire is generally confined to lie along the long axis of the wire. This means that there are two possible magnetisation directions and so there exists a natural binary representation. A change in magnetisation direction is mediated by a magnetic domain wall
25 being swept along the wire by the applied field. The fact that the applied field rotates means that domain walls can be carried around corners.

In accordance with the invention a NOT-gate similar to the one described above is fabricated by a suitable method. Ideally for present purposes the

shape of the gate is modified slightly from that shown in Fig. 1 to have a cycloidal shape. The output of the gate is connected back into its input using a suitable magnetic conduit such as a planar magnetic wire to form a closed loop. An array of such loops forms the device of the invention according to this preferred embodiment, which comprises planar magnetic nanowires formed into large closed loops of serially connected cycloids to form chains of magnetic NOT gates. The output of the last NOT gate in each chain is fed back into the input of the first NOT gate by a planar magnetic wire so as to form a closed loop for the data sequence to circulate around.

10

The cycloids serve as inversion nodes for propagating domain walls as they propagate through the nanowires under action of a suitable rotational operating field in the manner noted above and described in greater detail below. The inverted output only appears after a time delay equal to one half of the period of the rotational applied field, which makes each inversion node appear as a single bit memory cell or flip-flop. Thus, the loops of cycloids have the same memory function as a serial circular shift register, and can serve as a data storage device in accordance with the invention.

20 According to a further aspect of the invention, a data storage system is provided comprising one or more device elements as above described and further comprising a magnetic field driver for providing a controlled time-varying driving magnetic field. The magnetic field driver is preferably set up such that the driving field is applied simultaneously to all of the cycloids in a given loop and may be applied simultaneously to all of the loops in the system. This gives a distinctive feature of the present system in operation. The magnetic field is applied to the entire loop at once so that all of the data bits advance together, instead of only locally under the write head as would be the case with conventional magnetic data storage.

Any suitable field may be envisaged. Preferably, the magnetic field driver provides a controlled magnetic field consisting of two orthogonal fields operating in a predetermined sequence, preferable alternating, and more preferably forming a clocking field in a clockwise or anti-clockwise direction. Using such a system, data may be stored in the storage device(s) in accordance with the first aspect of the invention.

The system may further comprise suitable electrical and/or data input and/or outputs to enable the data storage device to be used in a memory storage and retrieval system.

An example of the operation of a magnetic data storage device in accordance with the principles of the invention will now be described by way of example with reference to figures 2 to 8.

Reference is made to figures 1 to 8 of the accompanying drawings by way of such illustration, in which:

Figure 1 is a schematic representation of a prior art magnetic NOT-gate (see above);

Fig. 2 is a magnetic NOT gate modified for use as a data storage device in accordance with the invention;

Figure 3 is a schematic representation of the structure of the NOT gate of figure 2 (Part A) and of its effect on a domain wall entering at point P under the action of a rotating magnetic field H;

Figure 4 shows three magnetic NOT gates connected in a ring to form a 5-bit serial shift register in Part A, and Part B shows how simple (trace I) and complex (trace II) bit sequences can be forced to circulate around the ring by the application of a rotating magnetic field (the asterisk in Part A showing the point in the loop where the measurements shown in Part B were made);

Figure 5 shows eleven magnetic NOT gates connected in a ring to form a 13-bit serial memory in Part A, and Part B shows a simple 13-bit data sequence cycling around the loop under the action of a rotating magnetic field (the asterisk in Part A showing the point in the loop where the measurements shown in Part B were made).

Figure 6 is a schematic illustration of the data writing and read-out mechanism of this invention.

Figure 7 is a schematic illustration of a number of magnetic loops on the same substrate, addressed individually by electronic multiplexers and demultiplexers;

Figure 8 is a schematic illustration of the stacking of a number of substrates each containing a number of data loops to form a 3-dimensional memory cube.

Figure 2 shows a NOT gate similar to figure 1, but particularly adapted to be optimised for the present invention to have a cycloidal shape. The gate is made by focused ion beam milling of a 5nm thick Permalloy ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) film on a silicon substrate. Only the bright white shade is magnetic material; other contrast is due to the multi-step milling process used during the fabrication of the gate. Fig 2a shows the gate with its output connected back to its input using a planar magnetic wire to form a closed loop. Fig 2b shows a close up

of the gate structure, which has a cycloidal form. Magneto-optical measurements at points I and II in response to an applied rotating magnetic field are shown in Fig. 2c. There is a half-cycle delay between the input (trace I) changing state and the output (trace II) changing state equal to one half of the period of the applied rotating magnetic field, which corresponds to a memory function.

Figure 3 gives an explanation of the inverting action of the cycloid and in particular of the origin of this delay.

10

Under low magnetic field conditions, the magnetization direction within sub-micron ferromagnetic planar wires tends to lie along the wire long-axis due to strong magnetic shape anisotropy. When two oppositely directed magnetizations meet within a wire, the re-alignment of successive atomic magnetic moments is not abrupt but occurs gradually over a certain distance to form a domain wall.

It is now known that domain walls can propagate along straight sub-micron magnetic wires by application of a magnetic field parallel to the wire. In use of the present invention a magnetic field is applied with a vector that *rotates* with time in the sample plane can be used to propagate domain walls along magnetic wires that also change direction and turn corners. The clockwise or counter-clockwise rotation defines the magnetic field chirality. A domain wall should propagate around a magnetic wire corner providing that the field and corner are of the same chirality. However, the chirality of a corner depends upon the direction of domain wall propagation so that, within a rotating magnetic field of given chirality, a domain wall will only be able to pass through a given corner in one direction. This satisfies the important requirement of any logic systems that a definite signal flow direction must

exist. The two stable magnetization directions within sub-micron magnetic wires provide a natural means of representing the two Boolean logic states and this, together with application of a rotating magnetic field, is the basis of operation of each logical unit of the memory device.

5

The cycloid illustrated in figure 3 provides an inverting function and demonstrates NOT-gate functionality when within a suitable rotating magnetic field. Suppose the magnetic field is rotating in a counter-clockwise sense. A domain wall arriving at terminal 'P' (fig. 3B) of the junction will propagate
10 around the first corner of the junction (fig. 3C) and through to terminal 'Q' as the applied field rotates from the horizontal to the vertical direction. The magnetization between 'P' and 'Q' will now be continuous (fig. 3D). Then, as the magnetic field vector continues to rotate towards the opposite horizontal direction, the domain wall should propagate around the second corner of the
15 junction (fig. 3E), exiting at terminal 'R' and restoring continuous magnetization between 'Q' and 'R'. The magnetization of the wire immediately after the junction should now be reversed compared with that immediately before the junction. The junction should therefore perform the desired NOT-function with a half field-cycle propagation delay. This
20 operation is analogous to a car reversing its direction by performing a three-point turn.

There is thus a half-cycle total delay between the wall arriving at the input and leaving from the output. In this invention, we identify that this synchronous
25 delay has an associated *memory* function which can be exploited by connecting a large number of magnetic NOT gates together in series and then piping the output of the chain back to the input.

17

Figure 4 shows a reduced version of the invention in which three NOT gates have been connected in a chain, and the output of the chain fed back into the beginning of the chain by a planar magnetic wire. We have programmed two different data bit sequences into the device through a specific application of magnetic fields and then started to cycle the data around the loop by starting the rotating magnetic field.

Trace I of Fig. 4b shows a simple bit-sequence cycling around the chain: the pattern repeats every 5 cycles of the rotating field. Trace II of Fig. 4b shows a more complex sequence cycling around the loop, with a period of 5 cycles of the rotating field. The device is effectively behaving as a 5-bit serial shift register. The data bit sequence takes one step to the right on each complete cycle of the rotating field. These data were obtained using a counter-clockwise rotating field and so the data were cycling around the magnetic ring in a counter-clockwise sense. We find that reversing the rotating sense of the field to clockwise causes the data to reverse direction and to begin to cycle around the magnetic ring in a clockwise sense.

Figure 5 shows a test of the invention using 11 NOT gates. Figure 5b shows a simple bit sequence cycling around the loop with a repeat period of 13 cycles of the rotating field.

Data are written into each loop by a current-carrying lithographic wire passing over the top or underneath the planar magnetic wire. Data are read out of each loop by using a magnetic tunnel junction attached to one part of the loop or by measuring the electrical resistance of a domain wall present at one of the corners of the wire or by measuring the electrical resistance of a domain wall present in one of the NOT gates.

Figure 6 shows examples of these data input/output methods. Data is written into the loop by a current carrying electrical lithographic wire (61) which passes above or beneath the ring. Data circulates around the loop in the direction of arrow A. Data is read out of the loop either by forming a
5 magnetic tunnel junction between two electrical contacts (62) at one point of the loop (upper panel) or by applying two electrical contacts (63) to measure the resistance of any domain wall contained within a small part of the ring (lower panel).

10 In a variant on this invention (not shown in the figure), the magnetic conduit itself does not form a closed loop of inversion nodes, but rather a linear chain of inversion nodes with data writing facility at one end of the chain and data reading facility at the other end of the chain. In this case, it is necessary for
15 external control circuitry to feed the data back electronically from the output of the chain to the input of the chain so that data is still able to circulate around an apparently closed loop.

The data loops sit in a magnetic field, the vector of which rotates in the plane of the loops with time at a frequency in the range 1Hz-200 MHz. The field
20 magnitude may be constant as the field rotates, thus forming a circular locus for the magnetic field vector, or it may vary, thus forming an elliptical locus for the magnetic field vector. This can be achieved in small area devices by placing an electromagnetic strip line underneath the loops and then passing an alternating current through the strip line. In larger area device, the substrate
25 carrying the loops is placed within a quadrapole electromagnet.

The field magnitude should be strong enough to ensure that a domain wall can be pushed all the way through each NOT gate, but not so strong that new domain walls can be nucleated independently of the data input mechanism.

The field required to push a domain wall through each NOT gate can be tuned by varying the thickness of the loops, the width of the loops and the magnetic material used to make the loops. This field should be large enough that the device does not suffer erasure from stray ambient magnetic fields. The invention may be shielded using MuMetal if stray field erasure is a problem. An optimised device will use applied field strengths in the range of 50-200 Oe.

The invention may comprise a large number of data loops on a single substrate with electronic multiplexers and demultiplexers being used to address the correct loop, as illustrated in Figure 7. A number of loops are shown between data writing drivers and multiplexers (71) and data reading demultiplexers and amplifiers (72).

