



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 289 136**

(51) Int. Cl.:

**H01L 43/08** (2006.01)

**H01L 21/8246** (2006.01)

**H01L 27/22** (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **02761855 .2**

(86) Fecha de presentación : **14.02.2002**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1364417**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **26.11.2003**

(54)

Título: **Protectores para electrodos de memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM).**

(30)

Prioridad: **28.02.2001 US 796326**

(73)

Titular/es: **MICRON TECHNOLOGY, Inc.**  
**8000 South Federal Way, P.O. Box 6**  
**Boise, Idaho 83707-0006, US**

(45)

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.02.2008**

(72)

Inventor/es: **Tuttle, Mark, E.**

(45)

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.02.2008**

(74)

Agente: **Urizar Anasagasti, José Antonio**

ES 2 289 136 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**

Protectores para electrodos de memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM).

**5 Antecedentes de la invención****Campo de la invención**

10 Esta invención en general está dirigida a dispositivos magnéticos de memoria para almacenar información digital y, más particularmente, a los métodos y las estructuras para confinar los campos magnéticos producidos por estos dispositivos.

**Descripción de la técnica relacionada**

15 La memoria digital más comúnmente usada en computadoras y componentes del sistema de cómputo es la memoria de acceso aleatorio dinámica (DRAM, por sus siglas en inglés, Dynamic Random Access Memory), en donde el voltaje almacenado en capacitores representa bits digitales de información. La energía eléctrica debe ser suministrada a estas memorias para mantener la información porque, sin ciclos frecuentes de actualización, la carga almacenada en los capacitores se disipa, y la información se pierde. Las memorias que requieren energía constante son conocidas como  
20 memorias volátiles.

Las memorias no volátiles no necesitan ciclos de actualización para conservar su información almacenada, así es que consumen menos energía que las memorias volátiles. Hay muchas aplicaciones donde las memorias no volátiles son preferidas o precisadas, como en teléfonos móviles o en sistemas de control de coches.

25 Las memorias magnéticas de acceso aleatorio (MRAM, por sus siglas en inglés, Magnetic Random Access Memories) son memorias no volátiles. Los bits digitales de información se almacenan como direcciones alternativas de magnetización en una celda o elemento de almacenamiento magnético. Los elementos de memoria pueden ser simples, películas ferromagnéticas delgadas o estructuras de película delgada por capas más complejas, como elementos de túnel magneto-resistentes (TMR, por sus siglas en inglés, Tunneling Magneto-Resistance) o elementos gigantes  
30 magneto-resistentes (GMR por sus siglas en inglés, Giant Magneto-Resistance).

Las estructuras de series de memorias generalmente se forman por un primer conjunto de líneas conductivas paralelas cubiertas de una capa aislante, sobre el cual yace un segundo conjunto de líneas conductivas paralelas, perpendicular a las primeras líneas. Cualquiera de estos conjuntos de líneas conductivas puede constituir las líneas de bits y el otro las líneas de palabras. En la configuración más simple, las celdas de almacenamiento magnético son empareadas entre las líneas de bits y las líneas de palabras en sus intersecciones. Estructuras más complicadas con configuraciones de transistores o diodos también pueden ser usadas. Cuando la corriente fluye a través de una línea de bits o una  
35 línea de palabras, genera un campo magnético alrededor de la línea. Las series son diseñadas a fin de que cada línea conductiva suministre sólo parte del campo necesario para revertir la magnetización de las celdas de almacenamiento. La alternación ocurre sólo en esas intersecciones donde ambas, la línea de palabras y la línea de bits llevan corriente. Ninguna línea por sí sola puede cambiar un bit; sólo esas celdas direccionadas por ambas líneas de palabras y de bits pueden ser cambiadas.

45 Las series de memoria magnética pueden ser fabricadas como parte de circuitos integrados (ICs, por sus siglas en inglés Integrated Circuits) usando tecnología de películas delgadas. Como con cualquier dispositivo de circuito integrado, es importante usar tan poco espacio como sea posible. Pero a medida que la densidad de empaque es incrementada, hay que considerar algunos intercambios. Cuando el tamaño de una celda de memoria es reducido, el campo magnético precisado para escribir en la celda es incrementado, haciendo que sea más difícil escribir el bit. Cuando el ancho y el espesor de las líneas de bits y de las líneas de palabras son reducidos, hay mayor densidad  
50 de corriente, lo cual puede causar problemas de electromigración en los conductores. Adicionalmente, al ubicar más cercanas las líneas conductoras, es aumentada la posibilidad de cruce de información entre una línea de conducción y una celda adyacente a la celda direccionada. Si esto ocurre repetidamente, entonces el campo magnético almacenado de la celda adyacente es erosionado a través de la introducción magnética de dominio, y la información en la celda puede quedar ilegible.

55 Para evitar afectar celdas adyacentes a las direccionadas, los campos asociados con las líneas de bit y de palabra deben estar fuertemente localizados. Algunos esquemas para localizar campos magnéticos proviniendo de líneas conductoras han sido enseñados en la técnica anterior.

60 En la patente USA No. 5.039.655, Pisharody enseñó un método para proteger magnéticamente las líneas conductoras en una memoria magnética de serie de película delgada en tres lados con una película superconductora. A ó cerca de la temperatura del nitrógeno líquido (esto es, debajo de la temperatura de transición superconductora), los materiales superconductores exhiben el efecto Meissner, en el cual los conductores perfectos no pueden ser permeados por un campo magnético aplicado. Mientras esto es efectivo en impedir que el flujo magnético de la línea conductiva alcance celdas adyacentes, su utilidad está limitada a esas aplicaciones donde pueden ser mantenidas temperaturas muy  
65 bajas.

En la patente USA No. 5.956.267, referida en la presente solicitud como la patente '267, Hurst *et al.* enseñaron un método para localizar el flujo magnético de un electrodo de fondo de una memoria magneto-resistente mediante el uso de un protector magnético. Una pila a capas comprendiendo capa de barrera / capa de material magnético suave / capa de barrera fue dispuesta como un revestimiento parcial o completo a lo largo de una zanja damasquinada en una capa aislante. El material conductor fue depositado sobre el revestimiento para rellenar la zanja. El material conductor y las capas de revestimiento excedentes que estaban en, o extendidos por, encima de la capa aislante fueron eliminados mediante pulido. Por lo tanto, el material protector bordeó las superficies de fondo y laterales del conductor de fondo, dejando la superficie superior del conductor, orientada en dirección al bit, libre del material protector.

El proceso de la patente '267 ayuda a confinar el campo magnético de la celda y evitar el cruce de información entre bits. Sin embargo, existe la necesidad de otras mejoras para disminuir la corriente de escritura para un campo magnético dado. Al bajar la corriente requerida para escribir a una celda dada, la fiabilidad de la celda es mejorada.

WO 00/10172 revela una serie de celdas de almacenamiento teniendo una primera y una segunda línea, en cuyo punto de cruce es dispuesto un elemento de almacenamiento con efecto magneto-resistente. Una yunta es provista, rodeando una de las líneas y conteniendo material magnetizable con una permeabilidad de al menos 10. La yunta es dispuesta de tal manera que un flujo magnético sea sustancialmente cerrado a través del elemento de almacenamiento.

USA 5 940 319 revela un dispositivo MRAM con elementos de memoria magnética y sistema de circuitos para controlar los elementos de memoria magnética. El sistema de circuitos incluye un transistor integrado en un sustrato y acoplado a un elemento de memoria magnética en el sistema de circuitos a través de un conductor de enchufe y una línea conductora. El sistema de circuitos es fabricado primero bajo el proceso de CMOS, y luego de elementos de memoria magnética. La línea de dígitos y la línea de bits son ubicadas bajo y encima del elemento de memoria magnética, respectivamente, y habilitadas para acceder al elemento de memoria magnética. Estas líneas son cubiertas por una capa de alta permeabilidad excluyendo una superficie en dirección del elemento de memoria magnética, lo cual protege y enfoca un campo magnético hacia el elemento de memoria magnética.

JP 2000 090658 revela un elemento de memoria magnética que comprende un sustrato y una película de efecto magneto-resistente formada por encima del sustrato. La película de efecto magneto-resistente incluye una primera capa magnética y una segunda capa magnética separadas por una capa no magnética. Un campo magnético es aplicado a la primera capa magnética para establecer la dirección magnetizante de la primera capa magnética para escribir / grabar información. Una capa ferromagnética de control de flujo es proporcionada para concentrar el flujo del campo magnético aplicado a la primera capa magnética.

WO 02/41367 revela una estructura de línea de bit de revestimiento magnético autoalineado para un elemento de memoria magneto-resistente y su método de formación es revelado, en donde la estructura de línea de bit de revestimiento magnético auto-alineado se extiende dentro de una zanja e incluye unas paredes laterales de revestimiento magnético y materiales conductivos y un magnético e incluye unas paredes laterales de revestimiento magnético y materiales conductivos y una cubierta de revestimiento magnético. Las paredes laterales de revestimiento magnético al menos rodean parcialmente el material conductor y la cubierta de revestimiento magnético es por lo menos sustancialmente empotrada dentro de la zanja con relación a la parte superior de la zanja.

## Sumario de la invención

La invención proporciona un método y aparato como se define en las reivindicaciones independientes.

De conformidad con un aspecto de la invención, una serie de memorias magnéticas es proporcionada. La serie incluye una serie de electrodos superiores en zanjas damasquinadas en donde cada electrodo superior está en contacto con un protector magnético superior en al menos una superficie exterior de cada electrodo superior, una serie de electrodos inferiores organizados perpendicularmente a los electrodos superiores, y regiones de bits sensitivas a campos magnéticos y ubicadas entre los electrodos superiores y los electrodos inferiores en las intersecciones de los electrodos superiores y los electrodos inferiores. Las regiones de bits pueden incluir estructuras multicapas de túnel magneto-resistentes (TMR) o gigantes magneto-resistentes (GMR).

De conformidad con otro aspecto de la invención, un dispositivo de memoria magnética es proporcionado en un circuito integrado. El dispositivo incluye un electrodo inferior sobre un sustrato semiconductor, una región de bits sensitiva a campos magnéticos sobre el electrodo inferior y un electrodo superior en una zanja damasquinada en una capa aislante. El electrodo superior tiene una superficie inferior orientada en dirección a la región de bits, una superficie superior orientada en dirección contraria de la región de bits y dos superficies laterales orientadas en dirección contraria de la región de bits. El dispositivo también incluye a un protector magnético en contacto con al menos una superficie del electrodo superior.

