



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 264 928**

51 Int. Cl.:
G11C 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **00915760 .3**

86 Fecha de presentación : **11.02.2000**

87 Número de publicación de la solicitud: **1157386**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **28.11.2001**

54 Título: **Nanocápsulas que contienen partículas cargadas, sus usos y procedimientos de preparación de las mismas.**

30 Prioridad: **12.02.1999 US 120023 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.02.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.02.2007

73 Titular/es: **Board of Trustees operating Michigan State University
East Lansing, Michigan 48824, US**

72 Inventor/es: **Tomanek, David;
Enbody, Richard;
Young-Kyun, Kwon y
Brehob, Mark, W.**

74 Agente: **Carpintero López, Francisco**

ES 2 264 928 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Nanocápsulas que contienen partículas cargadas, sus usos y procedimientos de preparación de las mismas.

5 **Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

Esta solicitud reivindica la prioridad de la Solicitud de EE. UU. Provisional número de serie 60/120.023, presentada el 12 de febrero de 1999.

10 La presente invención se refiere a dispositivos de micromemoria y, más concretamente, a dispositivos de memoria a nanoescala formados de nanotubos de carbono que contienen partículas cargadas.

Antecedentes de la invención

15 Los nanotubos de carbono que consisten generalmente en cilindros gráfiticos homogéneos y anatómicamente perfectos con un diámetro de unos cuantos nanómetros, han sido sintetizados en cantidades masivas. La combinación inusual de su naturaleza molecular y de su longitud del orden de micrómetros da lugar a unas propiedades electrónicas extraordinarias de estos sistemas. Las medidas para el transporte eléctrico de los nanotubos individuales indican que estos sistemas se comportan como conductores cuánticos, elementos electrónicos no lineales o transistores genuinos.

20 El documento WO 98/39250A revela un elemento de memoria a nanoescala como el indicado en el preámbulo de la reivindicación 1. Describe el dispositivo de memoria no volátil a nanoescala en forma de molécula de carbono tubular cerrada que contiene una entidad molecular encerrada que se puede hacer que se desplace adelante y atrás en el tubo bajo control externo.

25 **Sumario de la invención**

Las simulaciones de ordenador indican que los nanotubos que contienen al menos una partícula cargada, denominados también en el presente “lanzaderas locas”, presentan un comportamiento dinámico inusual que hace que estos mecanismos sean útiles para dispositivos de memoria a nanoescala. Dichos dispositivos de memoria a nanoescala combinan alta velocidad de conmutación, alta densidad de compactación y estabilidad sin volatilidad de la información almacenada.

35 Los mecanismos a nanoescala que incluyen al menos una partícula cargada, generalmente en forma de molécula fullerenes contenida dentro de al menos un nanotubo de carbono, se pueden producir con polvo de diamante recocido térmicamente de un diámetro medio de 4-6 nm por medio de un procedimiento de detonación dado a conocer por Toron Company, Ltd. De acuerdo con este procedimiento de detonación, el polvo de diamante se calienta en un crisol de grafito en una atmósfera inerte de argón a 1800°C durante 1 hora. Este tratamiento transforma el polvo de diamante en nanoestructuras graníticas como las que se ven en las imágenes de un microscopio electrónico de transición. Curiosamente, una gran parte del material producido con este procedimiento consta de cápsulas de paredes múltiples.

40 Alternativamente, las estructuras de “lanzadera loca”, denominadas a veces “nanovainas”, se pueden sintetizar, de manera análoga a la estructura mostrada en la figura 5, purificando con ácido los nanotubos de carbono producidos por ablación con láser pulsado de un objetivo de grafito impregnado con 1,2% de un catalizador de Ni/Co como dieron a conocer Smith y colaboradores, NATURE, 396, 323 (1998). Análogamente, las nanovainas han sido producidas por descarga de arco en carbono usando ~ 5% de un catalizador de Ni/Y como dieron a conocer Luzzi y colaboradores, “Science and Application of Nanotubes”, página 67 (2000).

50 **Descripción detallada de los dibujos**

La figura 1 es un modelo estructural de un nanomecanismo que incluye una nanoestructura cargada de $K@C_{60}^+$ contenida dentro de un nanoconjunto de C_{480} ;

55 La figura 2 es un gráfico que ilustra la energía potencial de $K@C_{60}^+$ en función de su posición respecto del nanoconjunto en un campo cero (línea continua) y en un campo de conmutación $E_s = 0,1 \text{ V/\AA}$ (líneas de trazos);

La figura 3 es una vista esquemática desde arriba de una tarjeta de memoria de alta densidad;

60 La figura 3b es una vista esquemática lateral de una tarjeta de memoria de alta densidad que ilustra un voltaje de conmutación aplicado entre los conductores b y C, en que la información en bits correspondiente se almacena en el elemento de memoria “bC” mostrado como dispositivo sombreado;

65 La figura 4a muestra una simulación de dinámica molecular de la forma del proceso de conmutación de “bit 0” a “bit 1” cuando se aplica un campo eléctrico constante de $0,1 \text{ V/\AA}$ a lo largo del eje del nanoconjunto, en el que la posición de una nanoestructura cargada respecto del nanoconjunto es función del tiempo;

ES 2 264 928 T3

La figura 4b ilustra los cambios en energía potencial y energía cinética en función del tiempo, en que la línea superior es energía cinética, la línea inferior es energía potencial y la línea intermedia es la energía cinética de la nanoestructura cargada respecto del nanoconjunto;

5 La figura 4c ilustra la temperatura vibratoria del nanoconjunto y de la nanoestructura cargada en función del tiempo;

La figura 5 es una vista lateral de una sección transversal de una configuración alternativa del nanomecanismo útil como elemento de almacenamiento de información de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

10

La figura 6 es una vista lateral de una configuración alternativa del nanomecanismo útil como elemento de almacenamiento de información de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

15 La figura 7 es una vista lateral de un dispositivo de memoria a nanoescala que incluye un nanomecanismo que tiene segmentos conductor y no conductor distintos y un activador de electrodo doble para realizar una conmutación entre estados;

20 La figura 8 es una vista lateral de un dispositivo de memoria a nanoescala que incluye un nanomecanismo que tiene segmentos conductor y no conductor distintos y un activador de electrodo triple para realizar una conmutación entre estados;

La figura 9 es una vista en perspectiva de un elemento de memoria a nanoescala que incluye una pluralidad de nanomecanismos que se extienden entre los dos electrodos de un activador;

25 La figura 10 es una vista en perspectiva de una serie de cuatro bits de elementos de memoria a nanoescala;

La figura 11 es una vista esquemática de la circuitería utilizada para direccionar un dispositivo de memoria a nanoescala de acuerdo con las enseñanzas de la presente invención;

30 La figura 12 es una vista esquemática de un elemento de memoria a nanoescala que incluye un electrodo unido a un primer terminal de un nanomecanismo y a un segundo terminal de una fuente de alimentación;

35 La figura 13 es una vista esquemática de un elemento de memoria a nanoescala que incluye un activador de láser para generar una corriente neta y desplazar la nanoestructura dentro del nanoconjunto, conmutando de esta manera entre estados;

La figura 14 es una vista esquemática de un elemento de memoria a nanoescala que incluye un detector para medir resistencias eléctricas y distinguir entre estados;

40 La figura 15 es una vista esquemática de un elemento de memoria a nanoescala que incluye un detector de polaridad para valorar polaridades y distinguir entre estados;

La figura 16 es una vista esquemática de un elemento de memoria a nanoescala que incluye un detector de nano-sondas para evaluar cambios locales en la distribución de electrones o deformaciones elásticas y distinguir estados;

45

La figura 17 es una vista esquemática de un elemento de memoria a nanoescala en estado de "bit 0" en el que la nanoestructura opaca obstruye la transmisión de un haz de luz a través de una sección transparente del nanoconjunto; y

50 La figura 17A es una vista esquemática de un elemento de memoria a nanoescala en el estado de "bit 1", donde la nanoestructura opaca no obstruye un haz de luz.