An optimal balance between the number of loops and the number of NOT gates in each loop will be found for a given application. A small number of loops each comprising a large number of NOT gates will be very easy and cheap to integrate into a package but will be prone to failure of the entire device if a single NOT gate fails through manufacturing defects. Such a combination will also have a long data access time, as one must wait a large number of clock cycles on average for a given data block to cycle round to the reading position. A large number of loops each comprising a small number of NOT gates will be very resistant to failure of individual NOT gates (the loop containing the failed gate can be taken out of circuit without significantly reducing the overall storage capacity) and will have a rapid access time, but will involve more reading and writing points (and therefore higher cost) and it will be more complicated to integrate a large number of loops into a single integrated circuit package. All of the figures in this document show loops of 8 gates. This is purely figurative – in practice each loop will contain many thousands of gates.

A particular feature of the invention is that one is not limited to a 2-dimensional plane in placing data loops. Unlike compact disc, magnetic tape and magnetic hard disc storage no mechanical access is required to the surface
5 of the invention. Substrates may be placed on top of each other to form a 3-dimensional data cube, as shown in Figure 8. This has the advantage of allowing much higher data storage densities to be achieved. If desired, all of the substrates in a cube may share the same applied rotating magnetic field, thus keeping the layers in synchronisation with each other and reducing the
10 complexity of the device.

The invention may be configured to input/output a single serial stream of data, or if desired, streams of data words of multiple bit width may be stored by using several rings or layers in parallel.

15

Because of the low access time, the invention is not suitable as a replacement for the primary hard disk in computers. It may, however, find application in some of the following situations, as well as others.

- Temporary storage of digital music for pocket digital audio players
20 such as MP3 players. This application requires low-cost, non-volatile, re-writable storage of digital information which is usually replayed serially. Using 200nm-wide planar wires, a NOT gate would occupy an area of $1\mu\text{m}^2$. A 1cm^2 single layer covered with data chains would therefore provide 12 Mbytes of serial data storage, which is sufficient
25 for 12 minutes hours of CD-quality music. Stacking of layers will provide several hours of CD-quality audio at very low cost.
- Temporary storage of digital photographs in digital cameras. This function is accomplished currently by FLASH electronic memory, which is expensive and which has a limited number of re-write cycles.

2

- Non-volatile offline storage for mobile phones, personal organisers, palm top computers and SMART cards.

12

CLAIMS

1. A data storage device for storing digital information in a readable form comprises one or more memory elements, each memory element
5 comprising a planar magnetic conduit capable of sustaining and propagating a magnetic domain wall formed into a continuous propagation track, wherein each continuous track is provided with at least one inversion node whereat the magnetisation direction of a domain wall propagating along the conduit under action of a suitable applied
10 field is changed.
2. A data storage device in accordance with claim 1 wherein each continuous track is provided with at least one inversion node whereat the magnetisation direction of a domain wall propagating along the conduit
15 under action of a suitable applied field is substantially reversed.
3. A data storage device in accordance with claim 1 or claim 2 wherein each continuous track is provided with a large plurality of inversion nodes.
20
4. A data storage device in accordance with any preceding claim wherein a conduit is formed into a closed loop to comprise a continuous propagation track.
- 25 5. A data storage device in accordance with any preceding claim wherein a conduit does not form an entire closed loop but a chain of inversion nodes, and means are provided to transfer data between the two ends thereof so that data is still able to circulate around an apparently closed loop, the means comprising a data writing facility at one end of the chain

3

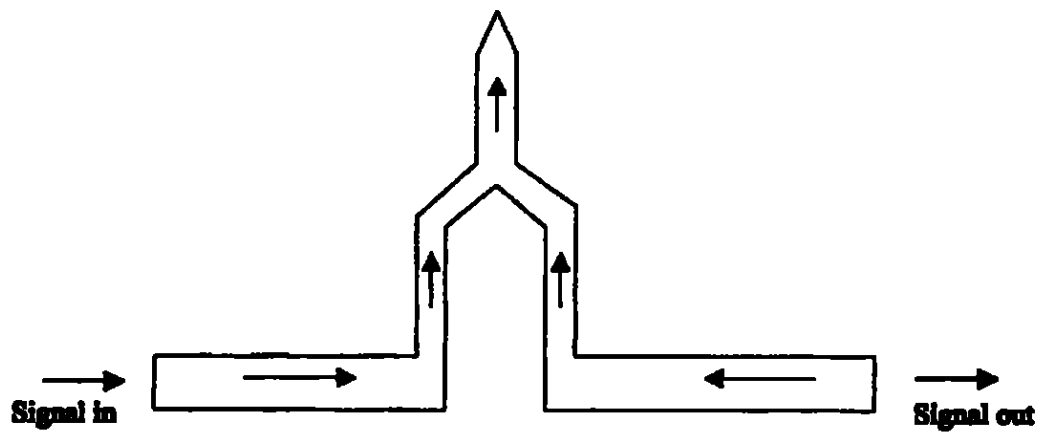
and data reading facility at the other end of the chain, and additional circuitry to feed the data back electronically from the output of the chain to the input of the chain.

- 5 6. A data storage device in accordance with any preceding claim wherein an inversion node comprises features in the structure and shape of the conduit which are so adapted as to cause a change in the magnetisation direction of a domain propagating thereacross under action of a suitable applied field.
- 10
7. A data storage device in accordance with claim 6 wherein an inversion node comprises features in the structure and shape of the conduit which are so adapted as to cause a substantial reversal in the magnetisation direction of a domain propagating thereacross under action of a rotating magnetic field.
- 15
8. A data storage device in accordance with claim 6 or claim 7 wherein an inversion node comprises a deviating portion leading to a node at which there is substantial reversal of magnetisation direction and further comprises a portion in which a direction change away from the initial path and a subsequent direction change back to the initial path are provided in the conduit such that no direct propagation path is possible across the deviating portion.
- 20
9. A data storage device in accordance with claim 8 wherein deviations comprise 90° deviations from the initial path of the conduit.
- 25

10. A data storage device in accordance with claim 8 or claim 9 wherein the inversion node comprises a cycloidal portion within a conduit loop structure or a topological equivalent of such a structure.
- 5 11. A data storage device in accordance with claim 10 comprising a plurality of such cycloidal portions provided in each loop.
12. A data storage device in accordance with claim 11 comprising a number of magnetic conduits formed into closed loops each comprising a
10 plurality of cycloids serving to effect abrupt directional reversals in a magnetisation direction of a domain wall passing thereacross.
13. A data storage device in accordance with one of claims 10 to 12 wherein each cycloid has a turning radius which is in the range three to ten times
15 the conduit width.
14. A data storage device in accordance with any preceding claim wherein the magnetic conduit comprises a particular generally planar magnetic wire on a suitable substrate.
- 20 15. A data storage device in accordance with claim 14 wherein the magnetic wire comprises a magnetic nanowire with a thickness of between 2 nm and 25 nm and a width of between 50 nm and 1 μm .