De conformidad con otro aspecto de la invención, es proporcionado un protector magnético para un conductor superior de un dispositivo de memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM). El protector magnético comprende una capa magnética que se extiende a lo largo de las paredes laterales del conductor superior. Hay una capa de barrera entre la capa magnética y la capa aislante circundante. La capa de barrera también interviene entre un borde inferior de la capa magnética y el elemento de almacenamiento magnético subyacente. En algunas realizaciones, el conductor

## ES 2 289 136 T3

superior es una línea conductiva de palabra en una zanja damasquinada y es hecha de cobre. La capa de barrera puede formarse de tantalio, y la capa magnética puede formarse de hierro-cobalto.

De conformidad con aún otro aspecto de la invención, un conductor superior es proporcionado en una zanja en una capa aislante sobre un dispositivo de memoria magnética. Como parte del conductor superior, una capa de revestimiento de material magnético es proporcionada a lo largo de cada pared lateral de la zanja entre el material conductivo y la capa aislante. La superficie superior de la capa de revestimiento se inclina hacia abajo desde donde encuentra la capa aislante hacia donde encuentra el material conductivo.

En una realización, el conductor superior también incluye una primera capa de barrera entre la capa de revestimiento de material magnético y cada pared lateral de la zanja. La superficie superior de la primera capa de barrera se inclina hacia abajo desde donde encuentra la capa aislante hacia donde encuentra la capa magnética de revestimiento. En otro aspecto, el conductor superior también incluye una segunda capa de barrera entre la capa de revestimiento de material magnético y el material conductivo. La superficie superior de la segunda capa de barrera se inclina hacia abajo desde donde encuentra la capa magnética de revestimiento hacia donde encuentra el material conductivo.

En aún otro aspecto de la invención, el conductor superior también incluye una capa superior de material magnético a través de la superficie superior del material conductivo y en contacto con las capas de revestimiento de material magnético a lo largo de las paredes laterales de la zanja. Adicionalmente, puede haber una capa de barrera superior sobre al menos una porción central de la capa superior de material magnético.

Una realización según la invención es un método para formar un protector magnético para un electrodo superior en un dispositivo de memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM). El método incluye a depositar una capa aislante sobre un elemento de almacenamiento magnético, grabar una zanja damasquinada en la capa aislante sobre el elemento de almacenamiento magnético, rellenar la zanja de un material conductivo, como el cobre, aplanar para eliminar el material conductivo sobre la capa aislante y dejar el material conductivo dentro de la zanja, y depositar un material magnético sobre el material conductivo después del aplanado. Una realización del proceso además incluye formar un nicho en una superficie superior de la capa conductiva después de aplanar el material conductivo, pero antes de depositar los materiales apilados. El nicho puede formarse por un proceso selectivo de grabado. El método puede además incluir el formar una capa de barrera inicial como un revestimiento de zanja después de grabar la zanja damasquinada y antes de rellenar la zanja de material conductivo. El método puede además incluir el formar una capa de material magnético y luego formar una capa de barrera superior sobre la capa de barrera inicial como un revestimiento completo de la zanja.

Otra realización según la invención es un método para formar un protector magnético para un electrodo superior en una memoria de acceso aleatorio magnética (MRAM). El método incluye depositar una capa aislante sobre un elemento de almacenamiento magnético, grabar una zanja damasquinada en la capa aislante sobre el elemento de almacenamiento magnético, revestir la zanja con un material magnético, eliminando selectivamente el material magnético de un fondo de la zanja, y llenando la zanja de un material conductivo. El revestimiento de la zanja puede además incluir el formar una primera capa de revestimiento de barrera antes de revestir la zanja con el material magnético, y formar una segunda capa de revestimiento de barrera después de revestir la zanja con el material magnético. Una realización de la invención además incluye depositar materiales apilados de una primera capa de barrera, una capa magnética y una segunda capa de barrera encima de una superficie superior del material conductivo.

Una realización según la invención además incluye el revestimiento el fondo y las paredes laterales de la zanja con una primera capa de barrera antes del revestimiento del fondo y las paredes laterales de la zanja con el material magnético, revistiendo el fondo y las paredes laterales de la zanja con una segunda capa de barrera después de revestir el fondo y las paredes laterales de la zanja con el material magnético, y antes de revestir la zanja con un material conductivo, eliminar selectivamente la primera capa de barrera, el material magnético, y la segunda capa de barrera del fondo de la zanja y de una superficie superior de la capa aislante de modo que no haya sustancialmente ningún material magnético en el fondo de la zanja y de modo que la superficie superior de la capa aislante sea sustancialmente plana.

Una realización según la invención además incluye revestir el fondo y las paredes laterales de la zanja con una primera capa de barrera antes de revestir el fondo y las paredes laterales de la zanja con el material magnético, antes de rellenar la zanja con un material conductivo, eliminando selectivamente la primera capa de barrera y el material magnético del fondo de la zanja y de una superficie superior de la capa aislante de modo que allí no haya sustancialmente material magnético en el fondo de la zanja y de modo que la superficie superior de la capa aislante sea sustancialmente plana, grabando selectivamente un nicho en una superficie superior del material conductivo que llena la zanja de modo que el nicho esté debajo de un nivel plano de la superficie superior de la capa aislante, depositando una segunda capa de barrera en la superficie superior de la capa aislante y en el nicho en la superficie superior del material conductivo, depositando el material magnético en la segunda capa de barrera, aplanando sobre la capa aislante para eliminar la segunda capa de barrera y el material magnético de la superficie superior de la capa aislante.

### Breve descripción de las figuras

El objetivo de las figuras es ayudar a ilustrar, pero no limitan, la invención y no son dibujadas a escala. La realización ilustrada tiene líneas de bit en los fondos de las figuras y tiene líneas de palabra en los toques de las figuras. El

experto en la técnica tendrá por entendido que hay muchas otras configuraciones posibles de estructuras MRAM, lo cual puede aprovecharse de las enseñanzas establecidas en lo adelante en esta invención.

La figura 1A es una sección transversal de una estructura MRAM fabricada parcialmente que muestra el electrodo inferior, la región de bits y la capa de aislamiento que yace encima antes de que el electrodo superior sea fabricado.

La figura 1B ilustra la estructura MRAM parcialmente fabricada de la figura 1A después de que una zanja damasquinada ha sido grabada en la capa aislante.

La figura 2 es una sección transversal que muestra la zanja damasquinada de la figura 1B revestida con un material de barrera y rellenada de cobre.

La figura 3A es una sección transversal que muestra una capa de manto, que comprende una pila de materiales de barrera / magnético / de barrera, depositados sobre la estructura de la figura 2, de conformidad con una primera realización de la presente invención.

La figura 3B muestra la estructura de la figura 3A después del modelado y grabado para dejar la pila de material de barrera y magnético por encima y ligeramente más ancha que la línea en la cual es formado el electrodo superior.

La figura 4A ilustra la estructura de la figura 2 después de que el material conductor del electrodo superior ha sido grabado para crear un nicho en el electrodo superior, de conformidad con una segunda realización de la presente invención.

La figura 4B muestra la estructura de la figura 4A después de que una capa de manto, que comprende una pila de materiales de barrera / magnético / de barrera, ha sido depositada sobre el electrodo superior ahuecado con el nicho.

La figura 4C ilustra la estructura de la figura 4B después del aplanado.

La figura 5A ilustra la estructura de la figura 1B después de que una pila de materiales de barrera / magnético / de barrera ha sido depositada para revestir la zanja damasquinada, de conformidad con una tercera realización de la presente invención.

La figura 5B muestra la estructura de la figura 5A después de que un grabado espaciador ha quitado las porciones horizontales de la pila de materiales depositada.

La figura 5C es una sección transversal de la estructura de la figura 5B después de que una capa de manto conductiva ha sido depositada para rellenar la zanja.

La figura 5D muestra la estructura de la figura 5C después del aplanado de la capa conductiva.

La figura 6A ilustra la estructura de la figura 1B después de que la barrera y los materiales magnéticos han sido depositados para revestir la zanja damasquinada, de conformidad con una cuarta realización de la presente invención.

La figura 6B es una sección transversal de una estructura MRAM parcialmente fabricada, en donde el material conductor ha sido selectivamente ahuecado, de conformidad con una cuarta realización de la presente invención.

La figura 6C es una sección transversal que muestra la estructura de la figura 6B después de que una capa de manto, comprendiendo una capa de material magnético y una capa de barrera, ha sido depositada sobre el material conductor ahuecado y la capa aislante.

La figura 6D es una sección transversal que muestra la estructura de la figura 6C después de aplanar para eliminar la pila de materiales de barrera y magnético sobre la capa aislante.

## Descripción detallada de la realización preferente

Aunque el aluminio es usado comúnmente como conductor en dispositivos semiconductores, el aluminio presenta dificultad para alcanzar los altos requisitos de corriente eléctrica de los dispositivos magnéticos de memoria sin sufrir daños debido a la electromigración. El cobre es más adecuado para aplicaciones de altas corrientes dado que es más resistente a la electromigración. Mientras que las líneas de aluminio pueden ser fabricadas modelando con grabado seco y fotorresistente, el cobre es difícil de ser grabado en seco. Las líneas de cobre son por lo tanto preferentemente fabricadas por un proceso de damasquinado. Las zanjas se forman en una capa aislante, una capa de cobre es depositada para rellenar la zanja y el cobre excedente es eliminado puliendo la superficie de la capa aislante.

Como fue discutido anteriormente, la patente '267 proporciona estructuras magnéticas para el fondo de los electrodos, fabricadas mediante un proceso de damasquinado. Las realizaciones preferentes descritas en esta proporcionan estructuras magnéticas, en configuraciones diversas, para electrodos superiores hechas mediante un proceso de damasquinado en dispositivos magnéticos integrados de memoria. El proceso de la patente '267, sin embargo, no sirve para formar estructuras para un electrodo superior.

## ES 2 289 136 T3

Las realizaciones preferentes de la invención pueden ser comprendidas con referencia a las figuras. Aunque sólo son mostradas estructuras individuales de memoria magnética en las figuras, se tendrá por entendido que las celdas individuales ilustradas son representativas de estructuras similares que están repetidas a través de una serie de memorias. Las figuras 1A y 1B muestran, en sección transversal, una celda MRAM parcialmente fabricada que será utilizada como punto de partida para describir las realizaciones contenidas en la presente solicitud.