Descripción detallada de la invención

55 Haciendo referencia a la figura 1, se ilustra un nanomecanismo para su uso en un elemento de memoria a nanoescala que incluye un primer elemento 12 en forma de nanoconjunto 14, que tiene una cavidad 16, y un segundo elemento 18 en forma de nanoestructura 20 que está dispuesto de manera móvil dentro de la cavidad.

60 Aunque el nanomecanismo se va a describir en cuanto a movimiento de la nanoestructura respecto del nanoconjunto, los expertos en la técnica deben entender que la nanoestructura se puede mantener en una posición fija, siendo movido el nanoconjunto respecto de la misma para realizar un cambio de estado, como se va a describir más adelante. Además, se entiende plenamente que la nanoestructura y el nanoconjunto pueden estar configurados para que ambos sean móviles. A fines ilustrativos, el nanoconjunto se materializa como cápsula de C_{480} y la nanoestructura se materializa como molécula fullerene de C_{60} . Los expertos en la técnica deberían advertir que la nanoestructura 20 también puede estar formada de otras partículas cargadas o nanotubos provistos de manera tal que pueden estar alojados en la cavidad de un nanoconjunto de nanotubos. Además, como se muestra en la figura 6, dos o más nanoestructuras representadas por los numerales de referencia 20 y 20A, pueden estar dispuestos dentro de un solo nanoconjunto. Se ha determinado que el nanomecanismo antes descrito se puede utilizar en elementos 30 de nanomemoria tal como los

65

ES 2 264 928 T3

ilustrados en las figuras 1, 3, 7, 8 y 9 para escribir y leer información de manera rápida y fiable. Además, la información puede ser analizada y almacenada fácilmente de manera no volátil.

En la figura 2 se describe la función energética de la molécula C_{60} dentro la C_{480} . Los extremos de la cápsula exterior son mitades de la fullerene C_{240} , una estructura preferida para mantener una molécula de C_{80} a una distancia entre paredes de 3.4 Å. Estos extremos de cápsula están conectados homogéneamente a la parte cilíndrica de la cápsula, un segmento del nanotubo de 1,5 nm de longitud. La interacción entre la molécula de C_{60} no modificada y la cápsula que la contiene es similar a la observada en el grafito, cristales de C_{60} y haces de nanotubos; es decir, está dominada por una interacción de Vander Waals y una interacción entre paredes covalentes débiles que es proporcional al área de contacto entre los componentes. Se produce una interacción adicional por carga de imagen, que es prácticamente independiente de la posición de la C_{60} , si la molécula de C_{60} lleva una carga positiva neta, como se expondrá más adelante. Se debe reconocer que la interacción de Vander Waals estabiliza la molécula de C_{60} en cualquier extremo de la cápsula, donde el área de contacto es la mayor. Esto se refleja en el comportamiento de la energía potencial mostrado en la figura 2, y da lugar a la posibilidad encontrar C_{60} cerca de los extremos de la cápsula. En vista de lo anterior, a continuación se va a describir el concepto de utilización de un nanomecanismo como medio de almacenamiento de información.

Con el fin de desplazar la nanoestructura 20 desde un extremo del nanoconjunto al otro (proceso analógico molecular de escritura) y para determinar su posición dentro del nanoconjunto (proceso analógico molecular de lectura) más eficientemente, la nanoestructura contenida en el nanoconjunto debe llevar una carga neta. Esta carga neta se puede lograr, por ejemplo, utilizando un complejo de $K@C_{60}$, que se puede formar espontáneamente en condiciones de síntesis en presencia de potasio (K), en el que el electrón de valencia del átomo de K encapsulado es transferido totalmente a la vaina de C_{60} . El complejo de $K@C_{60}$, cuando está en contacto con el nanoconjunto de C_{480} neutro, transfiere espontáneamente este electrón de valencia desde la vaina de C_{60} al nanoconjunto que lo contiene dando como resultado un ion $K@C_{60}^+$ contenido en el nanoconjunto C_{480} .

El proceso de escritura concuerda con la conmutación de estado o de posición de equilibrio del ion⁺ C_{60} entre un primer extremo 22 del nanoconjunto, en adelante extremo de “bit 0”, y un segundo extremo 24 del nanoconjunto, en adelante el extremo de “bit 1”. Para lograr un cambio de estado, se debe aplicar un campo eléctrico dentro de la cavidad 16 del nanoconjunto 14. Preferiblemente, el nanoconjunto 14 está provisto con uno o más electrodos 26 que se conectan durante la formación del nanoconjunto para reducir el campo de selección por el nanoconjunto.

La figura 2 presente la función energética del C_{60}^+ en ausencia de un campo y en el campo de conmutación $E_s = 0,1 \text{ V/Å}$, generado aplicando un voltaje de -1,5 V entre los extremos del nanoconjunto. Uno de los mínimos locales se hace inestable por encima de una intensidad de campo crítica, haciendo que el ion C_{60}^+ se desplace a la única posición estable. Dado que el campo de conmutación $E_s = 0,1 \text{ V/Å}$ es relativamente pequeño, no debería ejercer un efecto espectacular en la integridad del nanomecanismo, ya que la estructuras graníticas solo se desintegran en campos superiores a 3,0 V/Å.

Una manera alternativa para desplazar la nanoestructura dentro del nanoconjunto se podría lograr irradiando el nanoconjunto con un haz de láser, figura 13, induciendo de esta manera una corriente eléctrica capaz de arrastrar la nanoestructura a ras, como describieron Kral y Tomanek en “Physical Review Letters” 82, 5373 (1999).

Otro procedimiento para desplazar la nanoestructura dentro del nanoconjunto haría uso de la punta de un Microscopio de Investigación por Escaneo, tal como u Microscopio de Fuerza Atómico (AFM). La fuerza aplicada localmente deformaría el nanoconjunto de manera tal que produciría el desplazamiento de la nanoestructura de un extremo al otro.

La información, almacenada físicamente en la posición de la nanoestructura, es decir, el ion C_{60}^+ contenido en el nanoconjunto, es estable y no cambia a menos que esté presente un campo mayor que el campo de conmutación en la cavidad 16 del nanoconjunto 14, que diera lugar a la no volatilidad de la información almacenada. En vista de la capacidad de almacenamiento de información de los nanomecanismos de la presente invención, la información generada por los nanomecanismos se puede leer de varias maneras. A modo de ejemplo no limitativo, se puede llevar a cabo una función de lectura determinando el estado del dispositivo examinando su polaridad, detectando el desplazamiento de la nanoestructura o examinando su resistencia.