1/8

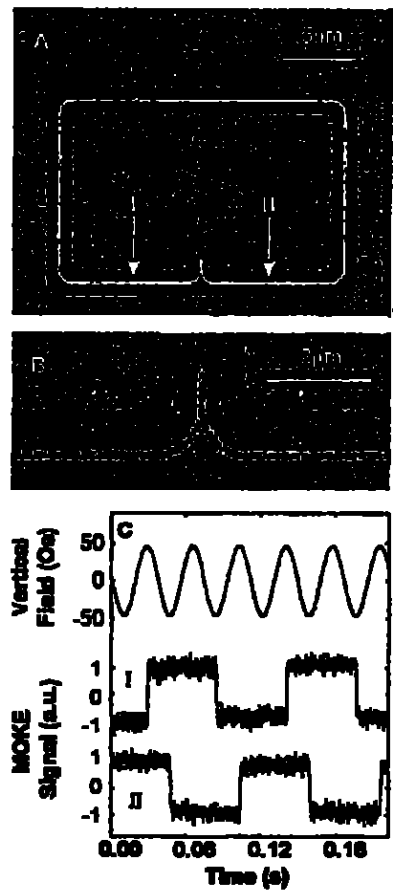
Figure 1



26

2/8

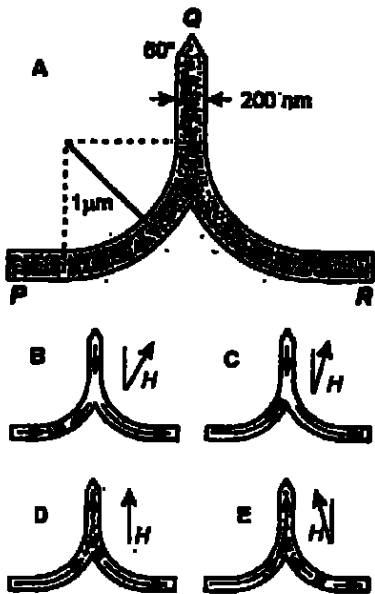
Figure 2



27

3/8

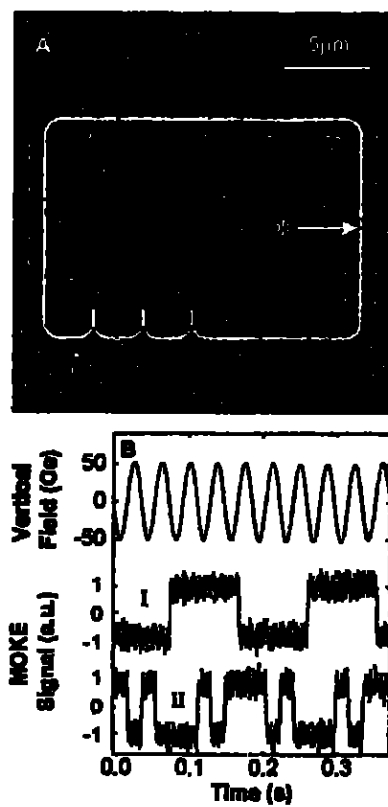
Figure 3



2

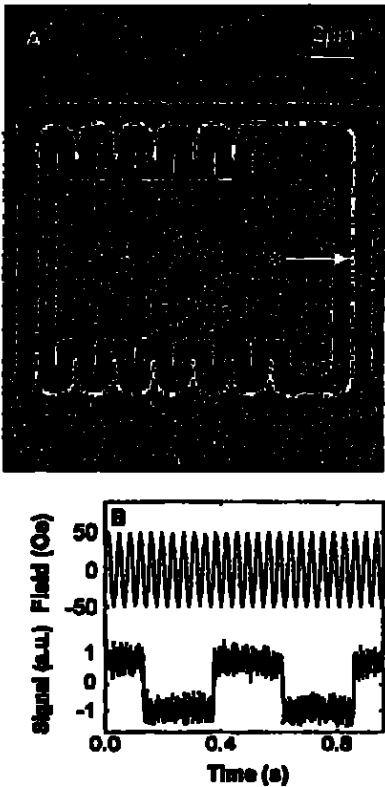
4/8

Figure 4



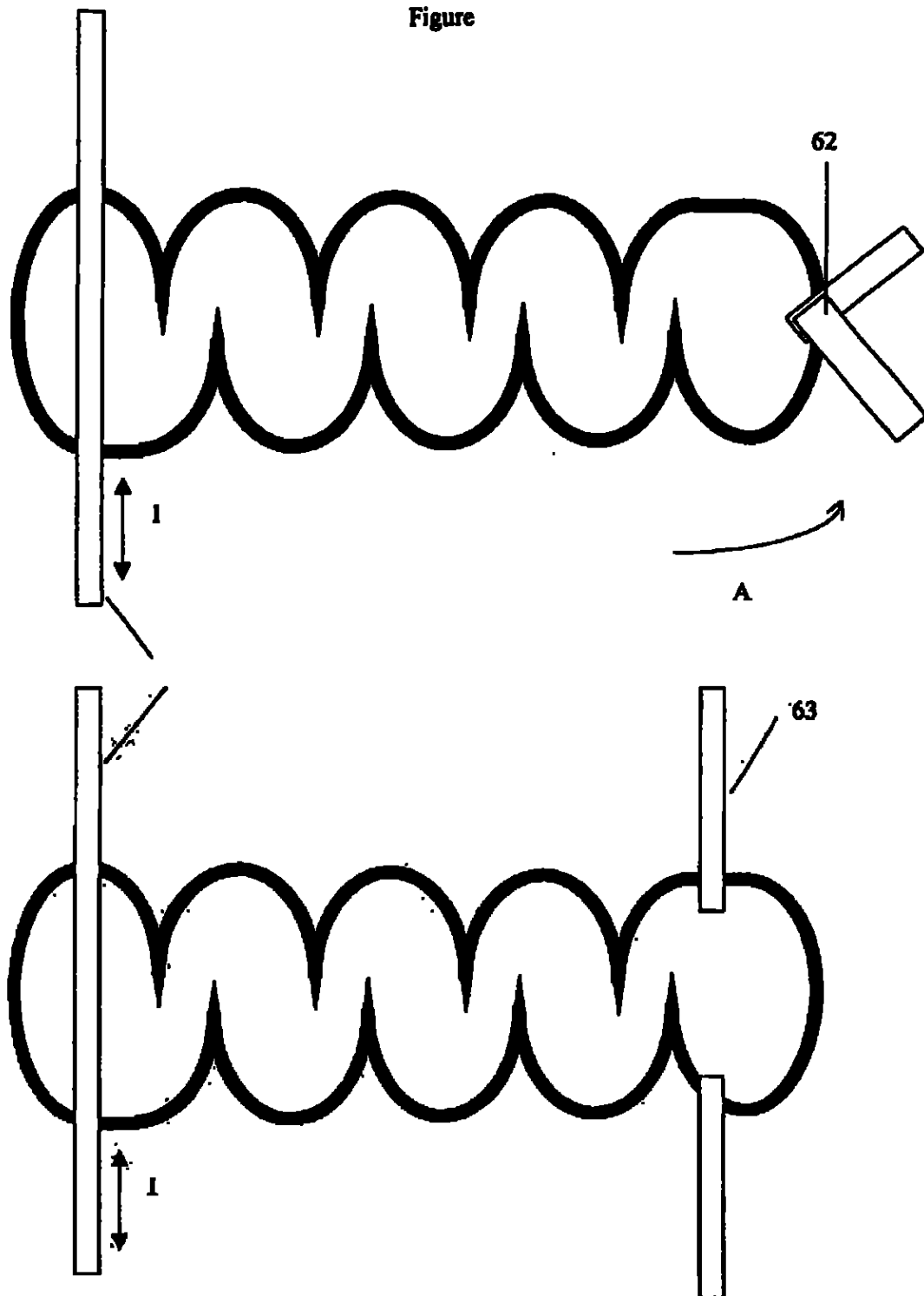
28

2010



6/8

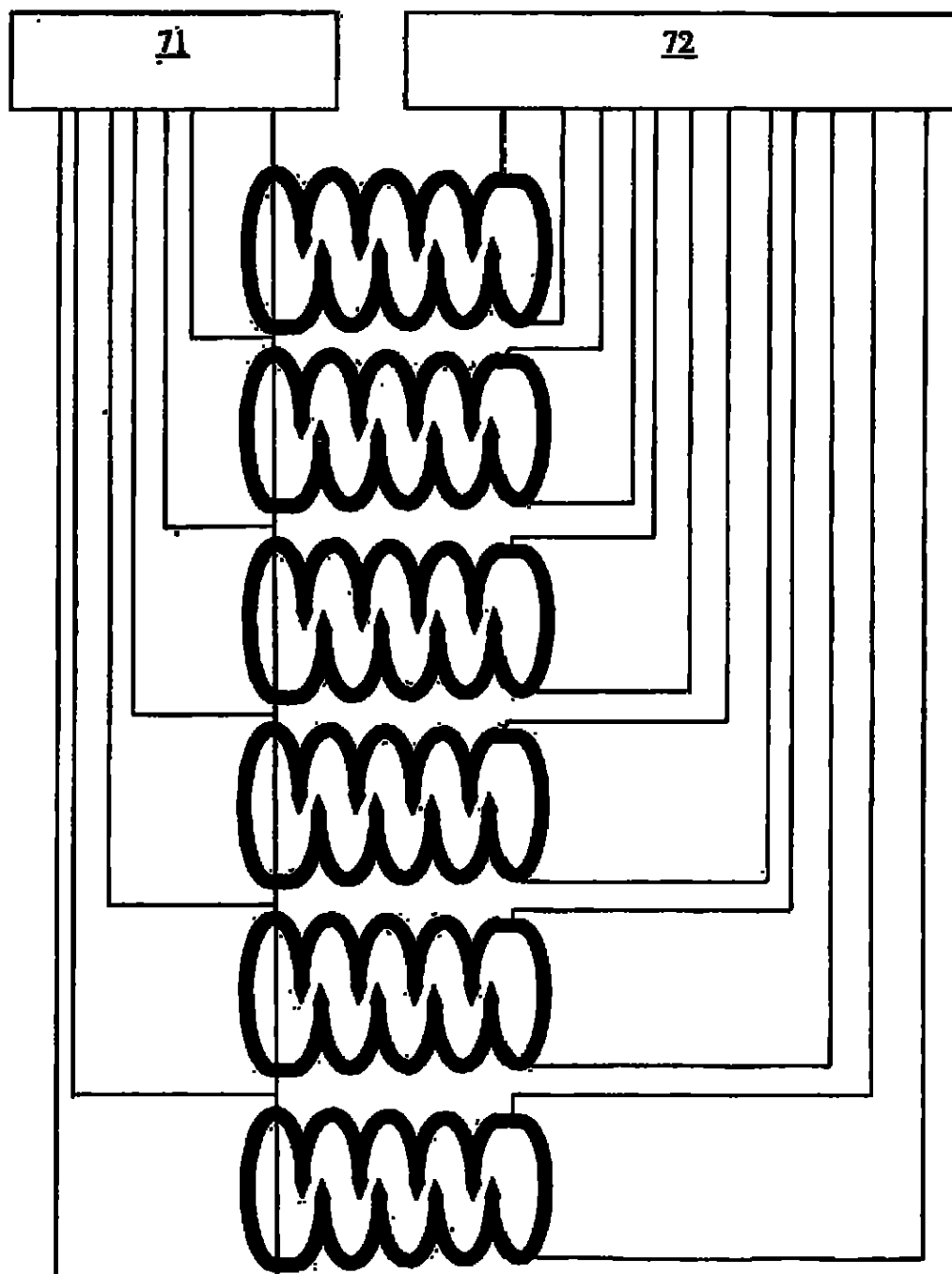
Figure



47

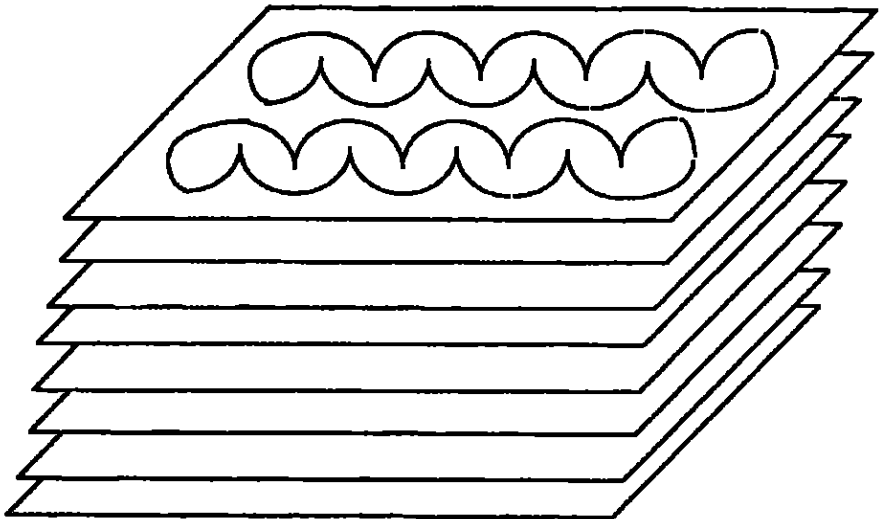
7/8

Figure 7



8/8

Figure 8



DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO DE DATOS

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a un
dispositivo de almacenamiento de datos para el
almacenamiento de información digital tal como
archivos de computadora, música digital, video
digital, etc. En particular, la invención se
10 refiere a un dispositivo de almacenamiento de datos
en el que se pueden escribir datos y desde donde se
pueden leer dichos datos un número ilimitado de
veces.

15 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

En los últimos años se han vuelto
disponibles una gran variedad de dispositivos de
almacenamiento de datos que emplean un rango de
20 medios para un rango de aplicaciones de
almacenamiento de datos digitales. Los dispositivos
de almacenamiento de datos están diseñados y
adaptados a algunas de una variedad de
características operativas, incluyendo la
25 capacidad, velocidad de acceso, habilidad para

escribir/volver a escribir, habilidad para retener datos estables con el paso del tiempo (con o sin energía), tamaño, robustez, portabilidad y similares.