La celda de almacenamiento incluye una estructura de electrodo inferior 10, la cual incluye además una línea inferior de conducción 12 que se extiende de lado a lado de la página y está hecha, preferentemente, de cobre. La estructura de electrodo inferior 10 típicamente cubre sustrato semiconductor (no mostrado). Una capa de barrera 14 preferentemente encapsula la línea de cobre en todos los cuatro lados a lo largo de su extensión. La capa de barrera 14 puede incluir un material, como tantalio (Ta), que impide la difusión de cobre y es compatible con la manufactura de circuito integrado. En esta vista de corte trasversal, la línea de cobre está cortada cerca del centro a lo largo de su eje largo, de modo que solamente las porciones de la capa de barrera que revisten la línea inferior de conducción 12 a lo largo de una superficie superior 18 y una superficie inferior 20 puedan ser vistas. El revestimiento a lo largo de un lado de la línea está por encima del plano de la página, y el revestimiento a lo largo del otro lado de la línea está debajo del plano de la página. En una realización preferente (y según el técnica anterior), la superficie superior 18 de la línea inferior de conducción 12 está cubierta de solo una capa de barrera 14, pero la superficie inferior 20 y las dos superficies laterales están adicionalmente revestidas por una estructura de emparedado que comprende capa de barrera / material magnético suave / capa de barrera, la cual sirve como protector magnético para la línea inferior de conducción 12, de conformidad con las enseñanzas de la patente '267. Un "protector magnético", como el usado en esta, incluye al menos una capa de material magnético; en las realizaciones preferentes el protector magnético también incluye una o dos capas de barrera. No hay preferentemente ningún material magnético en la superficie superior de la línea inferior de conducción 12 que esté orientado en dirección de una celda de almacenamiento magnético o bit 24 revestida con una capa de barrera 28 y formada en una capa aislante 26. El material magnético entre la línea inferior de conducción 12 y el bit 24 interferirían con el campo magnético desde la línea inferior de conducción 12 actuando sobre el bit 24.

En las figuras 1A y 1B, así como también las realizaciones discutidas más adelante, el electrodo inferior es formado a lo largo de la línea inferior de conducción 12, que sirve de línea de bits en las configuraciones ilustradas de circuito "punto de cruce". En otras configuraciones, el experto en la técnica fácilmente apreciará que la línea de bits puede ser formada por encima del elemento bit y de la línea de palabra de abajo, y que el bit también puede ser adjuntado a un transistor o diodo.

El bit 24 puede ser cualquier estructura magnética que almacena bits de información definidos por la dirección o la polaridad de magnetización, incluyendo películas ferromagnéticas delgadas o estructuras magnéticas por capas de película delgada más complejas, como elementos de túnel magneto-resistentes (TMR) o gigantes magneto-resistentes (GMR).

La celda de almacenamiento magnético preferente es una estructura TMR. La estructura TMR ilustrada incluye una primera capa ferromagnética 30 seguida por una capa aislante 32 y una segunda capa ferromagnética 34. Una estructura TMR bien conocida y ejemplar incluye, dentro de la primera capa ferro-magnético 30, una serie de subcapas que comprenden Ta / Ni-Fe / Fe-Mn / Ni-Fe. La capa aislante 32 de la realización ilustrada incluye óxido de aluminio, preferentemente en un espesor entre aproximadamente 0.5 nanómetros y 2.5 nanómetros. La segunda capa ferromagnética 34 preferentemente incluye subcapas, Ni-Fe / Ta. Como se muestra en la figura 1B, la capa de barrera 28 preferentemente cubre la segunda capa ferromagnética 34.

La pila TMR puede ser formada mediante cualquier método adecuado, pero preferentemente se forma como una pila de capas de manto y luego modelada en una pluralidad de celdas para la serie. La capa aislante 26, preferentemente nitrito de silicio o una forma de óxido de silicio, es entonces depositada sobre esta y pulida (por ejemplo, mediante aplanado químico mecánico) para exponer la superficie superior de la pila TMR. Otra capa aislante 36, que típicamente comprende una forma de óxido de silicio, es depositada sobre la capa aislante 26 y el bit 24. Alternativamente, una capa aislante solo puede tomar el lugar de las dos capas ilustradas 26, 36.

Con referencia a la figura 1B, una zanja 38 es grabada en la capa aislante 36 como un primer paso al usar el proceso de damasquinado para formar el electrodo superior, o línea de palabra, para el bit 24. Como es dibujada en la figura 1B, la zanja 38, que contendrá la línea de palabra, se desplaza hacia dentro y fuera de la página, perpendicular a la estructura de electrodo inferior 10, y por lo tanto atraviesa varias celdas en el serie. En la ilustración de la figura 1B, el fondo de la zanja 38 es mostrado en contacto con la capa de barrera 28 en la superficie superior del bit 24 como una realización preferente.

En otra configuración, la zanja puede ser un poco menos profunda, dejando una porción delgada de la capa aislante de óxido de silicio entre el fondo de la zanja y la parte superior de la celda magnética.

Una MRAM, fabricada con un electrodo superior 40 sin protector magnético, es mostrada en la figura 2. La estructura de electrodo inferior 10 está preferentemente revestida con al menos una capa de barrera y, más preferentemente, con la estructura de protector magnético descrita arriba con referencia a la figura 1A. Usando la figura 1B como un punto de partida, la zanja grabada 38 preferentemente tiene una profundidad de alrededor de 100 a 300 nanómetros y es de cerca de 200 nanómetros en las realizaciones ilustradas. La anchura de la zanja 38 es preferentemente de alrededor

de 100 a 300 nanómetros, y es de cerca de 200 nanómetros en las realizaciones ilustradas. Una capa de barrera 42 es depositada para bordear la zanja 38. El material preferido de barrera es tantalio, aunque cualquier material conductivo que sea una buena barrera de difusión para limitar el cobre es adecuado. El espesor de la capa de barrera es preferentemente de alrededor de 1 a 20 nanómetros, más preferentemente de alrededor de 2 a 10 nanómetros y es de cerca de 5 nanómetros en las realizaciones ilustradas. Un material relativamente conductivo 44 es depositado para rellenar la zanja 38 y formar el electrodo superior 40 (a lo largo de una línea de palabra, en la configuración ilustrada). El material preferido es el cobre, pero otros materiales conductivos como el aluminio, el oro o la plata también pueden ser usados. El cobre puede ser depositado en un proceso de dos pasos en donde primero una capa núcleo es depositada mediante deposición física de vapores y luego la zanja es llenada completamente mediante galvanizado. Alternativamente, el cobre puede ser depositado completamente por deposición física de vapores.

En la figura 2, la superficie superior 46 de la capa aislante 36 y una superficie superior 48 del electrodo superior 40 han sido aplanadas para eliminar el material de barrera y conductivo excedente y nivelar la superficie superior 48 del electrodo superior 40 con la superficie superior 46 de la capa aislante 36. En las realizaciones preferentes, el electrodo superior 40 también incluye estructuras de protector magnético que ayudan a confinar campos magnéticos dentro de cada celda a través de la serie. Las realizaciones más adelante utilizan las estructuras de las figuras 1B ó 2 como puntos de partida.

Las realizaciones que siguen tienen estructuras de protector magnético que son multicapas, incluyendo ambas capas de barreras y capas de materiales magnéticos suaves. Aunque ésta es una configuración preferente, debería ser comprendido que la(s) capa(s) de barrera no tiene(n) que estar presente(s) donde la capa de material magnético también sirva de barrera de difusión para el cobre además de servir como protector magnético. Por lo tanto, el término “protector magnético”, como es usado en la presente invención, incluye al menos una capa de material magnético, y preferentemente también incluye una o más capas de barrera. Estructuras alternativas incluyen simplemente una capa de material magnético como el protector magnético o la capa de material magnético y sólo una capa de barrera. La configuración más reciente es mostrada en las figuras desde la 6A a la 6D.

#### *Protector parcial modelado*

Una configuración relativamente simple para un protector magnético para una línea de palabra es mostrada en la primera realización, ilustrada en las figuras 3A y 3B. Esta realización puede ser comprendida usando la figura 2 como un punto de partida. En la realización ilustrada, una pila 50 de capas de manto es depositada sobre la superficie superior aplanada como se muestra en la figura 3A, aunque es posible formar este protector con una capa de manto de material magnético aisladamente. Una primera capa 52 es una capa de barrera. Una segunda capa 54 es un material magnético que es preferentemente un material magnético suave, como el permalloy (Ni-Fe) o el hierro cobalto (Co-Fe). Una tercera capa 56 es otra capa de barrera. Preferentemente, las capas de barrera corresponden a Ta. El espesor de cada capa en la pila es preferentemente de alrededor de 1 a 20 nanómetros, más preferentemente de cerca de 2 a 10 nanómetros y más preferentemente de cerca de 5 nanómetros. Las capas en la pila 50 pueden ser depositadas por cualquier método adecuado. En la realización ilustrada, las capas son formadas por deposición física de vapores todas en la misma herramienta de clusters.

La pila 50 es modelada y grabada usando técnicas estándares de fotolitografía, preferentemente dejando a un protector parcial modelado sobre el área que define la celda de memoria. En otra configuración, el protector es modelado para extenderse a lo largo de la superficie superior del electrodo superior 40 que se desplaza hacia dentro y fuera de la página como se muestra en la sección transversal de la figura 3B. Todavía en otra configuración (y no mostrada), la pila de manto puede ser modelada y grabada para extenderse a lo largo de una serie entera, con aberturas sólo sobre vías (no mostradas) en la capa aislante 36.

La estructura que yace encima es referida en la presente invención como un protector parcial 58 porque no cubre todas las superficies externas del conductor superior o el electrodo superior 40. “Superficies externas”, como las usadas en la presente invención, se refiere a todas las superficies del electrodo superior 40 que no estén orientadas en dirección del bit 24 o la pila TMR en la realización ilustrada.