El examen de la polaridad del nanoconjunto indicaría la proximidad de la nanoestructura cargada dentro del nanoconjunto y, de esta manera, su localización. La polaridad se puede examinar midiendo la diferencia de potencial electroquímico entre los extremos 22 y 24. Para valorar la polaridad, se puede conectar un voltímetro a los extremos del nanomecanismo, como se muestra en la figura 15. El voltímetro detectaría la diferente polaridad dependiendo de la posición de una nanoestructura.

Un proceso de lectura destructiva requeriría la medición del pulso de corriente en los electrodos de conexión, producido por el movimiento de la nanoestructura cargada debido a un voltaje de examen aplicado. La transferencia de carga total asociada con el pulso de corriente (que es un electrón en el presente ejemplo) se puede incrementar conectando varios nanoconjuntos en paralelo para representar un bit como se muestra en la figura 9, y usando complejos cargados mayores tales como $La@C_{82}^{3+}$ que lleva una carga neta de +3e, en vez del ion $K@C_{60}^+$ que lleva una carga

neta de +1e. El pulso de corriente se puede medir usando un amplificador de corriente similar a los amplificadores diferenciales usados en las células de DRAM. Aunque puede ser difícil detectar con precisión la corriente producida por el movimiento del cambio de un solo electrón, la detección se hace mucho más precisa cuando el pulso de corriente lo producen cargas múltiples como en las realizaciones de series descritas más adelante.

5 Otro procedimiento para llevar a cabo una función de lectura requiere un nanoconjunto con segmentos 28 y 28A conductor y no conductor, respectivamente. Usando este tipo de nanoconjunto, se podría hacer variar la resistencia de todo el dispositivo de memoria sobre la base de la localización de la nanoestructura (conductora) dentro del nanoconjunto. Si la nanoestructura está localizada junto al primer extremo 22 (a la izquierda), como se muestra en la figura 7,
10 la resistencia del dispositivo de memoria es menor que cuando la nanoestructura está en el segundo extremo 24 (a la derecha). Cuando la estructura está en el primer extremo, actúa como un puente eléctrico que permite que la corriente circule entre los extremos del nanoconjunto. Por el contrario, cuando la nanoestructura está a la derecha, no existe vía conductora alguna entre los extremos del nanoconjunto, produciéndose de esta manera una mayor resistencia que puede ser medida. Los segmentos conductor y no conductor del nanoconjunto 14 pueden estar hechos de diferentes
15 materiales o pueden estar hechos, opcionalmente, del mismo material aunque difieran en la disposición atómica que, en caso de nanotubos, se denomina quiralidad. La resistencia se puede medir de varias maneras incluso, por ejemplo, conectando un resistor a los electrodos en serie con el nanomecanismo. Seguidamente, se podría aplicar una pequeña diferencia de potencial a través tanto del resistor como del nanomecanismo, midiéndose la diferencia entre el resistor y el nanomecanismo.

20 La función de lectura se puede llevar a cabo también empleando una pluralidad de electrodos separados conectados a un nanomecanismo, como se ilustra en las figuras 8 y 14. Los primero y segundo electrodos 26 y 26A estarían situados en extremos opuestos del nanoconjunto 14 y separados entre sí por uno o más segmentos 28A aislantes; un tercer electrodo 26B estaría dispuesto cerca del punto medio 40. Preferiblemente, cada uno de los electrodos está
25 espaciado equidistantemente de los electrodos contiguos. Cuando la nanoestructura está en un extremo, permite una conexión de baja resistencia entre este extremo y el electrodo del punto medio, mientras que la resistencia entre el electrodo del punto medio y el del otro extremo permanece alta. Por consiguiente, la localización de la nanoestructura es detectable comparando la resistencia entre el electrodo del punto medio y el de un extremo con la resistencia entre el electrodo del punto medio y el del otro extremo usando un resistor como se describió anteriormente.

30 Otro procedimiento para detectar la localización de la nanoestructura dentro del nanoconjunto haría uso de la punta de un Microscopio de Investigación por Escaneo, tal como el Microscopio de Fuerza Atómico (AFM). Debido al hecho de que el nanoconjunto es localmente menos compresible cerca de la nanoestructura, como se ilustra en la figura 16, el Microscopio de Investigación por Escaneo mostraría una deformación diferente cuando se aplica cerca de
35 la nanoestructura.

Otra manera más para detectar la posición de la nanoestructura dentro del nanoconjunto se basa en el hecho de que la nanoestructura opaca, cuando está situada cerca del extremo izquierdo ("bit 0") del nanoconjunto, puede obstruir la
40 transmisión de un haz de luz a través de una ventana que consta de una sección transparente del nanoconjunto, como se muestra en la figura 17. Cuando la nanoestructura está situada cerca del extremo derecho ("bit 1") del nanoconjunto, como se muestra en la figura 17A, no se obstruye el haz de luz, sino que, por el contrario, es transmitido a través de dicha ventana y puede ser detectado.

A diferencia de los elementos de memoria de acceso aleatorio de estado sólido más convencionales (tal como
45 DRAM o SRAM) en los que la información tiene que ser mantenida por una fuente de alimentación externa, la no volatilidad de la información almacenada antes mencionada, es el resultado de un potencial de captación relativamente profundo cerca de los extremos de "bit 0" o "bit 1" del nanomecanismo y que, por lo tanto, no se basa en una fuente de alimentación externa. La estabilidad térmica y la no volatilidad de la información dependen de la profundidad de este potencial de captación que, a su vez, se puede ajustar cambiando el complejo de fullerene encapsulado. Por
50 ejemplo, la profundidad del potencial de captación calculado de 0,24 eV del ion $K@C_{60}^+$ cerca de los extremos del nanoconjunto en campo cero sugiere que la información almacenada podría ser estable a una temperatura muy superior a la temperatura ambiente y que requiere temperaturas del orden de 3000 K para ser destruido. Se puede lograr una mejora adicional de la estabilidad térmica usando complejos endohedrales más cargados que contienen átomos donantes di o trivalentes tal como $La@C_{83}^{3+}$ como se mencionó anteriormente.

55 Al seleccionar densidades de almacenamiento superiores, la direccionalidad de la información almacenada se hace importante. En la figura 3 se presenta una manera posible de realizar una tarjeta de memoria de alta densidad. La máxima densidad se logra empaquetando los elementos de memoria de nanotubos a modo de panel. Las filas de nanoconjuntos se pueden conectar a la parte superior y a la inferior mediante electrodos de "nanocable" de manera
60 tal que se direcciona un solo elemento de memoria en su punto de cruce. La aplicación de voltaje de conmutación entre dos electrodos de cruce [por ejemplo, el par bC de la figura 3(b)] generará un campo suficiente para conmutar solamente en ese elemento de memoria [por ejemplo, el etiquetado bC], mientras que los campos interiores de los demás elementos de memoria, en particular, las filas de elementos conectadas al electrodo c y al electrodo B, son demasiado pequeños para iniciar la conmutación. Como en la mayoría de los dispositivos de memoria de estado
65 sólido, muchos elementos de memoria se pueden direccionar en paralelo usando dicho esquema de direccionamiento. Esta disposición es aplicable tanto a los procesos de escritura como a los de lectura descritos anteriormente y permite escribir y leer múltiples bits en paralelo.