5 Los dispositivos de almacenamiento de datos conocidos incluyen almacenamiento en cinta magnética, almacenamiento en discos duros magnéticos y almacenamiento en discos ópticos. Todos ellos ofrecen ventajas de buena capacidad de
10 almacenamiento y un acceso a los datos relativamente rápido, y todos se pueden adaptar para escribir y volver a escribir datos disponibles. Todos requieren partes movibles en la forma de lectoras electromecánicas u ópticas. Esto
15 puede limitar la extensión a la que los dispositivos que incorporan dichos medios de almacenamiento de datos se pueden miniaturizar, y limitar el uso del dispositivo en ambientes de alta vibración. Aunque en cada caso el medio de
20 superficie es la clave para el almacenamiento de datos, los mecanismos involucrados requieren un control cuidadoso de las propiedades así como de cualquier substrato de soporte. Por lo tanto, dichos dispositivos tienen que ser de una
25 construcción cuidadosamente controlada. Además,

todos requieren que la lectora tenga acceso a la superficie del dispositivo, lo que puede implicar limitaciones en la libertad del diseño para el dispositivo.

5 Un objetivo de la presente invención es proveer un dispositivo de almacenamiento de datos digital alternativo que ofrezca versatilidad en situaciones alternativas, en particular por ejemplo que se pueda miniaturizar, y/o que se pueda
10 incorporar en otros dispositivos tales como tarjetas inteligentes, placas de identificación y parches o similares, y/o que se pueda incorporar en substratos flexibles, y/o que se pueda utilizar en ambientes de alta vibración, y/o que sea de una
15 manufactura simple/de bajo costo, etc.

 Un objetivo particular de la invención es proveer un dispositivo de almacenamiento de datos que de manera compacta y efectiva almacene datos digitales y provea que se puedan escribir datos a
20 la invención y que se puedan leer un número ilimitado de veces.

SUMARIO DE LA INVENCION

25 Por lo tanto, de acuerdo con la invención

un dispositivo de almacenamiento de datos para almacenar información digital (tal como archivos de computadora, música digital, video digital, etc.) en una forma legible comprende uno o más, y en particular una pluralidad de elementos de memoria, cada elemento de memoria comprende un conducto magnético plano que tiene la capacidad de sostener y propagar una pared de dominio magnético formada en un canal de propagación continuo, en donde cada canal continuo es provisto por lo menos con uno y, opcionalmente una pluralidad, y en particular un número grande de nodos de inversión en los que la dirección de magnetización de una pared de dominio que se propaga a lo largo del conducto bajo la acción de un campo adecuado aplicado es modificada y en particular sustancialmente invertida.

Cada conducto está formado en un canal de propagación continuo. Convenientemente, un conducto está formado en un bucle cerrado para comprender dicho canal de propagación continuo. Dicho bucle es provisto por lo menos con uno y, opcionalmente una pluralidad y, en particular un número grande de nodos de inversión. Los datos tienen la capacidad de pasar alrededor del bucle cerrado de acuerdo con el mecanismo mencionado a continuación. En una

variante, el conducto magnético no forma un bucle cerrado completo de nodos de inversión, sino que más bien una cadena lineal de nodos de inversión con medios para transferir datos entre los dos
5 extremos de la misma para que los datos sigan teniendo la capacidad de circular alrededor de un bucle aparentemente cerrado, por ejemplo comprendiendo una instalación de escritura de datos en un extremo de la cadena y una instalación de
10 lectura de datos en el otro extremo de la cadena, y circuitería adicional para alimentar el retorno de datos electrónicamente desde la salida de la cadena hasta la entrada de la cadena.

Convenientemente, los nodos de inversión
15 comprenden características en la estructura y forma del conducto que están adaptadas para provocar un cambio en la dirección de magnetización, y de preferencia una inversión sustancial en la dirección de magnetización, de un dominio que se
20 propaga a través de la misma bajo la acción de un campo aplicado conveniente, tal como un campo magnético direccionalmente variante y en particular giratorio.

Sin embargo, es necesario que la dirección
25 del conducto y, por lo tanto, la dirección de



propagación de la pared de dominio varíe sin que existan fuertes discontinuidades en ningún punto. Por lo tanto, el conducto en la región de y que comprende el nodo de inversión debe tener

5 características de configuración tales para ocasionar un cambio en la dirección de magnetización, y de preferencia una inversión sustancial en la dirección de magnetización, de un dominio que se propaga a través de la misma pero

10 sin ninguna variación aguda específica en la dirección de propagación.

En una modalidad preferida, un nodo de inversión comprende una inversión sustancial de la dirección de magnetización en el nodo de inversión.

15 De preferencia, el nodo de inversión comprende una porción en la un cambio de dirección alejado de la trayectoria inicial y un nuevo cambio posterior en la dirección a la trayectoria inicial se proveen en el conducto para que no sea posible una trayectoria

20 de propagación directa a través de la porción de desviación. En particular, las desviaciones comprenden desviaciones de 90° desde la trayectoria inicial. Por las razones mencionadas, las desviaciones de la trayectoria inicial de

25 preferencia ocurren gradualmente sobre una

distancia a lo largo del canal del conducto.

Por ejemplo, el nodo de inversión comprende una porción cilíndrica dentro de la estructura de bucle del conducto, en particular internamente
5 dirigida, o un equivalente topológico de dicha estructura.

De preferencia, en cada bucle se provee una pluralidad de dichas porciones cicloidales. Por lo tanto, un dispositivo de acuerdo con la invención
10 de preferencia comprende un número de conductos magnéticos formados en bucles cerrados, en donde cada uno comprende una pluralidad de cicloides que sirven para realizar inversiones de dirección abruptas en una dirección de magnetización de una
15 pared de dominio que pasa a través de la misma y que por lo tanto sirven como puntos de inversión para las paredes de dominio conforme se propagan a lo largo del conducto de la invención mediante un campo de impulso adecuado.

20 De preferencia, cada cicloide tiene un radio giratorio que está en la escala de tres a diez veces la anchura del conducto. De preferencia, el cicloide es uno que puede producir un cambio sustancial, por ejemplo una inversión sustancial de
25 180°, de la dirección de magnetización conforme una

pared de dominio pasa a través de la misma.

De acuerdo con la presente invención, el conducto magnético necesita tener una arquitectura que tenga la capacidad de sostener y propagar una
5 pared de dominio bajo la acción de un campo de control. Típicamente, el conducto magnético puede estar formado como un canal continuo de material magnético. Por lo tanto, de acuerdo con la invención, los bucles en el dispositivo de
10 preferencia comprenden cables magnéticos, en particular cables magnéticos generalmente planos en un substrato adecuado.

Por lo tanto, el dispositivo de almacenamiento de datos utiliza un número de
15 conductos magnéticos planos y, en particular, cables magnéticos que de preferencia están configurados en bucles cerrados de cicloides. En particular, la invención emplea tecnología a nanoescala magnética, el dispositivo comprende un
20 número de nanocables magnéticos planos de preferencia configurados en una pluralidad de bucles cerrados de cicloides.

Los nanocables magnéticos planos de preferencia tienen menos de 1 μm de anchura y están
25 formados sobre cualquier substrato conveniente. La

anchura es un equilibrio entre la capacidad de almacenamiento mejorada de los dispositivos que emplean cables a nanoescala más angostos y los costos de fabricación así como las complejidades.

5 Sin embargo, los dispositivos que incorporan cables arriba de una micra tienen pocas probabilidades de ser efectivos, y 50 nm es un límite inferior probablemente práctico de practicidad efectiva en cuanto a costo para las técnicas actuales de
10 formación de cables. Se debería enfatizar que no es un límite de efecto técnico, y que técnicas de fabricación mejoradas podrían producir dispositivos miniaturizados adicionales que incluyan la parte práctica de la invención.

15 Los cables se depositan en un sustrato en la forma de una capa delgada de material magnético. El grosor del cable se optimiza para tener un rendimiento óptimo del dispositivo, y por mucho es una función de anchura. En particular, el grosor
20 del cable generalmente es de alrededor de $1/40^{\text{avo}}$ del ancho del cable. El grosor del cable generalmente no es menor a 2 nm, y de preferencia no menor a 3 nm. En la práctica, los cables tienen pocas probabilidades de tener más de 25 nm de grosor.

25 Los cables se pueden fabricar mediante

litografía óptica, litografía de rayos X, impresión de micro contacto, litografía de rayos e, deposición a través de una máscara de sombra o mediante algún otro método adecuado. Los cables
5 están hechos de un material magnético tal como Permalloy ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) o CoFe o algún otro material magnético suave.

El dispositivo de almacenamiento de datos que incorpora nodos de inversión como se describió
10 anteriormente está sujeto a la aplicación de un campo magnético direccionalmente variante adecuado y en particular un campo magnético giratorio en una manera de operación que se describe con mayor detalle a continuación, lo que proporciona al nodo
15 de inversión una función de memoria. El aprovisionamiento de una disposición plural de bucles, en donde cada uno incorpora uno o más nodos de inversión, permite a un dispositivo de acuerdo con la invención almacenar datos de manera serial
20 en un anillo.

Los datos se pueden escribir en un dispositivo de acuerdo con la invención y dichos datos se pueden leer un número ilimitado de veces. A diferencia del almacenamiento en cinta magnética
25 o del almacenamiento en disco duro magnético, la

invención no requiere partes movibles. En consecuencia, se puede miniaturizar fácilmente y se puede utilizar en ambientes de alta vibración. El principio de la invención es muy simple, y los
5 costos de manufactura se pueden mantener bajos. Además, no se requiere energía para retener los datos en la memoria de la invención cuando no está en uso.

La invención utiliza un número de conductos
10 magnéticos tales como cables magnéticos planos. Los cables planos están formados en cierto substrato, pero a diferencia de la memoria microelectrónica, este substrato no desempeña función alguna en la operación electrónica o magnética del dispositivo,
15 sirviendo esencialmente sólo para proveer soporte mecánico. Se pueden seguir utilizando los substratos de silicio convencionales, pero debido a que no se requiere funcionalidad alguna del substrato, también se pueden utilizar otros
20 materiales diferentes al silicio, tal como vidrios o plásticos. Entre los ejemplos se incluyen poliimida tal como Kapton, polietilentereftalato o materiales tipo Mylar, acetato, polimetilmetacrilato u otros. La ventaja de los
25 substratos de plástico es su bajo costo y la

44

simplicidad de su fabricación, de igual manera ofrecen el potencial para la flexibilidad mecánica que hace que la invención sea adecuada para su integración en tarjetas de plástico tal como las
5 Tarjetas Inteligentes o en vestimentas.