#### *Protector parcial autoalineado*

La figura 4A muestra el primer paso en la formación de un protector parcial autoalineado desde la estructura superior del electrodo de la figura 2, de conformidad con una segunda realización. Como referencia, son utilizados números para elementos correspondientes a esos de la realización previa. Un nicho 60 es formado en la superficie superior de la línea de conducción 44 por un grabado selectivo, el cual es preferentemente un grabado mediante líquidos. Por ejemplo, una solución de ácido acético glacial y ácido nítrico en una razón 10:1 1 (acético:nítrico) la proporción grabará selectivamente el cobre 44 como es comparado a la capa aislante 36 y a la capa de barrera 42. Para otros materiales, el experto en la técnica fácilmente puede determinar una química selectiva adecuada. La profundidad del nicho 60 está entre cerca de 5 nanómetros y 100 nanómetros, más preferentemente entre alrededor de 10 nanómetros y 30 nanómetros y más preferentemente cerca de 15 nanómetros.

Con referencia a la figura 4B, un material magnético es depositado en el nicho 60. En la realización ilustrada, la pila 50 de capas de manto es depositada sobre el nicho 60 y la superficie superior 46 de la capa aislante 36. La pila 50 ilustrada incluye una primera capa de barrera 52, una capa de material magnético 54 y una segunda capa

de barrera 56. Preferentemente, las capas de barrera 52, 56 corresponden a Ta. La capa magnética preferentemente incluye un material magnético suave, como permalloy (Ni-Fe) y más preferentemente Co-Fe. El espesor de cada capa en la pila es preferentemente de alrededor de 1 a 20 nanómetros, más preferentemente de 2 a 10 nanómetros y más preferentemente de cerca de 5 nanómetros. Las capas en la pila 50 pueden formarse de cualquier manera adecuada pero son preferentemente formadas mediante deposición física de vapores, todas en la misma herramienta de clusters.

Con referencia a la figura 4C, la estructura grabada, preferentemente aplanada, más preferentemente mediante pulido químico-mecánico, que deja una superficie superior plana 62 a ras de la superficie superior 46 de la capa aislante 36. El aplanado deja a un protector parcial autoalineado 64 dentro del nicho 60 sobre el electrodo de arriba o electrodo superior 40.

El protector parcial auto-alineado 64 es referido así porque confina al electrodo superior 40 sin un paso de máscara. El protector es parcial porque cubre sólo una de tres superficies externas posibles del electrodo superior.

#### 15 *Protector espaciador*

Una tercera realización de la presente invención es ilustrada en las figuras de la 5A a la 5D. El punto de partida para esta realización es una MRAM parcialmente fabricada descrita antes con relación a la figura 1B, en donde la zanja 38 para el electrodo superior ha sido grabada. Al menos una capa de material magnético bordea la zanja 38. En la realización ilustrada, la pila 50 de materiales, incluyendo la capa de material magnético 54 así como también los materiales de barrera 52, 56 es depositada en estrecha conformidad sobre la superficie superior 46 y en la zanja 38 como se muestra en la figura 5A. Un espaciador selectivo de grabado es realizado para eliminar las porciones horizontales 66, 68, 70 de la pila 50. El grabado selectivo puede incluir un grabado con un componente físico (sputtering, nombre del proceso en inglés), como fresado por iones de argón o grabado por iones reactivos basado en cloros o basado en flúor, como será apreciado por el experto en la técnica.

La figura 5B muestra las porciones restantes de las capas 52, 54, 56 a lo largo de las paredes laterales 72 de la zanja 38 después de la aplicación del grabado espaciador. Preferentemente, al menos toda la capa de material magnético suave 54 es eliminada del fondo de la zanja 38 antes de proceder, debido a que el material restante puede desestabilizar o puede bloquear la interacción entre el campo magnético de la línea de palabra y el bit 24. Mientras la realización ilustrada muestra toda la pila 50 eliminada de las porciones horizontales, por lo tanto asegurando la eliminación completa de la capa magnética 54 de esas porciones, será comprendido que el grabado espaciador también puede dejar parte de la capa de barrera inferior 52 sobre el bit 24. Un protector espaciador 73 queda revistiendo las paredes laterales 72.

En lo referente a la figura 5C, una capa de material conductivo 74, preferentemente el cobre, es entonces depositado para rellenar la zanja 38.

Con referencia a la figura 5D, el material conductivo 74 es aplanado, preferentemente mediante pulido químico-mecánico, el cual elimina el material conductivo excedente y deja el material conductivo 74 dentro de la zanja 38 con las superficies externas de pared lateral cubiertas por el protector espaciador 73, completando el electrodo superior 40 de la tercera realización. El aplanado deja la superficie superior 48 del electrodo superior 40 a ras de la superficie superior 46 de la capa aislante 36.

#### 45 *Protector Autoalineado*

Un protector autoalineado 88, de conformidad con una cuarta realización, es descrito con referencia a las figuras desde la 6A a la 6D. Esta realización es similar al protector espaciador 73 como fue descrita anteriormente con relación a la figura 5D. La cuarta realización utiliza sólo dos materiales en la estructura del protector magnético. Alternativamente, el protector auto-alineado puede ser hecho con la pila de tres materiales descrita para las realizaciones de arriba, o una única capa puede hacer las funciones de ambas la capa magnética y la capa de barrera. El punto de partida para esta realización es la MRAM parcialmente fabricada descrita anteriormente con relación a la figura 1B, en donde la zanja 38 ha sido grabada para el electrodo superior.

Con referencia a la figura 6A, la capa de barrera 52 y la capa de material magnético 54 son depositadas con buena conformidad sobre la superficie superior 46 de la capa aislante 36 y en la zanja 38. Preferentemente, la capa de barrera 52 corresponde a Ta. La capa magnética preferentemente incluye un material magnético suave, como el permalloy (Ni-Fe). Co-Fe es particularmente preferido para el uso en esta pila de dos capas, por medio de la cual la capa de material magnético 54 directamente contactará con el cobre (vea la figura 6C). Un grabado espaciador y selectivo es realizado para eliminar las porciones horizontales 76, 78, 80 de la capa de barrera 52 y la capa de material magnético 54. El grabado selectivo puede incluir un grabado con un componente físico (sputtering, nombre del proceso en inglés), como fresado con iones de argón o grabado por iones reactivos basados en cloro o basados en flúor, como será apreciado por el experto en la técnica. Preferentemente, al menos toda la capa de material magnético suave 54 es eliminada del fondo de la zanja 38 antes de proceder, debido a que el material restante puede desestabilizar o puede bloquear la interacción entre el campo magnético de la línea de palabras y el bit 24.

La figura 6B muestre las porciones restantes de los materiales 52, 54, a lo largo de las paredes laterales 72 de la zanja después del grabado espaciador y selectivo, así como también los subsiguientes paso de llenado de vía y



de ahuecado, discutidos debajo. Mientras que la realización ilustrada muestra todo el material de las capas 52, 54 eliminado de las porciones horizontales, por lo tanto asegurando la eliminación completa de la capa magnética 54 de esas porciones, será comprendido que el grabado espaciador también puede dejar parte de la capa de barrera 52 sobre el bit 24.

Como se muestra en otras realizaciones, una capa de material conductivo 74, preferentemente cobre, es depositada para rellenar la zanja, y la superficie superior es aplanada, preferentemente por el pulido químico-mecánico. El material conductivo excedente es eliminado, dejando material conductivo 74 dentro de la zanja y de las capas de barrera 52 y magnética 54 a lo largo de las paredes laterales 72. El material conductivo se extiende a lo largo de una zanja hacia dentro y fuera de la página, sirviendo de una línea superior 74, comprendiendo una línea de palabra en la configuración ilustrada.

Un grabado selectivo es realizado para crear un nicho 82 en la parte superior de la línea superior 74 como se muestra en la figura 6B. El grabado es preferentemente realizado por un proceso de grabado mediante líquidos. Por ejemplo, una solución de ácido acético glacial y ácido nítrico en una proporción de 10:1 (acético:nítrico) selectivamente grabará la línea superior 74 como es comparado a la capa aislante 36. Alternativamente el nicho 82 puede ser hecho extendiendo el pulido químico-mecánico previo y usando una química selectiva apropiada con el pulido. Para otros materiales, el experto en la técnica fácilmente puede determinar una química selectiva adecuada.

Con referencia a la figura 6C, al menos un material magnético y preferentemente una segunda serie de materiales de manto, comprendiendo la porción superior del protector magnético para esta realización, es depositado sobre la superficie superior, llenando el nicho 82. Preferentemente, la primera capa 54 es un material magnético suave, como Co-Fe, y la segunda capa 52 es una capa de barrera, como una capa de Ta.

La figura 6D muestra la estructura después del pulido químico-mecánico para eliminar el material protector magnético excedente. La línea superior 74 está revestida a lo largo de tres lados con la capa de material magnético 54 y la capa de barrera 52. Ventajosamente, el material magnético es formado como una capa continua 54 alrededor de los tres lados de la línea superior 74. La superficie del electrodo 84 orientada en dirección al bit 24 no tiene revestimiento de material magnético. Una superficie superior 86 de la estructura es preferentemente alineada con la superficie superior 46 de la capa aislante circundante 36, haciendo más fácil el realizar un procesamiento posterior.

El protector autoalineado 88 es referido así porque esta confinado a la línea superior 74 sin un paso de máscara. Este protector no es llamado parcial porque cubre todas las tres superficies adecuadas para revestimiento del protector magnético.

Será comprendido que la cuarta realización, ilustrada en las figuras de la 6A a la 6D, representa una combinación de las segunda y tercera realizaciones con una modificación para dos materiales en la estructura del protector magnético en lugar de tres. Similarmente, la tercera realización puede ser combinada con la primera realización, por consiguiente también proporcionando material de protección en tres superficies externas del electrodo superior sin bloquear campos magnéticos entre el electrodo superior y el bit magnético subyacente. Además, se debe entender que la capa de barrera no es necesaria para realizar la función del protector magnético y confinar los campos magnéticos. Estructuras alternativas incluyen simplemente una única capa de material magnético como el protector magnético o la capa de material magnético una o más capas de barrera. La invención como es descrita en la presente solicitud en las realizaciones preferentes proporciona un método para fabricar a un protector magnético en un número de estructuras para una línea de conducción en una zanja damasquinada, en donde la superficie inferior de la zanja no tiene protector. Esto tiene aplicaciones particulares para electrodos superiores en dispositivos magnéticos de memoria. El protector localiza el campo magnético rodeando la línea de conducción de modo que solo el bit siendo direccionado o el elemento magnético de almacenamiento deseado o pretendido sea relativamente afectado por el campo. El protector contiene el flujo magnético y lo dirige hacia la estructura magnética de memoria, por lo tanto aminorando la densidad de corriente efectiva requerida para escribir en el bit. Bits colindantes, que no son direccionados, reciben relativamente menos del campo magnético no deseado y la electromigración es disminuida. Esto ayuda a comprimir el diseño de las series de memoria magnética a dimensiones más pequeñas sin sacrificar funcionalidades.