ES 2 264 928 T3

De manera similar, también se puede emplear como dispositivo de memoria una matriz de elementos de memoria a nanoescala de un solo bit, como se ilustra en la figura 10. Se puede conectar al electrodo una gran cantidad de nanomecanismos por unidad de área, es decir, como los descritos en artículos de A. Thess y colaboradores, en SCIENCE, Vol. 273, página 483 (1996); G. Che y colaboradores en Jpn. J. Appl. Phys., Volumen 37, página 605 (1988) y S.J. Tans y colaboradores, en NATURE, vol. 393, 49 (1998). Se podría usar una técnica similar para crear una gran cantidad de nanomecanismos por unidad de área dispuestos entre dos capas conductoras para formar un elemento de un solo bit, como se ilustra con más detalle en la figura 9. En general, el número de nanomecanismos por bit dependerá del mínimo tamaño de línea del proceso de litografía usado para los electrodos. Por ejemplo, en procesos litográficos que emplean un cable de 70 nm de grosor podría haber cerca de 1.000 nanomecanismos usados para almacenar un solo bit de información. La escritura se puede hacer asumiendo que un diferencial de voltaje de 2,0 V puede desplazar las nanoestructuras desde un extremo del nanoconjunto al otro (de esta manera se logrará campo de aproximadamente 0,1 V/Å o superior, necesario para desplazar un ion de C_{60}^+ dentro del nanoconjunto, si la distancia entre los dos extremos es inferior a aproximadamente 2 nm). Así pues, como se muestra en la figura 10, con el fin de escribir la información de “bit 0” en el elemento de memoria “4” se aplica un potencial de +1,0 V al cable B, aplicando al mismo tiempo un potencial de -1,0 V al cable D. Si todos los demás electrodos se mantienen conectados a tierra, solamente en el elemento direccionado habrá un campo eléctrico de suficiente intensidad para desplazar las nanoestructuras a través de los nanoconjuntos. Invertiendo el voltaje en los mismos electrodos y manteniendo los demás conectados a tierra se escribiría una información de “1 bit” en ese elemento. La escritura en una fila completa (o columna) sería un proceso de dos etapas, ya que la información de “0 bit” y “1 bit” tendría que ser escrita en diferentes momentos.

Las series de memorias de la presente invención, que son accesibles aleatoriamente por naturaleza, se pueden fabricar para sustituir la células de memoria de condensador/transistor DRAM por una célula de memoria hecha de uno o más dispositivos de nanomemoria. La figura 11 ilustra una serie de memorias contemporáneas que emplea una serie de dispositivos de memoria a nanoescala en vez de células de DRAM que ahora se usan normalmente en aplicaciones de microelectrónica. Como se muestra, el decodificador 50 selecciona el cable o cables 52 de lectura y escritura como se describió anteriormente. El multiplexor (MUX) 54 recoge las señales de los dispositivos de memoria a nanoescala de salida. El decodificador y el MUX son dispositivos convencionales que se pueden fabricar usando técnicas de VLSI convencionales o se pueden fabricar de nanotubos.

Considere ahora una lectura destructiva con un gran número de nanoconjuntos por unidad de área. Un “bosque” de nanoconjuntos en movimiento daría lugar al movimiento de un gran número de iones cargados cuyo movimiento sería detectable. Aunque la información habrá sido destruida en el proceso de ejecución de la lectura, la información se puede escribir de nuevo más tarde, de manera similar a como se maneja la información en una DRAM tradicional.

Los dispositivos de nanomemoria descritos anteriormente tienen varias características útiles. Son no volátiles; el propio dispositivo se conmuta muy rápidamente; y parecen ser útiles en los procesos de la moderna litografía. En una realización alternativa, se pueden fabricar dispositivos de nanomemoria en los que los electrodos metálicos o de poli silicio se sustituyen total o parcialmente por “nanocables de carbono”. Estos denominados nanocables tienen forma de nanotubos de carbono conductores. Ahora, cada bit de memoria usaría solamente un solo dispositivo de memoria a nanoescala. La lectura y escritura de la información en los dispositivos de memoria se realizaría, como se describió anteriormente y se ilustra en la figura 11, a modo de ejemplo no limitativo.

Para estudiar la eficiencia del proceso de escritura, hemos realizado una simulación de la dinámica molecular del proceso de conmutación desde “bit 0” hasta “bit 1” en el colectivo microcanónico del nanoconjunto de C_{60}^+ @ C_{480} . Utilizamos una combinación lineal parametrizada del total funcional de la energía de orbitales atómicos (LCAO) aumentada por interacciones de Van der Waals de largo alcance. Nuestra metodología para determinar las fuerzas de átomos individuales se había usado previamente con éxito para describir la dinámica de la desintegración de fullerenes y el desarrollo de nanotubos multipared. Se utilizó un escalonamiento temporal de 5×10^{-16} segundos y un esquema de interpolación de Runge-Kutta de quinto orden para garantizar un total de conservación de energía de $\Delta E/E \sim < 10^{-10}$ entre escalones temporales sucesivos.

En la figura 4 se muestran los resultados de nuestra simulación. Inicialmente, la nanoestructura 20 (ion de C_{60}^+) se equilibra cerca de la posición de “bit 0” a la izquierda. En el momento $t = 0$ se aplicó un campo eléctrico constante de 0,1 V/Å a lo largo del eje del nanoconjunto 14. La configuración de “0 bit” originalmente estable llega a ser inestable en la superficie de energía total modificada, como se representa en la figura 2. Se somete el ion C_{60}^+ a una aceleración constante hacia la derecha y alcanza la posición “bit 1” solamente 4 picosegundos (ps) después, como se ve en la figura 4(a). Durante este proceso de conmutación, la pérdida de energía potencial por los iones de C_{60}^+ se convierte en energía cinética, como se ve en la figura 4(b). Debido a la pequeña (aunque no insignificante) interacción entre la nanoestructura (ion C_{60}^+) y el nanoconjunto (nanotubo), la energía cinética ganada se produce como energía traslacional de cuerpo rígido de la nanoestructura. Durante esta etapa inicial del proceso de conmutación, se observa una transferencia de energía casi imperceptible hacia microenergía asociada con grados de libertad interna debido a una fricción a escala atómica, manifestada en un incremento muy pequeño de la temperatura vibratoria, mostrado en la figura 4(c).

Aproximadamente cuatro picosegundos (ps) después de la aplicación del campo de conmutación, la nanoestructura alcanza el extremo opuesto del nanoconjunto, habiendo ganado 1,5 electrovoltios (eV) de energía cinética neta. Esta energía cinética es demasiado pequeña para dañar el nanoconjunto, ya que las colisiones inelásticas con participación de C_{60} requieren la producción de energías superiores a 200 eV. Al impactar contra el nanoconjunto circundante desde

ES 2 264 928 T3

el interior, una fracción sustancial de esta energía se convierte en calor, incrementando de esta manera la temperatura vibratoria del nanoconjunto en 10 K y la de la nanoestructura de iones C_{60}^{+} en 2 K . Debido a la alta conductividad térmica y a la temperatura de fusión TM de 4000 K de las nanoestructuras de grafito, esta modesta evolución térmica es improbable que produzca daño estructural significativo alguno, incluso a altas velocidades de acceso.

5 Como se ve en la figura 4(b), la energía cinética neta de la nanoestructura respecto del nanoconjunto se reduce significativamente durante esta colisión. El C_{60}^{+} rebota hacia el centro del nanoconjunto, siendo desacelerado por el campo eléctrico opuesto y, finalmente vuelve de nuevo hacia el extremo de "bit 1". La figura 4(c) indica que, después de la colisión, se logra el equilibrio térmico del sistema gradualmente. El periodo de escalonamiento de 1 ps
10 es consecuencia de las pulsaciones entre los modos de deformación cuadrupolar de baja frecuencia del ion C_{60}^{+} y el nanoconjunto circundante más caliente, que han sido excitadas durante la colisión cuasielástica.