Debido a que no se requiere acceso mecánico a la superficie de la invención, tal como se requiere con el almacenamiento de disco compacto, de cinta magnética y de disco duro magnético, se
10 puede apilar un número grande de substratos uno encima del otro para formar un cubo de memoria tridimensional.

La densidad de almacenamiento regional de la invención es moderada, siendo superior que la
15 cinta magnético pero menor que los discos duros magnéticos. Las velocidades para leer y escribir datos puede ser muy alta si se requiere, e incluso superior que las velocidades de las unidades de disco duro. Sin embargo, la invención almacena
20 datos en serie en un anillo, por lo que el tiempo de acceso a un bloque de datos determinado con probabilidad pudiera ser relativamente lento, haciendo que la invención sea de aplicabilidad limitada como un reemplazo directo de la unidad de
25 disco duro primaria en computadoras.

La solicitud de patente internacional PCT/GB01/05072 aplica y desarrolla algunos de los principios del documento de Cowburn y Welland al que se hace referencia anteriormente para describir
5 cómo se podrían construir los circuitos lógicos digitales a partir de cadenas de puntos a escala nanométrica de material magnético, o cables magnéticos planos a escala nanométrica. En particular, se describe un puerto de acceso NOT
10 magnético que se muestra en la figura 1 de la presente invención.

En la figura 1, las flechas representan la dirección de magnetización dentro de las tiras angostas de material magnético que forman el puerto
15 de acceso. La estructura central del puerto de acceso invierte la dirección de la magnetización que entra por la izquierda.

En la práctica, la compuerta se colocará en un campo magnético, cuyo vector gira en el plano
20 del dispositivo con el tiempo. Aunque el dispositivo de la invención no está limitado por ninguna teoría de operación, se puede observar que debido a la anisotropía de la forma magnética, la magnetización en el cable generalmente está
25 confinada para yacer a lo largo del eje largo del

cable. Esto significa que existen dos direcciones de magnetización posibles y que por lo tanto existe una representación binaria natural. Un cambio en la dirección de magnetización es mediado por una pared de dominio magnético que se extiende a lo largo del cable mediante el campo aplicado. El hecho de que el campo aplicado gire significa que las paredes de dominio pueden ser portadas alrededor de las esquinas.

10 De acuerdo con la invención, una compuerta NOT similar a la que se describió anteriormente se puede fabricar mediante un método adecuado. Idealmente, para los propósitos actuales, la forma de la compuerta es ligeramente modificada en 15 comparación con la que se muestra en la figura 1, para tener una forma cicloidal. La salida de la compuerta es conectada nuevamente en su entrada utilizando un conducto magnético adecuado, tal como un cable magnético plano para formar un bucle 20 cerrado. Una disposición de dichos bucles forma el dispositivo de la invención de acuerdo con esta modalidad preferida, la cual comprende nanocables magnéticos planos formados en bucles cerrados grandes de cicloides conectados en serie para 25 formar cadenas de compuertas NOT magnéticas. La

salida de la última compuerta NOT en cada cadena es alimentada nuevamente en la entrada de la primera compuerta NOT mediante un cable magnético plano para formar un bucle cerrado para que la secuencia
5 de datos circule alrededor.

Los cicloides sirven como nodos de inversión para propagar las paredes de dominio ya que se propagan a través de nanocables bajo la acción de un campo operativo giratorio adecuado, en
10 la manera que se observó anteriormente y que se describirá con mayor detalle a continuación. La salida invertida únicamente aparece después de un retraso de tiempo igual a una mitad del periodo del campo aplicado giratorio, lo que hace que cada nodo
15 de inversión aparezca como una celda de memoria de un solo bit o circuito basculante. Por lo tanto, los bucles de cicloides tienen la misma función de memoria que un registrador de cambio circular en serie, y puede servir como un dispositivo de
20 almacenamiento de datos de acuerdo con la invención.

De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, se provee un sistema de almacenamiento de datos que comprende uno o más elementos del
25 dispositivo como se describió anteriormente y que

además comprende un impulsor de campo magnético para proveer un campo magnético impulsado de variación en tiempo controlado. El impulsor de campo magnético de preferencia se configura para que el campo impulsado sea aplicado simultáneamente a todos los cicloides en un bucle determinado y se pueda aplicar simultáneamente a todos los bucles en el sistema. Esto proporciona una característica distintiva del presente sistema en operación. El campo magnético se aplica a todo el bucle en una sola vez para que todos los bits de datos avancen juntos, en lugar de que sólo avancen localmente bajo la cabeza de escritura tal como sería el caso con el almacenamiento de datos magnéticos convencionales.

Se puede contemplar cualquier campo adecuado. De preferencia, el impulsor de campo magnético provee un campo magnético controlado que consta de dos campos ortogonales que operan en una secuencia predeterminada, de preferencia alternativamente, y con mayor preferencia formando un campo de sincronización en una dirección en el sentido de las manecillas del reloj o en contra de las manecillas del reloj. Con el uso de dicho sistema, se pueden almacenar datos en el o los

dispositivos de almacenamiento de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

El sistema además puede comprender entradas y/o salidas de datos y/o eléctricas adecuadas para
5 permitir que el dispositivo de almacenamiento de datos sea utilizado en un almacenamiento de memoria y en sistemas de recuperación.

Un ejemplo de la operación de un dispositivo de almacenamiento de datos magnéticos
10 de acuerdo con los principios de la invención se describirá ahora a manera de ejemplo con referencia a las figuras 2 a 8.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

15

Se hace referencia a las figuras 1 a 8 de los dibujos anexos a manera de ilustración, en donde:

La figura 1 es una representación
20 esquemática de una compuerta NOT magnética de la técnica anterior (ver arriba);

La figura 2 es una compuerta NOT magnética modificada para que se utilice como un dispositivo de almacenamiento de datos de acuerdo con la
25 invención;

50

La figura 3 es una representación esquemática de la estructura de la compuerta NOT de la figura 2 (Parte A) y de su efecto sobre una pared de dominio que entra a un punto P bajo la acción de un campo magnético giratorio H;

La figura 4 muestra tres compuertas NOT magnéticas conectadas en un anillo para formar un registrador de cambio en serie de 5 bits en la Parte A, y la Parte B muestra lo simple (trazo I) y complejo (trazo II) que pueden ser forzar secuencias de bits para que circulen alrededor del anillo mediante la aplicación de un campo magnético giratorio (el asterisco en la Parte A muestra el punto en el bucle en donde se tomaron las mediciones que se muestran en la Parte B);

La figura 5 muestra once compuertas NOT magnéticas conectadas en un anillo para formar una memoria en serie de 13 bits en la Parte A, y la Parte B muestra una simple secuencia de datos de 13 bits que circula alrededor del bucle bajo la acción de un campo magnético giratorio (el asterisco en la Parte A muestra el punto en el bucle en donde se tomaron las mediciones que se muestran en la Parte B);

La figura 6 es una ilustración esquemática

51

del mecanismo de escritura y lectura de datos de la presente invención;

La figura 7 es una ilustración esquemática de un número de bucles magnéticos sobre el mismo
5 substrato, dirigidos individualmente por multiplexores y desmultiplexores electrónicos;

La figura 8 es una ilustración esquemática del apilamiento de un número de substratos, en donde cada uno contiene un número de bucles de
10 datos para formar un cubo de memoria tridimensional.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

15 La figura 2 muestra una compuerta NOT similar a la figura 1, pero particularmente adaptada para ser optimizada para que la presente invención tenga una forma cicloidal. La compuerta se hace mediante molturación de haz iónico enfocada
20 de una película de Permalloy ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) de 5 nm de espesor sobre un substrato de silicio. Sólo la sombra blanca brillante es material magnético; otro contraste se debe al proceso de molturación de múltiples pasos que se utiliza durante la
25 fabricación de la compuerta. La figura 2a muestra

la compuerta con su salida conectada nuevamente a su entrada utilizando un cable magnético plano para formar un bucle cerrado. La figura 2b muestra un acercamiento de la estructura de compuerta, la cual
5 tiene una forma cicloidal. Las mediciones magnetoópticas en los puntos I y II en respuesta a un campo magnético giratorio aplicado se muestran en la figura 2c. existe un retraso de medio ciclo entre el estado cambiante de entrada (trazo I) y el
10 estado cambiante de salida (trazo II) igual a una mitad del periodo del campo magnético giratorio aplicado, que corresponde a una función de memoria.

La figura 3 proporciona una explicación de la acción de inversión del cicloide y en particular
15 del origen de este retraso.

Bajo condiciones de bajo campo magnético, la dirección de magnetización dentro de los cables planos ferromagnéticos sub-micrométricos tiende a yacer a lo largo del eje largo del cable debido a
20 la fuerte anisotropía de la forma magnética. Cuando dos magnetizaciones opuestamente dirigidas se encuentran dentro de un cable, la realineación de momentos magnéticos atómicos sucesivos no es abrupta sino que ocurre de manera gradual sobre una
25 cierta distancia para formar una pared de dominio.

Se sabe que las paredes de dominio se pueden propagar a lo largo de cables magnéticos sub-micrométricos rectos mediante la aplicación de un campo magnético paralelo al cable. En el uso de la presente invención, se aplica un campo magnético con un vector que gira con el tiempo, en el plano de muestra se puede utilizar para propagar las paredes de dominio a lo largo de cables magnéticos que también cambian dirección y dan vuelta en las esquinas. La rotación en el sentido de las manecillas del reloj o contra las manecillas del reloj define la quiralidad del campo magnético. Una pared de dominio se debería propagar alrededor de una esquina del cable magnético siempre y cuando el campo y la esquina sean de la misma quiralidad. Sin embargo, la quiralidad de una esquina depende de la dirección de la propagación de la pared de dominio para que, dentro de un campo magnético giratorio de quiralidad determinada, una pared de dominio únicamente tendrá la capacidad de pasar a través de una esquina determinada en una dirección. Esto satisface el requerimiento importante de cualesquiera sistemas lógicos de que debe existir la dirección de flujo de señal definitiva. Las dos direcciones de magnetización estables dentro de los

cables magnéticos sub-micrométricos proveen un medio natural para representar los dos estados lógicos de Bolean y esto, junto con la aplicación de un campo magnético giratorio, es la base de la
5 operación de cada unidad lógica del dispositivo de memoria.