Las realizaciones actualmente reveladas son por esto consideradas en todos sus conceptos como que son ilustrativas y no restrictivas. El alcance de la invención es indicado por las reivindicaciones anexadas en lugar de la anterior descripción, y todos los cambios que estén dentro del significado e intervalo de equivalencia de éstas se pretende estén enmarcados en la presente invención.

## REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de memoria magnética en un circuito integrado, teniendo el dispositivo de memoria magnética un electrodo de fondo (10) sobre un sustrato semiconductor; y una región de bits (24) sensible a los campos magnéticos, donde la región de bits (24) se forma sobre el electrodo de fondo (10); **caracterizado** por
  - Un protector magnético (54/52);
  - Un electrodo superior (44/74) en una zanja damasquinada (38) formada en una capa aislante (36), donde el electrodo superior (44/74) tiene una superficie de fondo orientada en dirección a la región de bits (24), una superficie superior orientada en dirección opuesta a la región de bits (24), y dos superficies laterales orientadas en dirección opuesta a la región de bits (24), en donde la superficie superior del electrodo superior (44/74) define un nicho (82) que es adaptado para acomodar al menos una porción del protector magnético (54/52).
2. La serie de memorias magnéticas de la reivindicación 1, en el que la región de bits (24) corresponde a una estructura multicapa de túnel magneto-resistente (TMR).
3. La serie de memorias magnéticas de la reivindicación 1, en el que la región de bits (24) corresponde a una estructura multicapa gigante magneto-resistente (GMR).
4. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 1, en el que una superficie superior de la región de bits (24) está en contacto eléctrico con el electrodo superior (44/74) en la zanja damasquinada (38).
5. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 1, que además comprende un material de barrera (52) que bordea la zanja damasquinada (38).
6. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 5, en el que el material de barrera (52) es tantalio.
7. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 3, en el que el electrodo superior (44/74) es cobre.
8. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 1, en el que el protector magnético (54/52) está en contacto con las dos superficies laterales del electrodo superior (44/74).
9. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 1, en el que el protector magnético (54/52) comprende una capa de barrera (52) y una capa magnética (54).
10. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 1, en el que el protector magnético (54/52) comprende múltiples capas apiladas que incluyen una primera capa de tantalio (52), una segunda capa de tantalio (56), y una capa de cobalto-hierro (Co-Fe) (54) dispuesta entre la primera capa de tantalio (52) y la segunda capa de tantalio (56).
11. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 1, en el que el nicho (82) tiene entre 5 y 100 nanómetros de profundidad.
12. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 1, en el que el nicho (82) tiene entre 10 y 30 nanómetros de profundidad.
13. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 1, en el que el protector magnético además incluye orificios para vías correspondientes que están presentes en la capa aislante.
14. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 1, en el que el protector magnético (54/52) comprende una capa magnética (54) que se extiende a lo largo de paredes laterales del electrodo superior (44/74) y una capa de barrera (52) entre la capa aislante (36) y la capa magnética (54), en donde la capa de barrera (52) también interviene entre un borde de fondo de la capa magnética (54) y la región de bits (24).
15. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 14, en el que la región de bits (24) comprende una estructura de bits de túnel magneto-resistente (TMR), y una superficie superior de la estructura de bits TMR está en contacto eléctrico con una superficie de fondo del electrodo superior (44/74).
16. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 14, en el que el electrodo superior (44/74) comprende un borde conductivo de palabras en una zanja damasquinada (38).
17. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 16, en el que el electrodo superior (44/74) comprende cobre.
18. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 16, en el que una profundidad de la zanja damasquinada (38) está entre 100 y 300 nanómetros.

19. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 16, en el que una profundidad de la zanja damasquinada (38) está entre 180 y 220 nanómetros.

20. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 16, en el que una anchura de la zanja damasquinada (38) está entre 100 y 300 nanómetros.

21. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 16, en el que una anchura de la zanja damasquinada (38) está entre 180 y 220 nanómetros.

22. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 14, en el que la capa de barrera (52) comprende tantalio, y la capa magnética comprende cobalto-hierro.

23. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 22, en el que la capa de barrera (52) y la capa magnética (54) tienen cada una entre 1 y 20 nanómetros de grosor.

24. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 22, en el que la capa de barrera (52) y la capa magnética (54) tienen cada una entre 2 y 10 nanómetros de grosor.

25. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 1, en el que el protector magnético comprende:

Una capa magnética de material de revestimiento (54) a lo largo de cada pared lateral de la zanja damasquinada (38); y

en donde una superficie superior de la capa de revestimiento (54) se inclina hacia abajo desde un borde exterior de la capa de revestimiento que no es mayor que una superficie superior (46) de la capa aislante (36) hacia un borde interior de la capa de revestimiento (54).

26. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 25, en el que la superficie superior del borde exterior de la capa de revestimiento (54) está aproximadamente a la altura de la superficie superior (46) de la capa aislante (36).

27. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 25, que comprende además una primera capa de barrera (52) entre la capa de revestimiento de material magnético (54) y cada pared lateral de la zanja damasquinada (38), una superficie superior de la primera capa de barrera (52) inclinándose hacia abajo desde un borde exterior de la primera capa de barrera (52) que está aproximadamente a la altura de la superficie superior (46) de la capa aislante (36) hacia un borde interior que está aproximadamente a la altura de la superficie superior de la capa magnética de revestimiento (54).

28. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 27, que comprende además una segunda capa de barrera (52) entre la capa de revestimiento de material magnético (54) y el electrodo superior (44/74), una superficie superior de la segunda capa de barrera (52) inclinándose hacia abajo desde un borde exterior de la segunda capa de barrera (52) que está aproximadamente a la altura de la superficie superior de borde interior de la capa de revestimiento hacia un borde interior de la capa de barrera (52).

29. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 27, en el que el protector magnético (54/52) está en contacto con la superficie superior de la capa de revestimiento de material magnético a lo largo de cada pared lateral de la zanja (38); una superficie superior del protector magnético (54/52) extendiéndose no más alta que la superficie superior (46) de la capa aislante (36).

30. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 29, en el que el protector magnético (54/52) forma una superficie superior aproximadamente plana que es continua y aproximadamente coplanar con la superficie superior (46) de la capa aislante (36).

31. El dispositivo de memoria magnética de la reivindicación 29, en el que una capa superior de barrera está en contacto con al menos una porción central de la superficie superior del protector magnético, teniendo la capa superior de barrera una superficie aproximadamente superior plana que es aproximadamente coplanar con la superficie superior (46) de la capa aislante (36).

32. Un método para formar un protector magnético para un electrodo superior en un dispositivo de memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM), incluyendo el método depositar una capa aislante (36) sobre una región de bits (24); grabar una zanja damasquinada (38) en la capa aislante (36) sobre la región de bits (24); rellenar la zanja (38) de un material conductivo (44/74); aplanar para eliminar el material conductivo (44/74) de sobre la capa aislante (36) y dejar el material conductivo (44/74) dentro de la zanja (38); **caracterizado por**

formar un nicho (82) en una superficie superior de la capa conductiva (44/74) después de aplanar el material conductivo (44/74); y

depositar un material magnético (54) sobre el material conductivo (44/74) después de aplanar el material conductivo (44/74) y después de formar el nicho (82).

## ES 2 289 136 T3

33. El método de la reivindicación 32, que comprende además el grabado selectivo del material conductivo (44/74) para formar el nicho (82).

34. El método de la reivindicación 33, en el que el grabado selectivo comprende grabado mediante líquidos.

35. El método de la reivindicación 34, en el que el grabado selectivo comprende grabado mediante líquidos con una solución de ácido acético glacial y ácido nítrico cerca de un 10:1 (acético:nítrico).

36. El método de la reivindicación 33, en el que el grabado selectivo comprende el grabado selectivo con pulido químico-mecánico.

37. El método de la reivindicación 32, que comprende además aplanar después de depositar el material magnético (54) para eliminar el material magnético (54) de sobre la capa aislante (36), pero no de dentro del nicho (82).

38. El método de la reivindicación 32, que comprende además rellenar la zanja (38) con cobre como material conductivo (44/74).

39. El método de la reivindicación 38, que comprende además depositar una capa de núcleos de cobre por deposición física de vapores, y galvanizando cobre sobre la capa de núcleos de cobre para rellenar la zanja (38) con cobre.

40. El método de la reivindicación 32, que comprende además formar una capa inicial de revestimiento de barrera (52) como un revestimiento de la zanja después de grabar la zanja damasquinada (38), pero antes de rellenar la zanja (38) de material conductivo (74).

41. El método de la reivindicación 40, que comprende además formar una capa de revestimiento de material magnético (54) y luego formar una capa superior de revestimiento de barrera (56) sobre la capa inicial de revestimiento de barrera (52) como un revestimiento completo de zanja.

42. El método de la reivindicación 41, que comprende además realizar un grabado espaciador para eliminar la capa de revestimiento de material magnético (54) del fondo de la zanja (38) después de completar el revestido de la zanja y antes de rellenar la zanja (38).

43. El método de la reivindicación 42, en el que el revestimiento completo de la zanja comprende capas apiladas de tantalio / Co - Fe / tanfallo.

44. El método de la reivindicación 42, en el que el revestimiento completo de la zanja comprende capas apiladas de tantalio / permalloy (Fe - Ni) / tanfallo.

45. El método de la reivindicación 41, que comprende además usar deposición física de vapores para formar el revestimiento completo de la zanja.

46. El método de la reivindicación 41, en el que el revestimiento completo de la zanja es depositado en sólo una herramienta de clusters.

47. El método de la reivindicación 32, que comprende además rellenar la zanja antes de:

revestir la zanja (38) con una capa de revestimiento de material magnético (54); y eliminar selectivamente la capa de revestimiento de material magnético (54) de un fondo de la zanja (38).