Son necesarias una o unas cuantas oscilaciones de la nanoestructura dentro del nanoconjunto, atenuadas por la transferencia de energía, tanto de energía macroscópica como de energía microscópica asociada con grados de libertad
15 interna, para estabilizarla en la nueva posición de equilibrio de "bit 1", con una energía cinética que no excede de la profundidad del potencial de captación. Como se ve en la figura 4(b), esta situación se produce 10 ps después del comienzo inicial del campo en conmutación, produciéndose así una conmutación de memoria ideal y una velocidad de acceso próxima a 0,1 THz. En el modo secuencial más lento, esto se traduce en una velocidad de proceso de información de 10 GB/s, muchos órdenes de magnitud más rápida que la del tratamiento de información lograda
20 actualmente en dispositivos magnéticos de almacenamiento masivo.

Con el fin de reducir más el tiempo de conmutación, se puede incrementar el campo aplicado para acortar el tiempo de transferencia entre los dos estados, "bit 0" y "bit 1", teniendo presente que, en tal caso, se prolongaría el proceso de atenuación. A diferencia con nuestra simulación de modelos, no hay necesidad de un campo en conmutación constante
25 durante todo el proceso de cambio de estado de bits. Se observa que un pulso de 0,5 ps de un campo de 0,1 - 0,5 V/Å es suficiente para separar el ion C_{60}^{+} de su posición estable y, por lo tanto, para cambiar el estado de la memoria. Esta metodología se puede usar especialmente si se desea un incremento del potencial de captación, debido a un diferente complejo de fullerene.

30 La producción en masa de dispositivos de nanomemoria como los expuestos en el presente se puede realizar de manera económica debido a la compatibilidad de los nanotubos y las nanocápsulas para la formación de series empaquetadas de manera compacta y ordenada. Se debe advertir que, dado que todo nanotubo o nanocápsula de doble pared en el que la estructura contenida es más corta que la cápsula exterior se comporta como un sistema de dos niveles
35 sintonizables, la funcionalidad del dispositivo de memoria a nanoescala propuesto es básicamente independiente del tamaño y forma exactos de la nanoestructura y del nanoconjunto.

En vez de un nanoconjunto cerrado como el ilustrado y descrito anteriormente, la figura 5 ilustra un nanoconjunto alternativo en forma de tubo/cilindro hueco de extremos abiertos. Dos tubos 34 y 34A, de menor diámetro y cerrados
40 en un extremo pueden estar situados dentro de la cavidad 16 del nanoconjunto 14 de manera tal que se forma un vacío casi cilíndrico entre los extremos 36 y 36A cerrados de los dos tubos. Este cilindro/cápsula contiene al menos una nanoestructura 20 cargada que se puede desplazar a lo largo del eje de la parte 38 de cilindro truncado, una vez que se produce un campo eléctrico en su interior aplicando un voltaje de polarización entre los tubos 34 y 34A. Con dos estados de equilibrio igualmente estables, este es un sistema de dos niveles que se puede usar para el almacenamiento de datos binarios.

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un nanomecanismo (10) para su uso en un elemento (30) de memoria a nanoescala que comprende:
- 5 a) un primer elemento (12) en forma nanoconjunto (14) que tiene una cavidad (16);
- b) un segundo elemento (18) en forma de al menos una nanoestructura (20) dispuesta dentro de la cavidad;
- 10 en el que el al menos uno de los primero y segundo elementos es móvil respecto del otro de dichos primero y segundo elementos para lograr una conmutación entre estados, y
- caracterizado** porque dicho nanoconjunto incluye segmentos conductores (28) y no conductores (28A).
- 15 2. El nanomecanismo de la reivindicación 1, en el que dicho nanoconjunto es un nanotubo.
3. El nanomecanismo de la reivindicación 2, en el que dicho nanotubo está formado de al menos un elemento seleccionado del grupo constituido por carbono, boro, nitrógeno y mezclas de los mismos.
- 20 4. El nanomecanismo de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicha nanoestructura está cargada.
5. El nanomecanismo de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicha nanoestructura está en forma de molécula de fullerene.
- 25 6. El nanomecanismo de la reivindicación 5, en el que dicha molécula de fullerene incluye un cuerpo hueco que tiene una partícula cargada dispuesta en el mismo.
7. El nanomecanismo de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que al menos una nanoestructura incluye una pluralidad de nanoestructuras contenidas en la cavidad de dicho nanoconjunto.
- 30 8. Un elemento (30) de memoria a nanoescala para su uso en un dispositivo de memoria a nanoescala que comprende:
- a) un nanomecanismo (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7; y
- 35 b) un activador para desplazar al menos uno de los primero y segundo elementos uno respecto del otro de dichos primero y segundo elementos para realizar una conmutación entre estados.
9. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 8, en el que dicho activador incluye un artículo para la aplicación de un campo eléctrico que se dispone en la proximidad de dicho nanomecanismo.
- 40 10. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 9, en el que dicho artículo es un electrodo conectado en un primer terminal a dicho nanomecanismo y en un segundo terminal a una fuente de alimentación.
- 45 11. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 9, en el que dicho artículo incluye una pluralidad de electrodos conectados en un primer terminal a dicho nanomecanismo y en un segundo terminal a una fuente de alimentación.
12. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 11, en el que dicha pluralidad de electrodos incluye un primer electrodo (26) conectado a dicho nanomecanismo en un primer terminal (22) y un segundo electrodo (26A) conectado a dicho nanomecanismo en un segundo terminal (24).
- 50 13. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 12, en el que al menos un electrodo (26B) adicional está conectado a dicho nanomecanismo entre dichos primero y segundo electrodos.
- 55 14. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 13, en el que cada uno de dichos electrodos está espaciado equidistantemente de los electrodos contiguos.
15. El elemento de memoria a nanoescala de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14 en el que dicho activador es una fuente de radiación electromagnética que produce un cambio de estado.
- 60 16. El elemento de memoria a nanoescala de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 15 que comprende además: un detector para identificar el estado de dicho nanomecanismo.
- 65 17. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 16, en el que dicho detector incluye un dispositivo para aplicar un campo eléctrico que se dispone en la proximidad de dicho nanomecanismo.

ES 2 264 928 T3

18. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 17, en el que dicho dispositivo es un electrodo conectado en un primer terminal a dicho nanomecanismo y en un segundo terminal a una fuente de alimentación.

5 19. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 17, en el que dicho dispositivo incluye una pluralidad de electrodos conectados en un primer terminal a dicho nanomecanismo y en un segundo terminal a una fuente de alimentación.

10 20. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 19, en el que dicha pluralidad de electrodos incluye un primer electrodo (26) conectado a dicho nanomecanismo en un primer terminal (22) y un segundo electrodo (26A) conectado a dicho nanomecanismo en un segundo terminal (24).

21. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 20, en el que al menos un electrodo (26B) adicional está conectado a dicho nanomecanismo entre dichos primero y segundo electrodos.

15 22. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 21, en el que cada uno de dichos electrodos está espaciado equidistantemente de los electrodos contiguos.