El cicloide que se ilustra en la figura 3 provee una función de inversión y demuestra la funcionalidad de una compuerta NOT cuando está
10 dentro de un campo magnético giratorio adecuado. Asumiendo que el campo magnético es giratorio en un sentido contra las manecillas del reloj. Una pared de dominio que llega a la terminal 'P' (figura 3B) de la unión se propagará alrededor de la primera
15 esquina de la unión (figura 3C) y hasta la terminal 'Q' conforme el campo aplicado gira desde la dirección horizontal a la dirección vertical. La magnetización entre 'P' y 'Q' no será continua (figura 3D). Entonces, conforme el vector del campo
20 magnético sigue girando hacia la dirección horizontal opuesta, la pared de dominio se debería propagar alrededor de la segunda esquina de la unión (figura 3E), que existe en la terminal 'R' y restaurando la magnetización continua entre 'Q' y
25 'R'. La magnetización del cable inmediatamente

después de la unión ahora se debería invertir en comparación con aquella inmediatamente anterior a la unión. Por lo tanto, la unión debería realizar la función NOT deseada con un retraso de propagación de campo de medio ciclo. Esta operación es análoga a un vehículo que invierte su dirección realizando un giro de tres puntos.

Por lo tanto existe un retraso total de medio ciclo entre la pared que llega a la entrada y que parte de la salida. En esta invención, identificamos que este retraso sincrónico tiene una función de memoria asociada que se puede explotar conectando un número grande de compuertas NOT magnéticas juntas en serie y después canalizando la salida de la cadena de regreso a la entrada.

La figura 4 muestra una versión reducida de la invención en donde tres compuertas NOT han sido conectadas en una cadena, y la salida de la retroalimentación de la cadena dentro del comienzo de la cadena mediante un cable magnético plano. Se han programado dos secuencias de bits de datos diferentes dentro del dispositivo a través de una aplicación específica de campos magnéticos y después se empezaron a ciclar los datos alrededor del bucle iniciando el campo magnético giratorio.

5b

El trazo I de la figura 4b muestra un ciclado de secuencia de bits simple alrededor de la cadena: el patrón se repite cada 5 ciclos del campo giratorio. El trazo II de la figura 4b muestra un
5 ciclado en secuencia más complejo alrededor del bucle, con un periodo de 5 ciclos del campo giratorio. El dispositivo efectivamente se comporta como un registrador de cambio en serie de 5 bits. La secuencia de bits de datos da un paso a la
10 derecha en cada ciclo completo del campo giratorio. Estos datos se obtuvieron utilizando un campo giratorio en el sentido contrario a las manecillas del reloj y por lo tanto, los datos se ciclaron alrededor del anillo magnético en un sentido
15 contrario a las manecillas del reloj. Se descubrió que la inversión del sentido giratorio del campo en el sentido de las manecillas del reloj origina que los datos inviertan su dirección y comiencen a ciclar alrededor del anillo magnético en un sentido
20 de las manecillas del reloj.

La figura 5 muestra una prueba de la invención utilizando 11 compuertas NOT. La figura 5b muestra una simple secuencia de bits que se está
ciclando alrededor del bucle con un periodo de
25 repetición de 13 ciclos del campo giratorio.

Los datos se escriben en cada bucle mediante un cable litográfico que porta corriente y que pasa sobre la parte superior o por abajo del cable magnético plano. Los datos se leen a partir de cada bucle utilizando una unión de túnel magnética fija a una parte del bucle o midiendo la resistencia eléctrica de una pared de dominio presente en una de las esquinas del cable o midiendo la resistencia eléctrica de una pared de dominio presente en una de las compuertas NOT.

La figura 6 muestra ejemplos de estos métodos de entrada/salida de datos. Los datos son escritos en el bucle mediante un cable litográfico eléctrico que porta corriente (61) que pasa encima o debajo del anillo. Los datos circulan alrededor del bucle en la dirección de la flecha A. los datos se leen del bucle ya sea formando una unión de túnel magnética entre dos contactos eléctricos (62) en un punto del bucle (panel superior) o aplicando dos contactos eléctricos (63) para medir la resistencia de cualquier pared de dominio contenida dentro de una pequeña parte del anillo (panel inferior).

En una variante de la presente invención (que no se muestra en la figura), el conducto

magnético mismo no forma un bucle cerrado de nodos de inversión, sino que más bien una cadena lineal de nodos de inversión con instalación para escribir datos en un extremo de la cadena y una instalación para leer datos en el otro extremo de la cadena. En este caso, se requiere circuitería de control exterior para alimentar el retorno de los datos electrónicamente desde la salida de la cadena a la entrada de la cadena para que los datos puedan seguir circulando alrededor de un bucle aparentemente cerrado.

Los bucles de datos se asientan en un campo magnético, cuyo vector gira en el plano de los bucles con el tiempo a una frecuencia en la escala de 1Hz-200 MHz. La magnitud del campo puede ser constante conforme el campo gira, formando así una forma geométrica circular para el vector del campo magnético, o puede variar, formando así una forma geométrica elíptica para el vector del campo magnético. Esto se puede lograr en dispositivos de área pequeña colocando una línea de tira electromagnética debajo de los bucles y después pasando una corriente alterna a través de la línea de tira. En un dispositivo con un área más grande, el substrato que porta los bucles se coloca dentro

de un electroimán de cuatro polos.

La magnitud del campo debería ser lo
suficientemente fuerte para garantizar que una
pared de dominio pueda ser empujada todo el
5 trayecto a través de cada compuerta NOT, pero no lo
suficientemente fuerte que nuevas paredes de
dominio puedan formar un núcleo independientemente
del mecanismo de entrada de datos.

El campo que se requiere para empujar una
10 pared de dominio a través de cada compuerta NOT se
puede sintonizar variando el grosor de los bucles,
la anchura de los bucles y el material magnético
que se utiliza para elaborar los bucles. Este campo
debería ser lo suficientemente grande para que el
15 dispositivo no sufra supresiones de los campos
magnéticos en ambiente de dispersión. La invención
pudiera ser protegida utilizando MuMetal si la
supresión del campo de dispersión resultara un
problema. Un dispositivo optimizado utilizará
20 resistencias de campo aplicadas en la escala de 50-
200 Oe.

La invención puede comprender un número
grande de bucles de datos en un solo substrato con
multiplexores y desmultiplexores electrónicos que
25 se utilizan para dirigir el bucle correcto, tal

como se ilustra en la figura 7. Se muestra un número de bucles entre las unidades de escritura de datos y los multiplexores (71) y los desmultiplexores de lectura de datos y los
5 amplificadores (72).

Para una aplicación determinada se encontrará un equilibrio óptimo entre el número de bucles y el número de compuertas NOT en cada bucle. Un número pequeño de bucles, en donde cada uno
10 comprende un número grande de compuertas NOT será muy fácil y barato de integrar en un paquete pero tendrá una tendencia a que falle todo el dispositivo si una sola compuerta NOT falla debido a defectos de fabricación. Dicha combinación
15 también tendrá un tiempo prolongado de acceso de datos, ya que se debe esperar un número grande de ciclos de reloj en promedio para que un bloque de datos determinado se pueda ciclar a la posición de lectura. Un número grande de bucles, en donde cada
20 uno comprende un número pequeño de compuertas NOT será muy resistente a la falla de compuertas NOT individuales (el bucle que contiene la compuerta defectuosa se puede sacar del circuito sin reducir significativamente la capacidad global de
25 almacenamiento) y tendrá un tiempo de acceso

rápido, pero involucrará más puntos de lectura y escritura (y por lo tanto un mayor costo) y será más complicado de integrar un número grande de bucles en un solo paquete de circuito integrado.

5 Todas las figuras en este documento muestran los bucles de 8 compuertas. Esto es meramente figurativo; en la práctica, cada bucle contendrá muchos miles de compuertas.

Una característica particular de la
10 invención es que no se está limitada a un plano bidimensional al momento de colocar bucles de datos. A diferencia del almacenamiento en disco compacto, cinta magnética y disco duro magnético, no se requiere acceso mecánico a la superficie de
15 la invención. Los substratos se pueden colocar en la parte superior de los mismos para formar un cubo de datos tridimensional, tal como se muestra en la figura 8. Esto tiene la ventaja que permite lograr densidades de almacenamiento de datos superiores.
20 Si se desea, todos los substratos en un cubo pueden compartir el mismo campo magnético giratorio aplicado, manteniendo así las capas en sincronización mutua y reduciendo la complejidad del dispositivo.

25 La invención se puede configurar para

ingresar/emitir una sola corriente en serie de datos, o si se desea, se pueden almacenar corrientes de palabras de datos con una anchura de múltiples bits utilizando varios anillos o capas en paralelo.

Debido al bajo tiempo de acceso, la invención no es conveniente como un reemplazo del disco duro primario en computadoras. Sin embargo, puede encontrar aplicación en algunas de las siguientes situaciones, así como en otras.

- Almacenamiento temporal de música digital para reproductores de audio digitales de bolsillo tal como reproductores de MP3. Esta aplicación requiere un bajo costo, no es volátil y tiene un almacenamiento en el que se puede volver a escribir de información digital que generalmente se reproduce en serie. Utilizando cables planos de 200 nm de ancho, una compuerta NOT ocuparía un área de $1 \mu\text{m}^2$. Por lo tanto, una sola capa de 1cm^2 cubierta con cadenas de datos proveería 12 Mbytes de almacenamiento de datos en serie, lo que resulta suficiente para 12 horas de música con calidad de CD. El apilamiento de las capas proveerá varias horas de audio con calidad de CD a muy bajo costo.

- El almacenamiento temporal de fotografías

digitales en cámaras digitales. Esta función se logra actualmente mediante memoria electrónica FLASH que es costosa y que tiene un número limitado de ciclos de sobre escritura.

- 5 - Almacenamiento fuera de línea no volátil para teléfonos móviles, organizadores personales, computadoras personal "palm top" y tarjetas SMART (inteligentes).

10

15

20

25

NOVEDAD DE LA INVENCION

Habiendo descrito el presente invento, se considera como una novedad y, por lo tanto, se
5 reclama como prioridad lo contenido en las siguientes:

REIVINDICACIONES

10 1.- Un dispositivo de almacenamiento de datos para almacenar información digital en una forma legible comprende uno o más elementos de memoria, cada elemento de memoria comprende un
15 conducto magnético plano que tiene la capacidad de sostener y propagar una pared de dominio magnético formada en un canal de propagación continuo, en donde cada canal continuo es provisto por lo menos con un nodo de inversión en el que se modifica la
20 dirección de magnetización de una pared de dominio que se propaga a lo largo del conducto bajo la acción de un campo aplicado conveniente.