48. El método de la reivindicación 47, en el que revestir la zanja (38) comprende formar una primera capa de revestimiento de barrera (52) antes de revestir la zanja (38) con la capa de revestimiento de material magnético (54), y formar una segunda capa de revestimiento de barrera (56) después de revestir la zanja (38) con la capa de revestimiento de material magnético (54).

49. El método de la reivindicación 48, en el que la primera capa de revestimiento de barrera (52) es tantalio, la capa de revestimiento de material magnético (54) es hierro cobalto (Co - Fe) y la segunda capa de revestimiento de barrera (56) es tantalio.

50. El método de la reivindicación 47, en el que la eliminación selectiva de la capa de revestimiento de material magnético (54) del fondo de la zanja (38) comprende grabar selectivamente con un componente físico de grabación.

51. El método de la reivindicación 50, que comprende además el uso del fresado con iones de argón para el grabado selectivo.

52. El método de la reivindicación 50, en el que el grabado selectivo es seleccionado entre el grupo que consta de un grabado iónico reactivo basado en cloro y un grabado iónico reactivo basado en flúor.

## ES 2 289 136 T3

53. El método de la reivindicación 47, que comprende además depositar una primera capa de barrera (52) antes de depositar la capa magnética (54) y, depositar una segunda capa de barrera (56) en la capa magnética (54) en una superficie superior del material conductivo (44/74).

54. El método de la reivindicación 53, en el que la primera capa de barrera (52) es tantalio, la capa magnética (54) es hierro cobalto (Co - Fe) y la segunda capa de barrera (56) es tantalio.

55. El método de la reivindicación 54, que comprende además aplanar una superficie superior de las capas apiladas.

56. El método de la reivindicación 47, en el que la región de bits (24) es una estructura de túnel multicapa magneto-resistente (TMR).

57. El método de la reivindicación 56, en el que la estructura TMR comprende una primera capa ferromagnética (30), una capa aislante (32), y una segunda capa ferromagnética (34).

58. El método de la reivindicación 57, en el que la primera capa ferromagnética (30) incluye una serie de subcapas que comprenden Ta / Ni - Fe / Fe - Mn / Ni - Fe.

59. El método de la reivindicación 57, que comprende además formar la capa aislante (32) de óxido de aluminio.

60. El método de la reivindicación 57, en el que la segunda capa ferromagnética (34) comprende subcapas Ni - Fe / Ta.

61. El método de la reivindicación 47, en el que el material conductivo (74) es cobre.

62. El método de la reivindicación 47, que comprende además:

revestir el fondo y las paredes laterales de la zanja (38) con una primera capa de revestimiento de barrera (52) antes de revestir el fondo y las paredes laterales de la zanja (38) con la capa de revestimiento de material magnético (54);

revestir el fondo y las paredes laterales de la zanja (38) con una segunda capa de revestimiento de barrera (56) después de revestir el fondo y las paredes laterales de la zanja (38) con la capa de revestimiento de material magnético (54); y

antes del rellenado de la zanja (38) con un material conductivo (74), eliminar selectivamente la primera capa de revestimiento de barrera (52), la capa de revestimiento de material magnético (54), y la segunda capa de revestimiento de barrera (56) del fondo de la zanja (38) y de una superficie superior (46) de la capa aislante (36) de modo que sustancialmente no haya material magnético (54) en el fondo de la zanja (38), y de modo que la superficie superior (46) de la capa aislante (36) sea sustancialmente plana.

63. El método de la reivindicación 47, que comprende además:

revestir el fondo y las paredes laterales de la zanja (38) con una primera capa de revestimiento de barrera (52) antes de revestir el fondo y las paredes laterales de la zanja (38) con la capa de revestimiento de material magnético (54);

antes del rellenado de la zanja (38) con un material conductivo (74), eliminar selectivamente la primera capa de revestimiento de barrera (52) y la capa de revestimiento de material magnético (54) del fondo de la zanja (38) y de una superficie superior (46) de la capa aislante (36), de modo que sustancialmente no haya material magnético (54) en el fondo de la zanja (38) y de modo que la superficie superior (46) de la capa aislante (36) sea sustancialmente plana;

depositar una segunda capa de barrera (52) en la superficie superior de la capa aislante (36) y en el nicho (82) en la superficie superior del material conductivo (74);

depositar el material magnético (54) en la segunda capa de barrera (56); y

aplanar por encima la capa aislante (36) para eliminar la segunda capa de barrera (52) y el material magnético (54) de la superficie superior (46) de la capa aislante (36).