20 23. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 22, en el que el electrodo central y al menos uno de los demás electrodos se utilizan para medir resistencias eléctricas.

24. El elemento de memoria a nanoescala de la reivindicación 22, en el que se utiliza un circuito para leer la resistencia eléctrica y con ello determinar el estado del elemento de memoria a nanoescala.

25 25. El elemento de memoria a nanoescala de una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 24, en el que la localización de la nanoestructura está determinada por la polaridad eléctrica del elemento de memoria a nanoescala.

26. Un dispositivo de memoria a nanoescala que comprende:

30 un elemento (30) de memoria a nanoescala de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 16 a 25, y

un circuito (44) para monitorizar un cambio de estado de dicho elemento de memoria a nanoescala.

35 27. El dispositivo de memoria a nanoescala de la reivindicación 26 en el que la resistencia eléctrica del elemento de memoria a nanoescala varía debido a la localización de la nanoestructura respecto de las secciones conductora (28) y no conductora (28A) del nanoconjunto (14).

28. El dispositivo de memoria a nanoescala de la reivindicación 27 en el que la variación de la resistencia eléctrica se utiliza para detectar el estado del elemento de memoria a nanoescala.

40 29. El dispositivo de memoria a nanoescala de una cualquiera de las reivindicaciones 26 a 28, en el que el estado del elemento de memoria a nanoescala se puede rehabilitar a un estado preexistente.

45 30. El dispositivo de memoria a nanoescala de una cualquiera de las reivindicaciones 26 a 29, que comprende además una serie de elementos de memoria a nanoescala de manera tal que se puede almacenar al menos un bit de información.

31. El dispositivo de memoria a nanoescala de la reivindicación 30, en el que dicha serie incluye electrodos conductores que se usan para direccionar las unidades de información, bien individualmente o en grupos.

50 32. El dispositivo de memoria a nanoescala de la reivindicación 31, en el que dichas electrodos conductores de la serie de electrodos están formados de al menos un material seleccionado del grupo constituido por metales, polisilicio y nanotubos conductores.

55 33. El dispositivo de memoria a nanoescala de la reivindicación 31 o 32, en el que una función de dicha serie de electrodos conductores es conducir señales eléctricas que hacen que se produzca un cambio de estado en dichos nanomecanismos.

60 34. El dispositivo de memoria a nanoescala de una cualquiera de las reivindicaciones 31 a 33, en el que una función de dicha serie de electrodos conductores es conducir señales eléctricas que permiten determinar el estado del dispositivo.

35. El dispositivo de memoria a nanoescala de una cualquiera de las reivindicaciones 31 a 34, en el que dicha serie de electrodos conductores transmiten información a un ordenador para su análisis.

65 36. El dispositivo de memoria a nanoescala de una cualquiera de las reivindicaciones 31 a 35, en el que el número de electrodos conductores de la serie necesario es prácticamente proporcional a la raíz cuadrada del número de bits almacenados.

ES 2 264 928 T3

37. El dispositivo de memoria a nanoescala de una cualquiera de las reivindicaciones 26 a 36, en el que dicho dispositivo se puede usar como tarjeta de memoria de alta densidad.

5 38. El dispositivo de memoria a nanoescala de una cualquiera de las reivindicaciones 26 a 37, en el que dicho dispositivo se puede utilizar en un aparato de litografía.

10

15

20

25

30

35

40

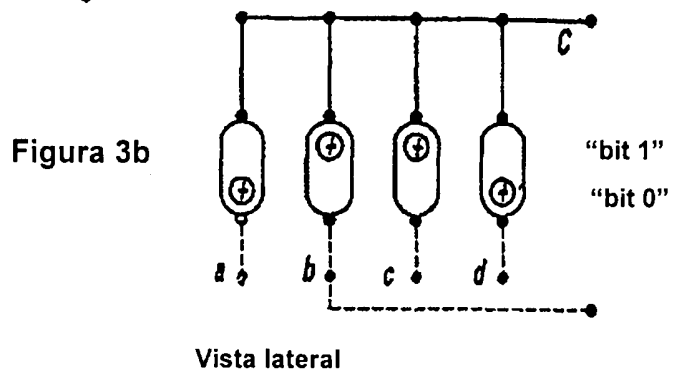
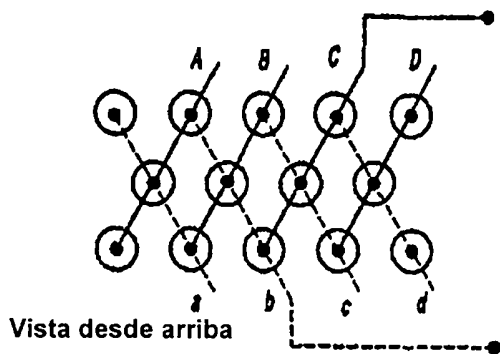
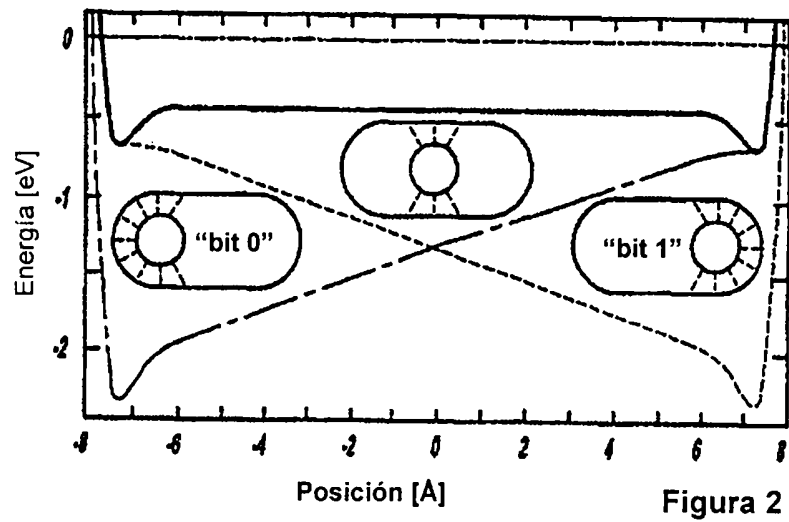
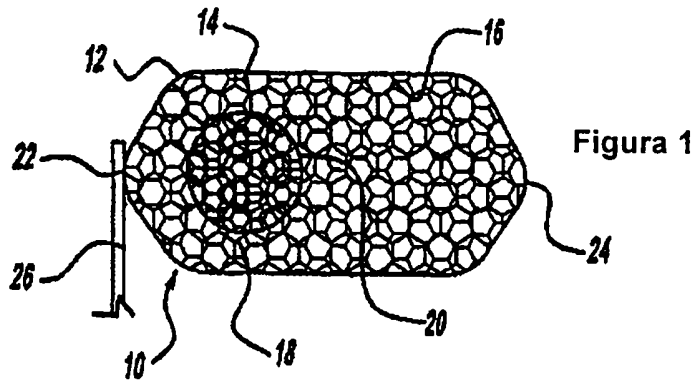
45