2.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque cada canal continuo es
25 provisto por lo menos con un nodo de inversión en

65

el que la dirección de magnetización de una pared de dominio que se propaga a lo largo del conducto bajo la acción de un campo aplicado conveniente es sustancialmente invertida.

5 3.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque cada canal continuo es provisto con una pluralidad grande de nodos de inversión.

10 4.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque un conducto está formado en un bucle cerrado para comprender un canal de propagación continuo.

15 5.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque un conducto no forma un bucle cerrado completo sino más bien una cadena de nodos de inversión, y se
20 proveen medios para transferir datos entre los dos extremos de la misma para que los datos puedan seguir circulando alrededor de un bucle aparentemente cerrado, el medio comprende una
instalación de escritura de daos en un extremo de
25 la cadena y una instalación de lectura de datos en

68

el otro extremo de la cadena, y circuitería adicional para alimentar los datos de regreso electrónicamente desde la salida de la cadena a la entrada de la cadena.

5 6.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque un nodo de inversión comprende características en la estructura y forma del conducto que están
10 adaptadas así para ocasionar un cambio en la dirección de magnetización de un dominio que se propaga a través de la misma bajo la acción de un campo aplicado conveniente.

 7.- El dispositivo de almacenamiento de
15 datos de conformidad con la reivindicación 6, caracterizado porque un nodo de inversión comprende características en la estructura y forma del conducto que están adaptadas así para ocasionar una inversión sustancial en la dirección de
20 magnetización de un dominio que se propaga a través de la misma bajo la acción de un campo magnético giratorio.

 8.- El dispositivo de almacenamiento de
datos de conformidad con la reivindicación 6 ó 7,
25 caracterizado porque un nodo de inversión comprende

una porción de desviación que conduce a un nodo en el que existe una inversión sustancial de la dirección de magnetización y además comprende una porción en la que un cambio de dirección alejado de la trayectoria inicial y un cambio de dirección posterior de regreso a la trayectoria inicial se proveen en el conducto por lo que no es posible una trayectoria de propagación directa a través de la porción de desviación.

10 9.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque las desviaciones comprenden desviaciones de 90° desde la trayectoria inicial del conducto.

15 10.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con la reivindicación 8 ó 9, caracterizado porque el nodo de inversión comprende una porción cicloidal dentro de una estructura de bucle del conducto o un equivalente topológico de dicha estructura.

11.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con la reivindicación 10, que además comprende una pluralidad de dichas porciones cicloidales provistas en cada bucle.

25 12.- El dispositivo de almacenamiento de

datos de conformidad con la reivindicación 11, que además comprende un número de conductos magnéticos formados en bucles cerrados, cada uno comprende una pluralidad de cicloides que sirven para efectuar
5 inversiones direccionales abruptas en una dirección de magnetización de una pared de dominio que pasa a través de los mismos.

13.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con una de las
10 reivindicaciones 10 ó 12, caracterizado porque cada cicloide tiene un radio giratorio que está en la escala de tres a diez veces la anchura del conducto.

14.- El dispositivo de almacenamiento de
15 datos de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el conducto magnético comprende un cable magnético generalmente plano particular sobre un substrato adecuado.

20 15.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con la reivindicación 14, caracterizado porque el cable magnético comprende un nanocable magnético con un grosor entre 2 nm y 25 nm y una anchura entre 50 nm y 1 μ m.

RESUMEN DE LA INVENCION

Se describe un dispositivo de almacenamiento de datos para almacenar información digital en una forma legible, dicho dispositivo está constituido por uno o más elementos de memoria, cada elemento de memoria comprende un conducto magnético plano que tiene la capacidad de sostener y propagar una pared de dominio magnético formada en un canal de propagación continuo; cada canal continuo es provisto por lo menos con uno y de preferencia con un número grande de nodos de inversión en los que se cambia la dirección de magnetización de una pared de dominio que se propaga a lo largo del conducto bajo la acción de un campo aplicado conveniente, tal como un campo magnético giratorio.

20

25

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's agent file reference P3072 WO ORD		FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IBAA16)	
International application No. PCT/GB 03/12566	International filing date (day/month/year) 25.03.2003	Priority date (day/month/year) 27.03.2002	
International Patent Classification (IPC) or both national classification and IPC G11C1908			
Applicant EASTGATE INVESTMENTS LIMITED ET AL			

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 88.
2. This REPORT consists of a total of 4 sheets, including this cover sheet.

 2a. This report is also accompanied by ANNEXES, i.e. sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

 These Annexes consist of a total of 3 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:
 - I ☒ Basis of the opinion
 - II ☐ Priority
 - III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
 - IV ☐ Lack of unity of invention
 - V ☒ Reasoned statement under Rule 88.2(a)(ii) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability, objections and explanations supporting such statement
 - VI ☐ Certain documents cited
 - VII ☐ Certain defects in the international application
 - VIII ☐ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 08.10.2003	Date of completion of this report 20.07.2004
Name and mailing address of the international preliminary examining authority:  European Patent Office - P.B. 5818 Patunguan 2 NL-4200 HV Rijswijk - Pays Bas Tél: +31 70 340-2040 Tlx: 31 851 999 n Fax: +31 70 340-3018	Authorized Officer Colling, P Telephone No. +31 70 340-4429 

**INTERNATIONAL PRELIMINARY
EXAMINATION REPORT**

International application No. **PCT/GB 03/01268**

I. Basis of the report

1. With regard to the elements of the international application (*Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report since they do not contain amendments (Rules 70.16 and 70.17)*):

Description, Pages

1-17 as originally filed

Claims, Numbers

1-13 received on 09.07.2004 with letter of 06.07.2004

Drawings, Sheets

1/6-8/6 as originally filed

2. With regard to the language, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.

These elements were available or furnished to this Authority in the following language: , which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of the International search (under Rule 23.1(b)).
☐ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
☐ the language of a translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rule 55.2 and/or 55.3).

3. With regard to any nucleotide and/or amino acid sequence disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
☐ filed together with the international application in computer readable form.
☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages:
☐ the claims, Nos.:
☐ the drawings, sheets:

22

**INTERNATIONAL PRELIMINARY
EXAMINATION REPORT**

International application No. **PCT/GB 03/01286**

5- ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed (Rule 70.2(c)).

(Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.)

6. Additional observations, if necessary:

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Yes: Claims	1-13
	No: Claims	
Inventive step (IS)	Yes: Claims	1-13
	No: Claims	
Industrial applicability (IA)	Yes: Claims	1-13
	No: Claims	

2. Citations and explanations

see separate sheet

Re Item V

Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

Reference is made to the following document:

D1: US-A-3 811 120 (BOBECK A) 14 May 1974 (1974-05-14)

Document D1, which is considered to represent the closest prior art document discloses (see column 2, line 33 - column 4, line 37 and figures 1-3; the references in parentheses applying to this document) a data storage device (10) for storing digital information (information bits) in a readable form comprises one or more memory elements (12), each memory element comprising a planar magnetic conduit (channels 13) capable of sustaining and propagating a magnetic domain wall (15) formed into a continuous propagation track wherein each continuous track is provided with at least one inversion node (end of channel 13).

The subject-matter of claim 1 thus differs from D1 in that the magnetisation direction of a domain wall is changed at the inversion node under the action of a suitable applied field, each inversion node comprising a portion in which a direction change away from the initial path and a subsequent direction change back to the initial path are provided in the conduit such that no direct propagation path is possible across the deviating portion.

The subject-matter of claim 1 is therefore new (Article 33(2) PCT).

The problem to be solved by the present invention may be regarded as the provision of a data storage device which compactly stores digital data.

The solution to this problem proposed in claim 1 of the present application is considered as involving an inventive step (Article 33(3) PCT) since nowhere in the cited prior art documents a conduit structure as described in claim 1 is suggested to be of use as an inversion node whereby the magnetisation direction of a domain wall propagating along said conduit is changed in such a manner as to serve as a memory element in a data storage device.

Claims 2-13 are dependent on claim 1 and as such also meet the requirements of the PCT with respect to novelty and inventive step.

CLAIMS

1. A data storage device for storing digital information in a readable form comprises one or more memory elements, each memory element
5 comprising a planar magnetic conduit capable of sustaining and propagating a magnetic domain wall formed into a continuous propagation track, wherein each continuous track is provided with at least one inversion node whereat the magnetisation direction of a domain wall propagating along the conduit under action of a suitable applied
10 field is changed, each inversion node comprising a portion in which a direction change away from the initial path and a subsequent direction change back to the initial path are provided in the conduit such that no direct propagation path is possible across the deviating portion.
- 15 2. A data storage device in accordance with claim 1 wherein each continuous track is provided with at least one inversion node whereat the magnetisation direction of a domain wall propagating along the conduit under action of a suitable applied field is substantially reverted.
- 20 3. A data storage device in accordance with claim 1 or claim 2 wherein each continuous track is provided with a large plurality of inversion nodes.
4. A data storage device in accordance with any preceding claim wherein a
25 conduit is formed into a closed loop to comprise a continuous propagation track.
5. A data storage device in accordance with any preceding claim wherein a conduit does not form an entire closed loop but a chain of inversion

25

19

nodes and means are provided to transfer data between the two ends thereof so that data is still able to circulate around an apparently closed loop, the means comprising a data writing facility at one end of the chain and data reading facility at the other end of the chain, and additional circuitry to feed the data back electronically from the output of the chain to the input of the chain.

6. A data storage device in accordance with any preceding claim wherein deviations comprise 90° deviations from the initial path of the conduit.

7. A data storage device in accordance with any preceding claim wherein deviations from the initial path occur gradually over a distance along the conduit track.

8. A data storage device in accordance with any preceding claim wherein the inversion node comprises a cycloidal portion within a conduit loop structure or a topological equivalent of such a structure.

9. A data storage device in accordance with claim 8 comprising a plurality of such cycloidal portions provided in each loop.

10. A data storage device in accordance with claim 9 comprising a number of magnetic conduits formed into closed loops each comprising a plurality of cycloids serving to effect abrupt directional reversals in a magnetisation direction of a domain wall passing thereacross.

11. A data storage device in accordance with one of claims 8 to 10 wherein each cycloid has a turning radius which is in the range three to ten times the conduit width.

12. A data storage device in accordance with any preceding claim wherein the magnetic conduit comprises a particular generally planar magnetic wire on a suitable substrate.