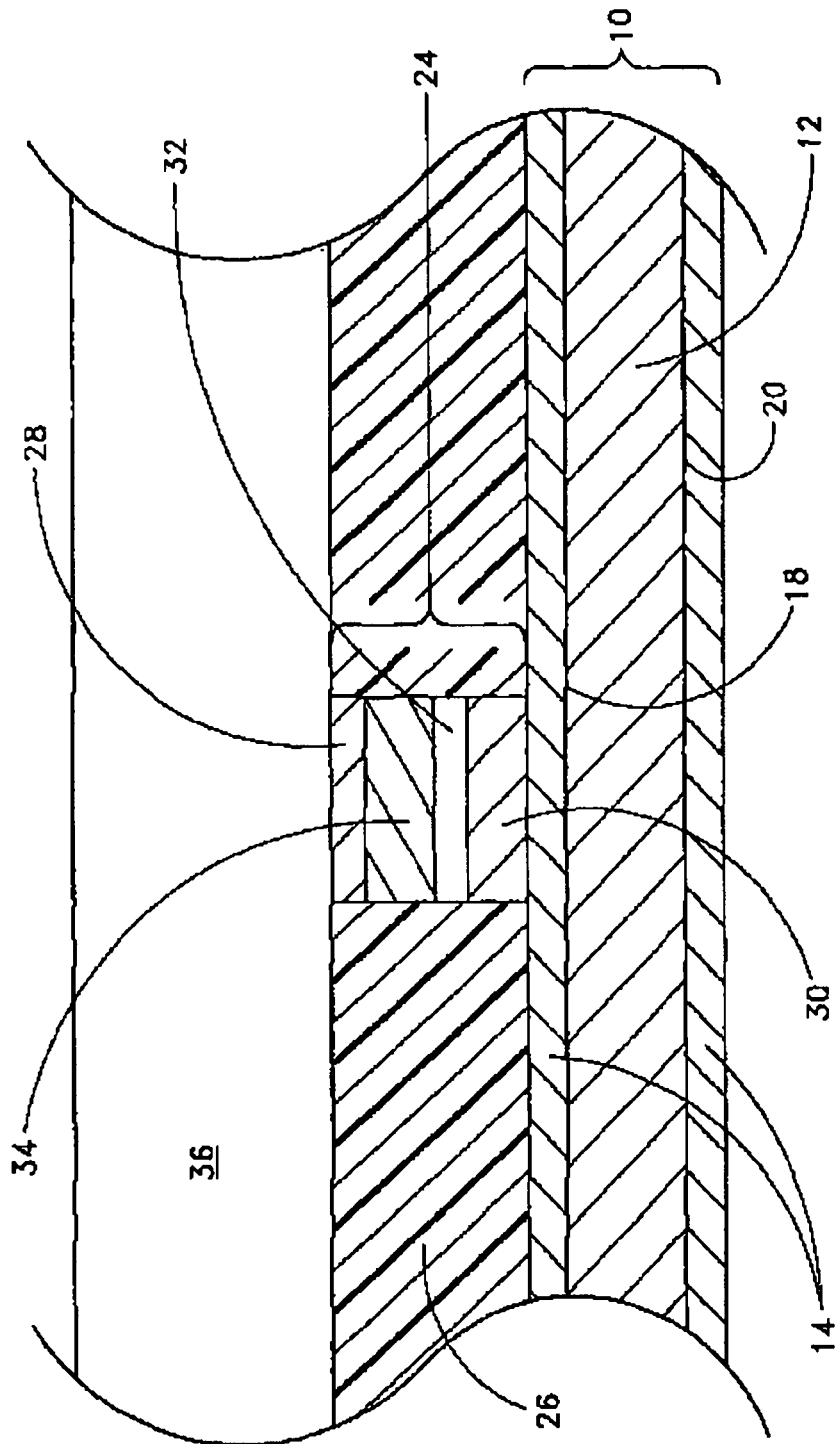


FIG. 1A

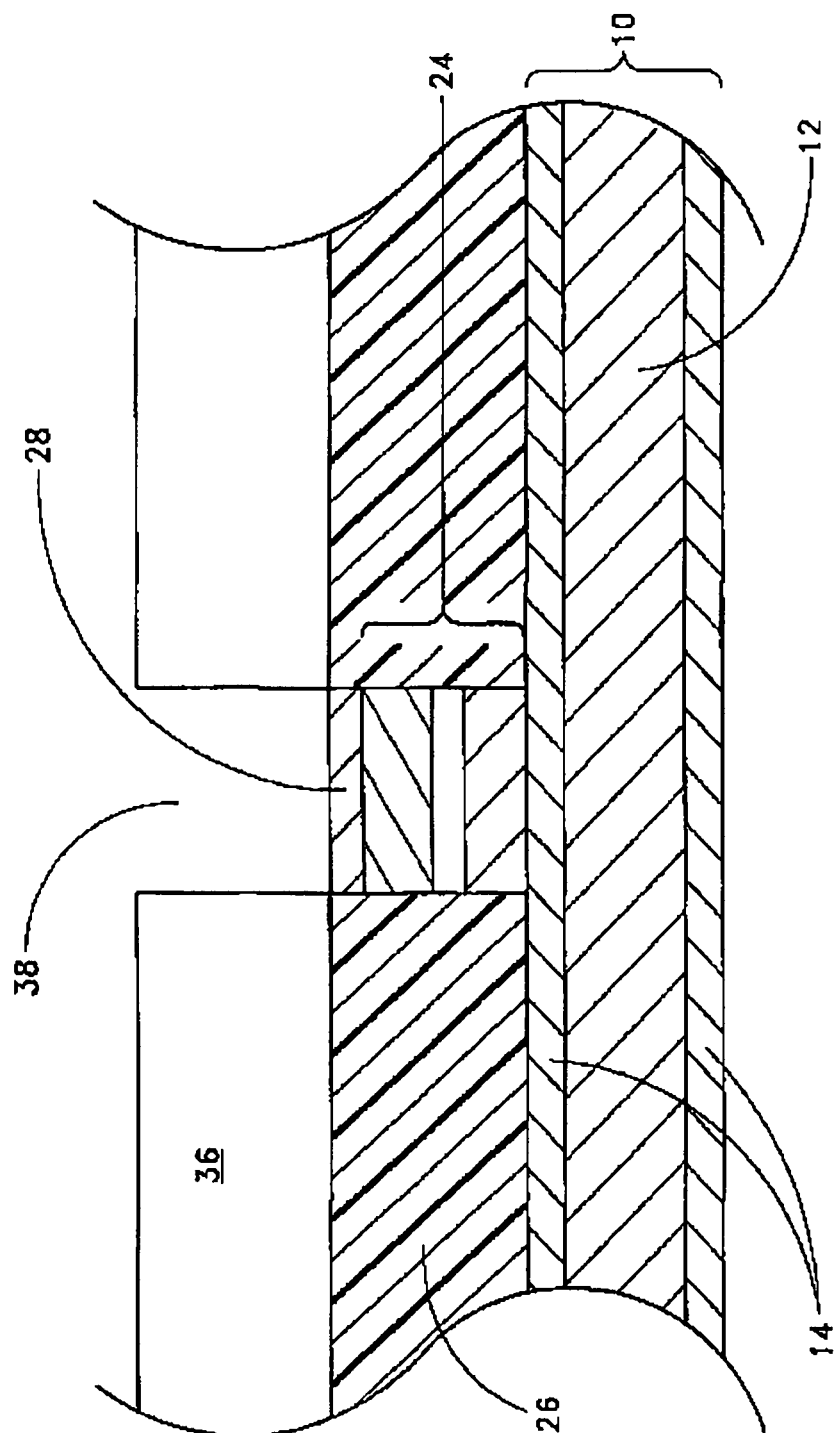


FIG. 1B

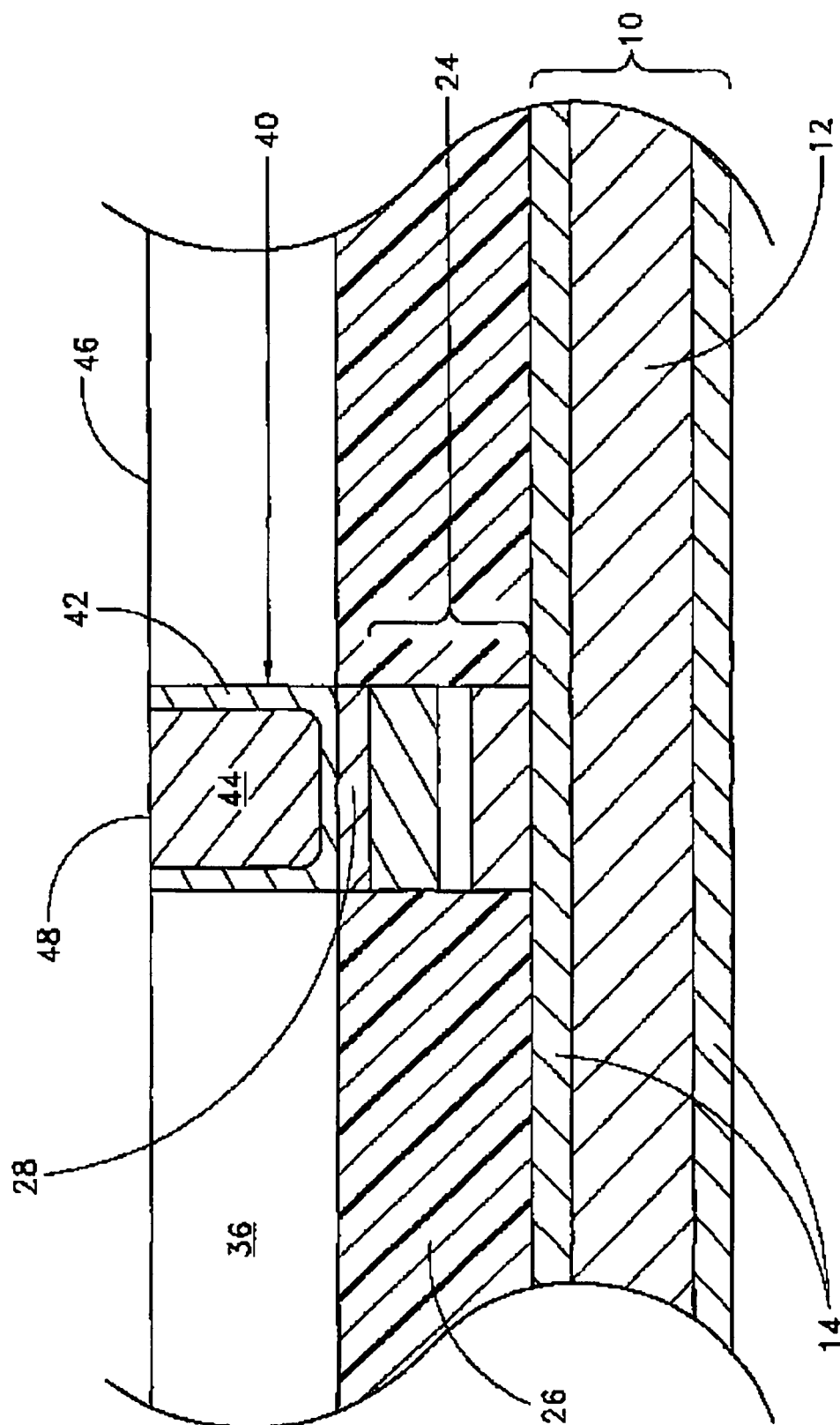


FIG. 2



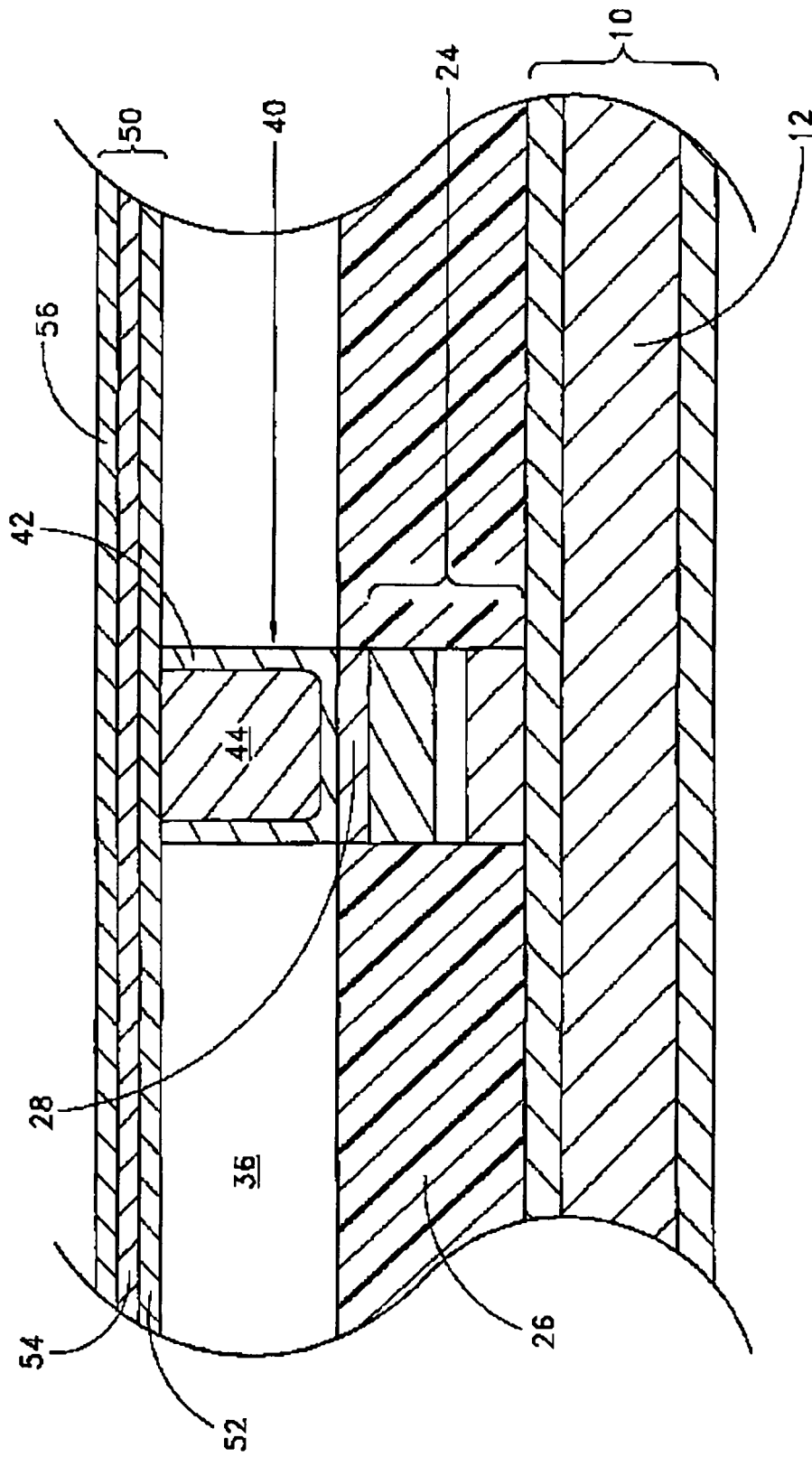