50

55

60

65



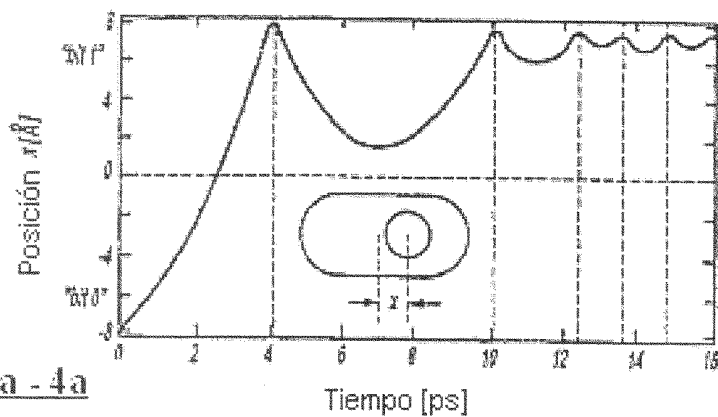


Figura - 4a

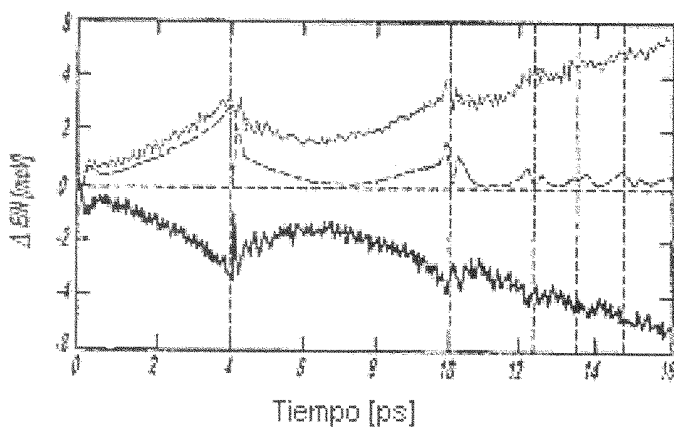


Figura - 4b

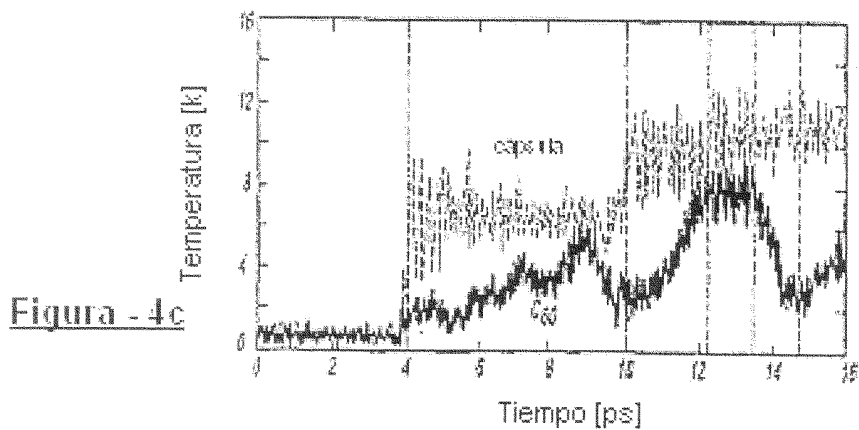


Figura - 4c

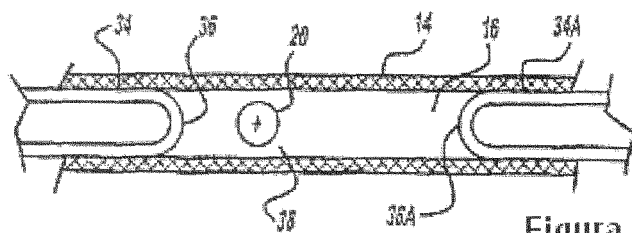


Figura - 5

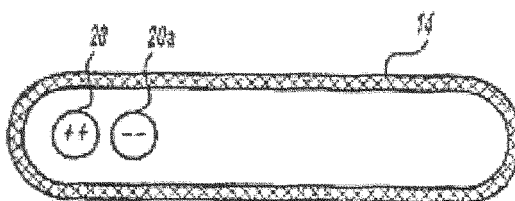


Figura - 6

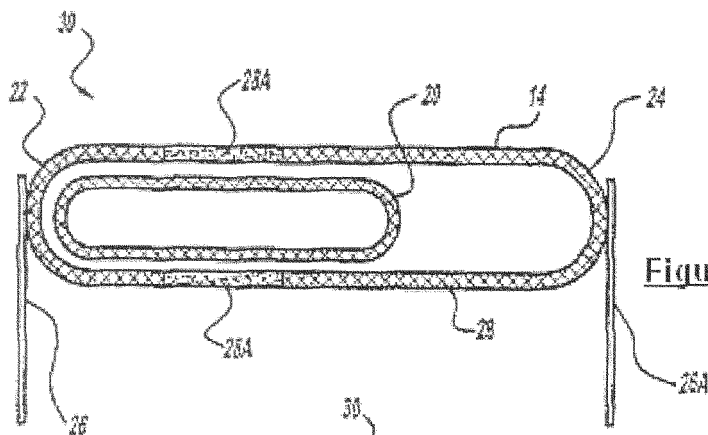


Figura - 7