5

13. A data storage device in accordance with claim 12 wherein the magnetic wire comprises a magnetic nanowire with a thickness of between 2 nm and 25 nm and a width of between 50 nm and 1 μ m.

10

NOVEDAD DE LA INVENCION

Habiendo descrito el presente invento, se considera como una novedad y, por lo tanto, se
5 reclama como prioridad lo contenido en las siguientes:

REIVINDICACIONES

10 1.- Un dispositivo de almacenamiento de datos para almacenar información digital en una forma legible comprende uno o más elementos de memoria, cada elemento de memoria comprende un
15 conducto magnético plano que tiene la capacidad de sostener y propagar una pared de dominio magnético formada en un canal de propagación continuo, en donde cada canal continuo es provisto por lo menos con un nodo de inversión en el que se modifica la
20 dirección de magnetización de una pared de dominio que se propaga a lo largo del conducto bajo la acción de un campo aplicado conveniente, cada nodo de inversión comprende una porción en donde un cambio de dirección alejado de la trayectoria
25 inicial y un cambio de dirección posterior de regreso a la trayectoria inicial se proveen en el

72
78

conducto para que no sea posible una trayectoria de propagación directa a través de la porción de desviación.

2.- El dispositivo de almacenamiento de
5 datos de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque cada canal continuo es provisto por lo menos con un nodo de inversión en el que la dirección de magnetización de una pared de dominio que se propaga a lo largo del conducto
10 bajo la acción de un campo aplicado conveniente es sustancialmente invertida.

3.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque cada canal continuo es
15 provisto con una pluralidad grande de nodos de inversión.

4.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque
20 un conducto está formado en un bucle cerrado para comprender un canal de propagación continuo.

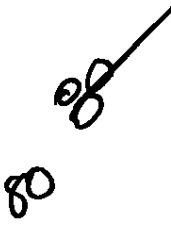
5.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque
25 un conducto no forma un bucle cerrado completo sino

más bien una cadena de nodos de inversión, y se proveen medios para transferir datos entre los dos extremos de la misma para que los datos puedan seguir circulando alrededor de un bucle
5 aparentemente cerrado, el medio comprende una instalación de escritura de datos en un extremo de la cadena y una instalación de lectura de datos en el otro extremo de la cadena, y circuitería adicional para alimentar los datos de regreso
10 electrónicamente desde la salida de la cadena a la entrada de la cadena.

6.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque
15 las desviaciones comprenden desviaciones de 90° desde la trayectoria inicial del conducto.

7.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque
20 las desviaciones de la trayectoria inicial ocurren gradualmente sobre una distancia a lo largo del canal del conducto.

8.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con cualquiera de las
25 reivindicaciones anteriores, caracterizado porque



el nodo de inversión comprende una porción cicloidal dentro de la estructura del bucle de conducto o un equivalente topológico de dicha estructura.

5 9.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con la reivindicación 8, que además comprende una pluralidad de dichas porciones cicloidales provistas en cada bucle.

10 10.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con la reivindicación 9, que además comprende un número de conductos magnéticos formados en bucles cerrados, cada uno comprende una pluralidad de cicloides que sirven para efectuar inversiones direccionales abruptas en una dirección
15 de magnetización de una pared de dominio que pasa a través de los mismos.

 11.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con una de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizado porque cada
20 cicloide tiene un radio giratorio que está en la escala de tres a diez veces la anchura del conducto.

 12.- El dispositivo de almacenamiento de datos de conformidad con cualquiera de las
25 reivindicaciones anteriores, caracterizado porque

el conducto magnético comprende un cable magnético generalmente plano particular sobre un substrato adecuado.

13.- El dispositivo de almacenamiento de
5 datos de conformidad con la reivindicación 12, caracterizado porque el cable magnético comprende un nanocable magnético con un grosor entre 2 nm y 25 nm y una anchura entre 50 nm y 1 μ m.

32

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/US 03/01266

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 611C19/08 611C13/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 611C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, MPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 3 811 120 A (BOBECK A) 14 May 1974 (1974-05-14) column 2, line 32 -column 6, line 5	1-7,14, 15
Y	OMO T ET AL: "Magnetization reversal and electric transport in ferromagnetic nanowires" MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING B, ELSEVIER SEQUOIA, LAUSANNE, CH, vol. 84, no. 1-2, 5 July 2001 (2001-07-05), pages 126-132, XP004242297 ISSN: 0921-5107 the whole document	1-7,14, 15

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"B" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claims or which is cited to establish the publication date of another claim or other special reason (see specification)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 July 2003

Date of mailing of the international search report

06/08/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.O. Box 2955, Patenkammer 2
DE - 69001 Wetzlar
Tel: (+31-70) 340-0100, Tx: 01 001 000 01,
Fax: (+31-70) 340-0010

Authorized officer

Colling, P

83

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/US 03/01266

6. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Character of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 3 774 179 A (WIEGAND J ET AL) 20 November 1973 (1973-11-20) column 3, line 40 -column 7, line 17; figures 1-7	1-15
A	WO 01 31789 A (UNIV CAMBRIDGE TECH ; COMBURN RUSSELL (GB)) 3 May 2001 (2001-05-03) page 1, line 1 -page 8, line 37	1-15
A	TANIYAMA T ET AL: "CONTROL OF DOMAIN STRUCTURES AND MAGNETOTRANSPORT PROPERTIES IN PATTERNED FERROMAGNETIC WIRES" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, US, vol. 76, no. 5, 31 January 2000 (2000-01-31), pages 613-615, XP000934656 ISSN: 0003-6951 the whole document	1-15
A	WO 02 13208 A (KLAUS MATHIAS ; LOPEZ DIAS LUIS (ES); ROTHMAN BENGT JOHAN (FR); BL) 14 February 2002 (2002-02-14) page 1, line 1 -page 3, line 24	1-15

Form PCT/IS/2003 (publication of national phase) (July 2003)

B4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/EP 03/01266

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3811120	A	14-05-1974	NONE
US 3774179	A	20-11-1973	US 3866193 A 11-02-1975
WO 0131789	A	03-05-2001	AU 7803600 A 08-05-2001 CA 2388426 A1 03-05-2001 CN 1390389 T 08-01-2003 EP 1238460 A2 11-09-2002 WO 0131789 A2 03-05-2001 JP 2003513438 T 08-04-2003
WO 0213208	A	14-02-2002	AU 7654001 A 18-02-2002 EP 1307891 A1 07-05-2003 WO 0213208 A1 14-02-2002

REQUISITOS NECESARIOS PARA PRESENTACION Y AGILIZACION DEL TRAMITE

	USUARIO	RADICADOR
PATENTE DE INVENCION	()	()
Indicacion de que se solicita la concesion de una patente	()	()
Datos de Identificacion del solicitante o de la persona que se presenta la solicitud	()	()
Descripcion de la invencion	()	()
Dibujos de ser estos pertinentes	()	()
Comprobante de Pago de las tasas establecidas	()	()
COMPLETA ()	INCOMPLETA ()	()

DISEÑO INDUSTRIAL	()	()
Indicacion de que se solicita el registro de Diseño Industrial	()	()
Datos de Identificacion del solicitante o de la persona que presenta la solicitud	()	()
Representacion grafica o fotografica del Diseño Industrial o muestra del Material que incorpora el diseño	()	()
Comprobante de pago de las tasas establecidas	()	()
COMPLETA ()	INCOMPLETA ()	()

ESQUEMA DE TRAZADO	()	()
Indicacion de que solicita el registro de un Esquema de trazado	()	()
Datos de Identificacion del solicitante o de la persona que presenta La solicitud	()	()
Representacion grafica del esquema de trazado	()	()
Comprobante de pago de las tasas establecidas	()	()
COMPLETA ()	INCOMPLETA ()	()

Firma Responsable

SUPERINDUSTRIA Y COMERCIO

Radicacion : 04095963 (5000)

Folios: 64

Fecha (ACB): 2004-09-27 16:15:50

Fecha

Tramite : 011 PCT-PATENT 373 Fase INCI 411 PRESENTAC
Dependencia: 2029 DIVISION DE MARCAS COMERCIALES

88
86

2020
Bogotá D C

Doctor(a)
DILIA MARIA RODRIGUEZ D'ALEMAN
Apoderado(a)
EASTGATE INVESTMENT LIMITED

Oficio N°

10043

ASUNTO:

Radicación N°	04-95903
Solicitud internacional	PCT/GB03/01266
Fecha inicio fase nacional	27/10/2004
Trámite	011
Evento	379
Actuación	430
Folios	001

Como resultado del examen de forma, realizado con fundamento en el artículo 38 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, artículo 27 del Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT), regla 51 bis del Reglamento y Circular Única de la Superintendencia de Industria y Comercio, se le comunica que:

- La solicitud no contiene copia del documento en que consta la cesión del derecho de patente del inventor al solicitante o a su causante (Art. 26-k Decisión 486).
- La solicitud no contiene el poder debidamente otorgado, con el lleno de requisitos exigidos por los artículos 63 y subsiguientes del Código de Procedimiento Civil. Adicionalmente deberá presentar el documento que acredita la existencia y representación legal de la sociedad solicitante, cuando éste fuere una persona jurídica.
- El solicitante debe presentar un nuevo título, que permita identificar la materia de la cual trata la solicitud, ya que el relacionado no se encuentra con la precisión necesaria para identificar claramente el objeto de la solicitud de patente (Regla 4.3 PCT, Art. 27, 27 Decisión 486, Circular Única 5.2.9).

En cumplimiento de lo dispuesto por el artículo 39 de la Decisión 486, se le requiere para que dentro del término de dos meses siguientes a la fecha de notificación del presente oficio, complete los requisitos anteriormente enunciados. En caso de no dar cumplimiento al presente requerimiento, la solicitud se considerará abandonada y perderá su prelación.

Notifíquese el presente oficio conforme a lo dispuesto en el numeral 5.2, literal e), del capítulo quinto del título primero de la Circular Única N° 10 de 2001.

ALIX CARMENZA CÉSPEDES DE VERGEL
Jefe de la División de Nuevas Creaciones.

El anterior requerimiento fue notificado por fijación en lista de fecha, 23 de Nov. 2004
202044

Sede Centro: Carrera 13 No. 27-00 Pisos 2, 5, 7 y 10
Commutador: 3 820840 Fax: 3 505220
Sede CAN: Tr. 40A No. 38-50 3133265 al 69
Fax: 3 505220. Línea 9800-910 165
Web: www.sic.gov.co e-mail: info@sic.gov.co
Bogotá D.C. - Colombia