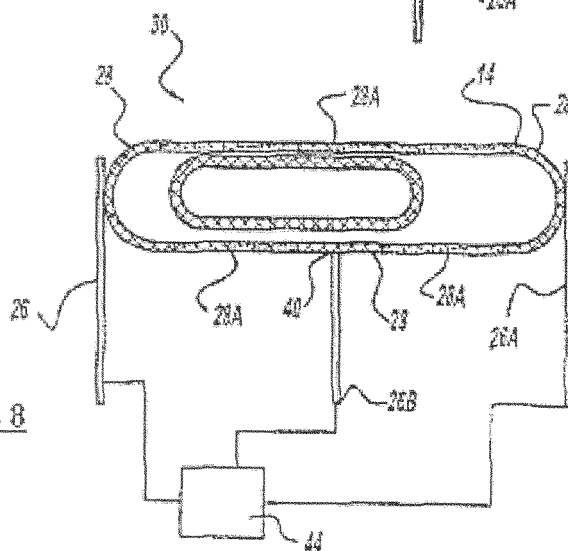


Figura - 8

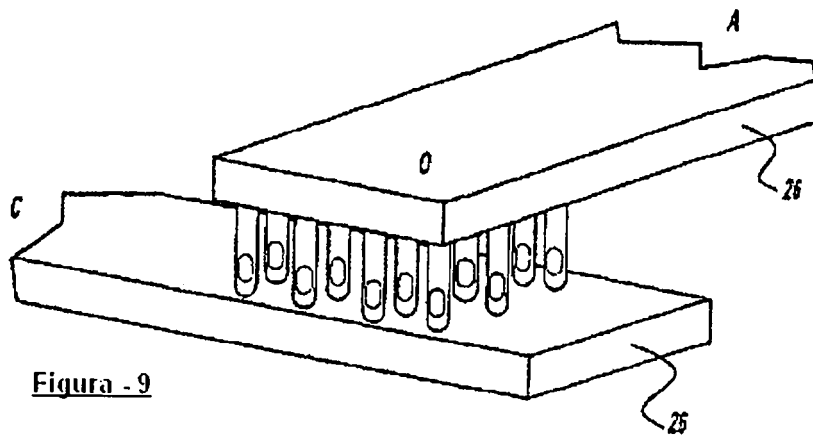


Figura - 9

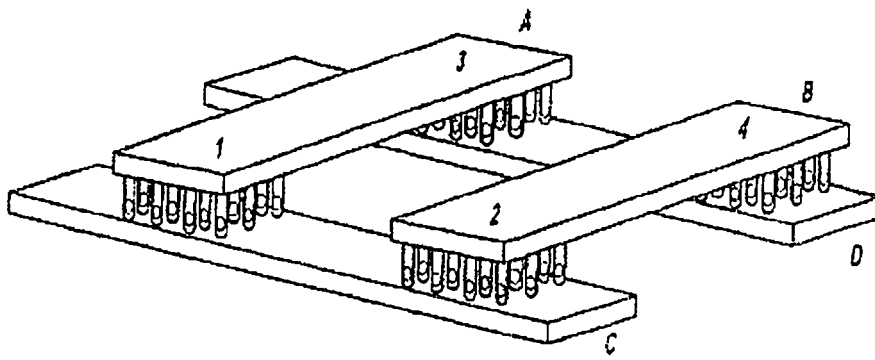


Figura - 10

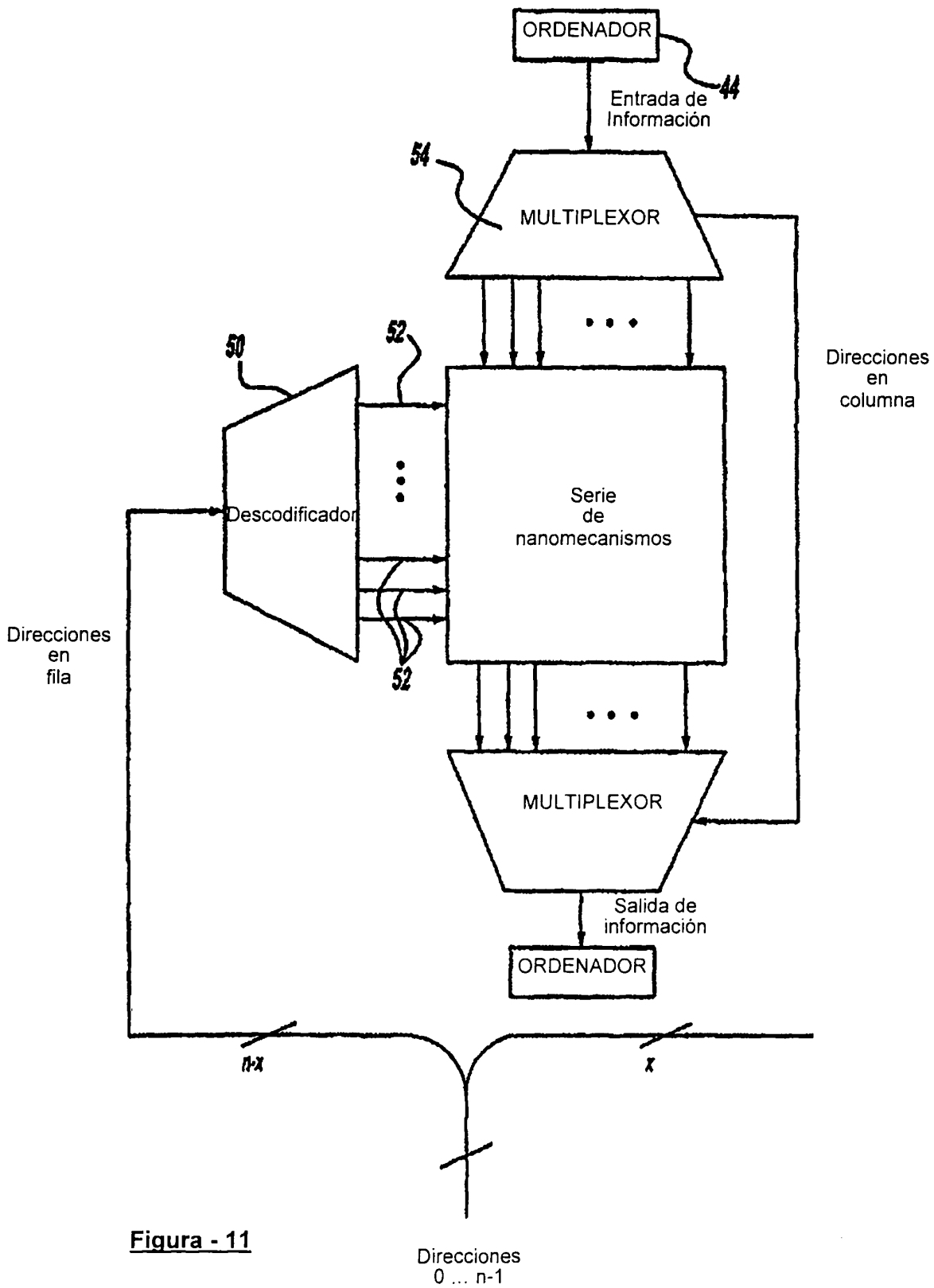


Figura - 11

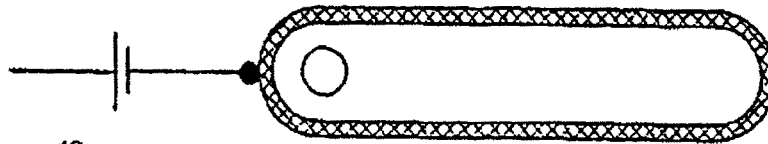


Figura - 12

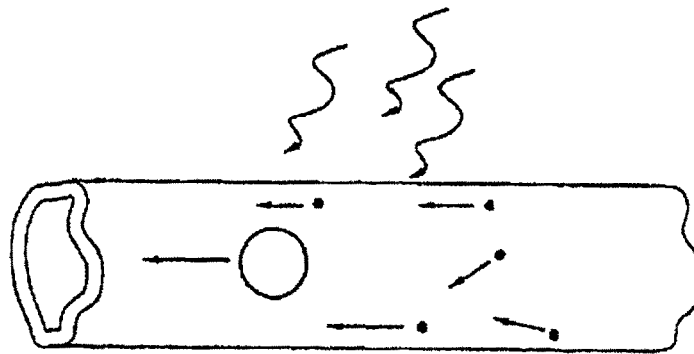


Figura - 13

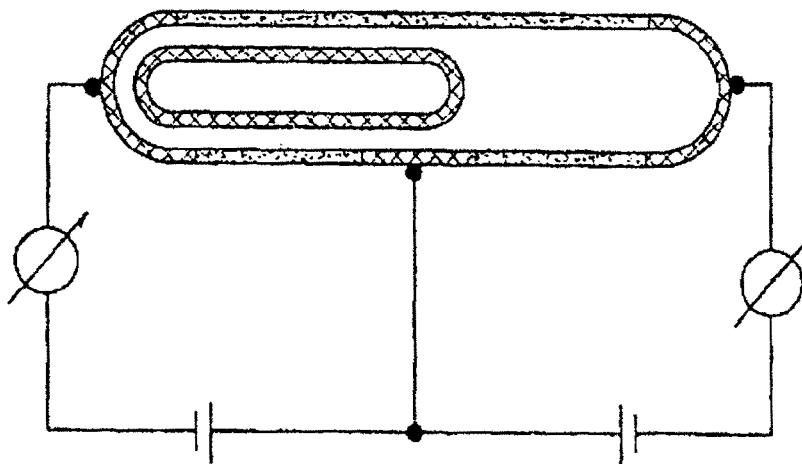


Figura - 14