FIG. 3A

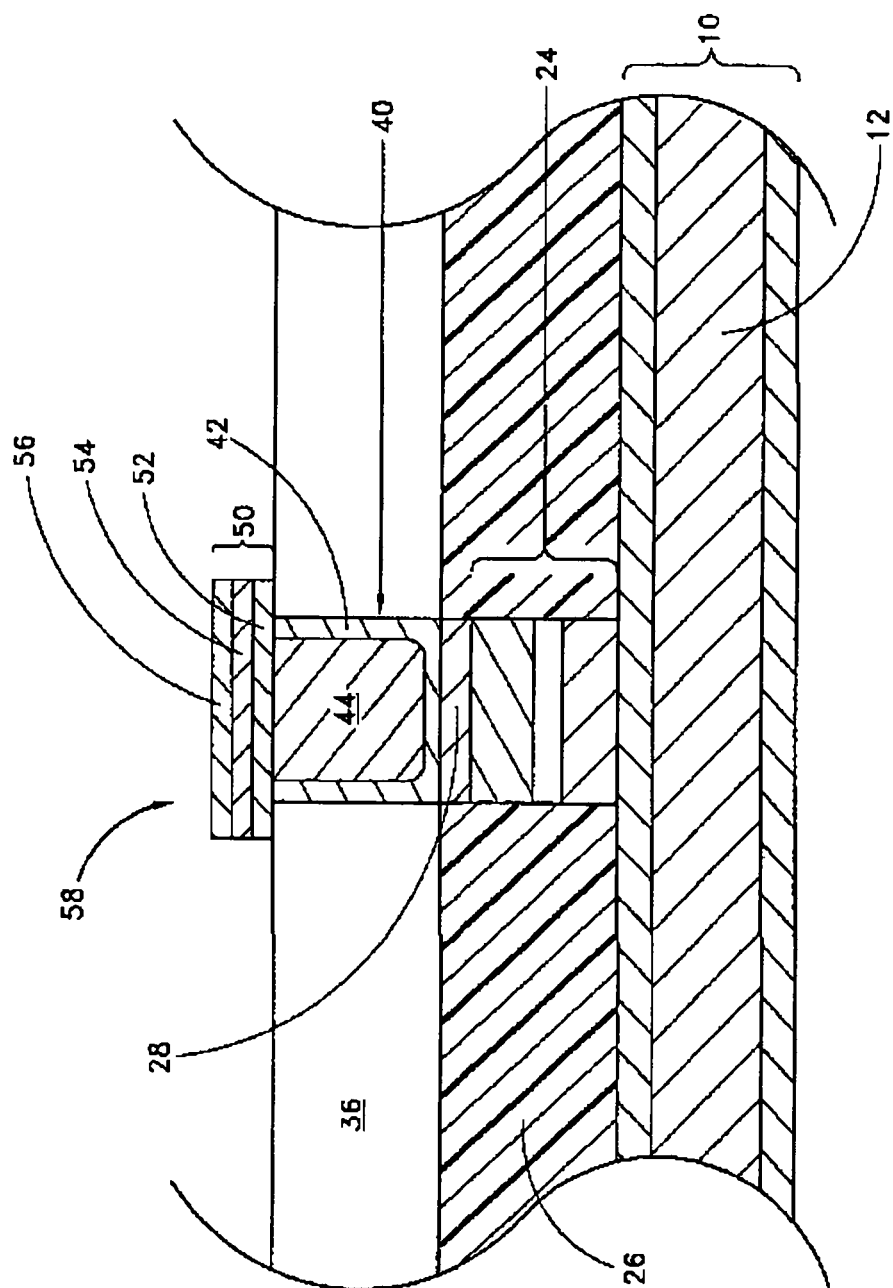


FIG. 3B

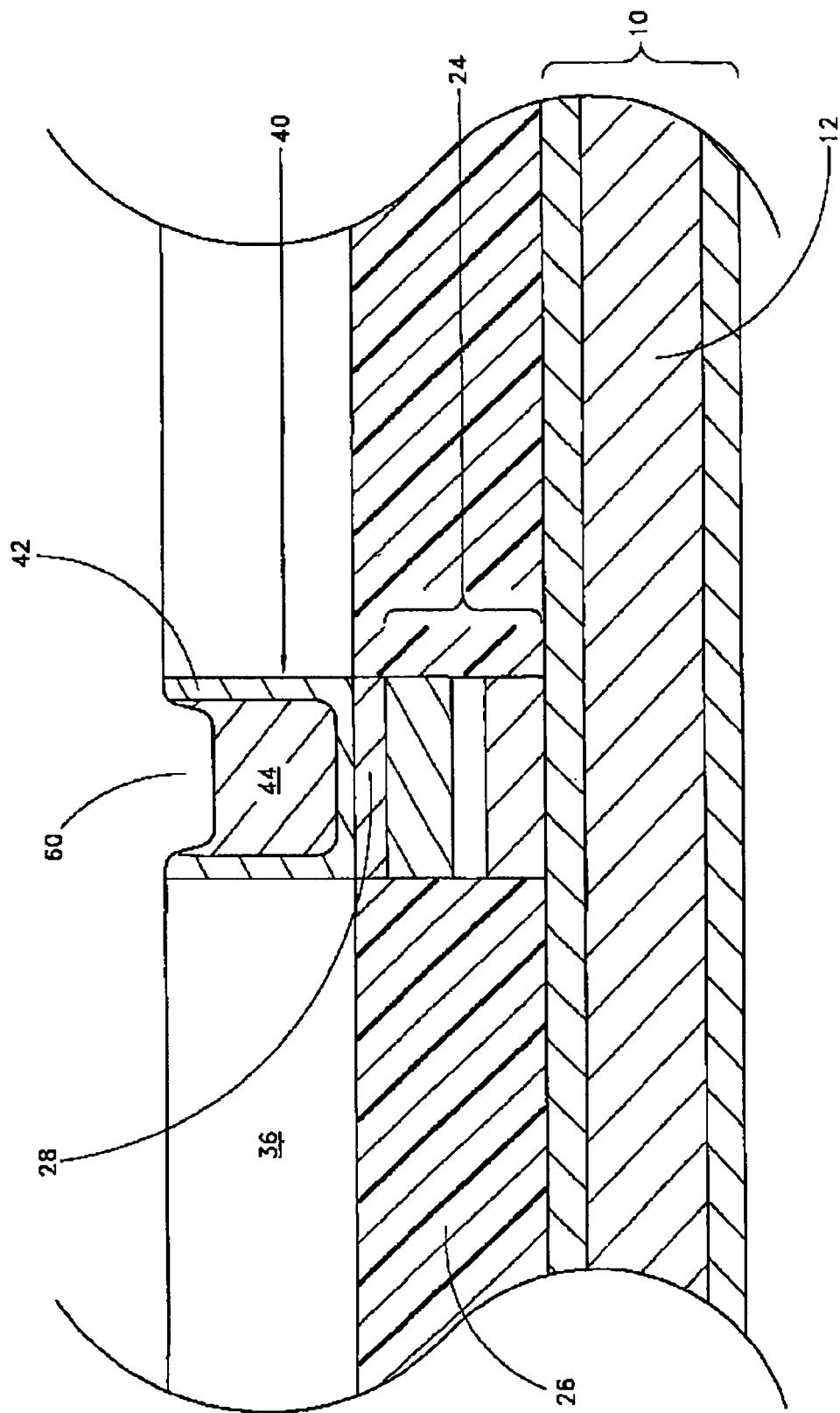


FIG. 4A

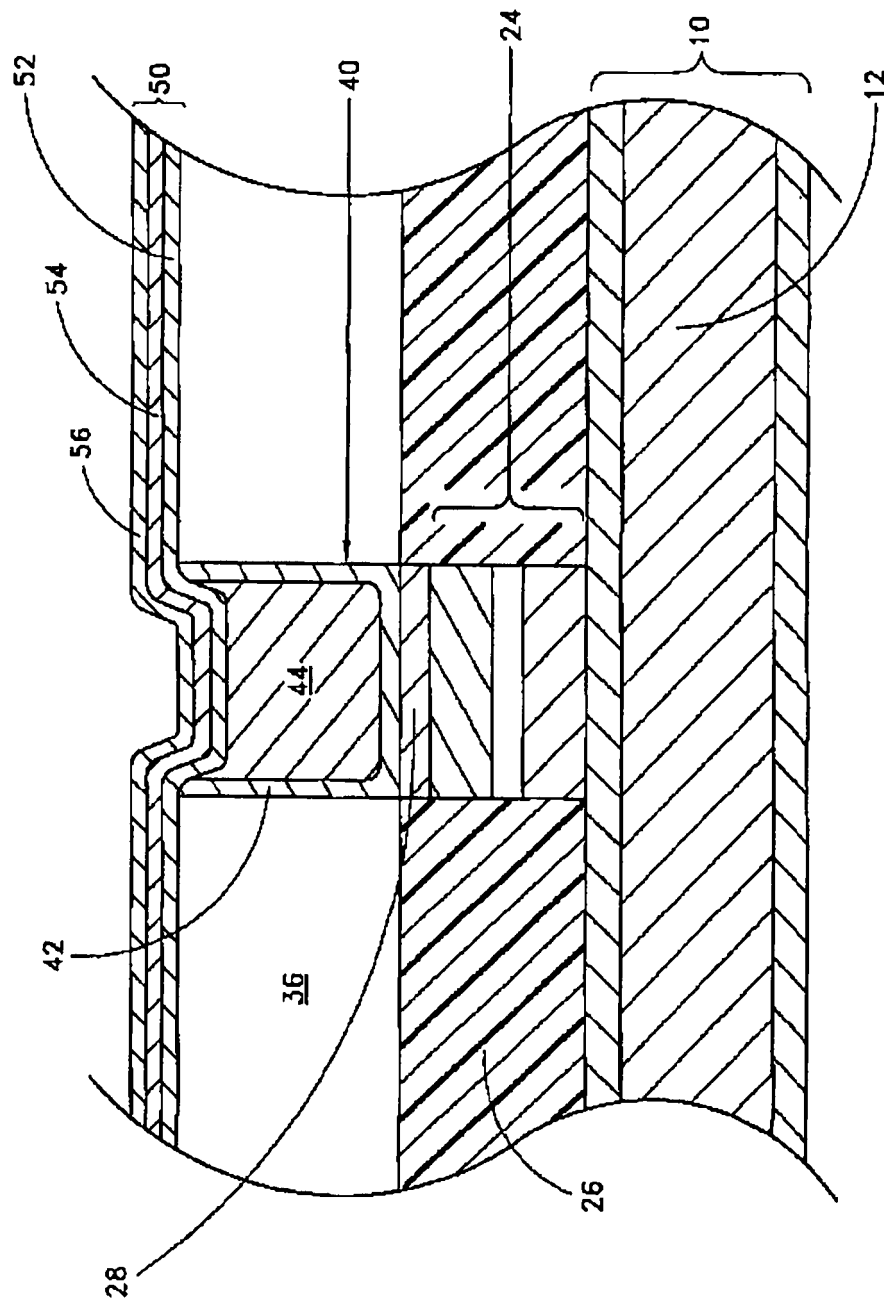


FIG. 4B

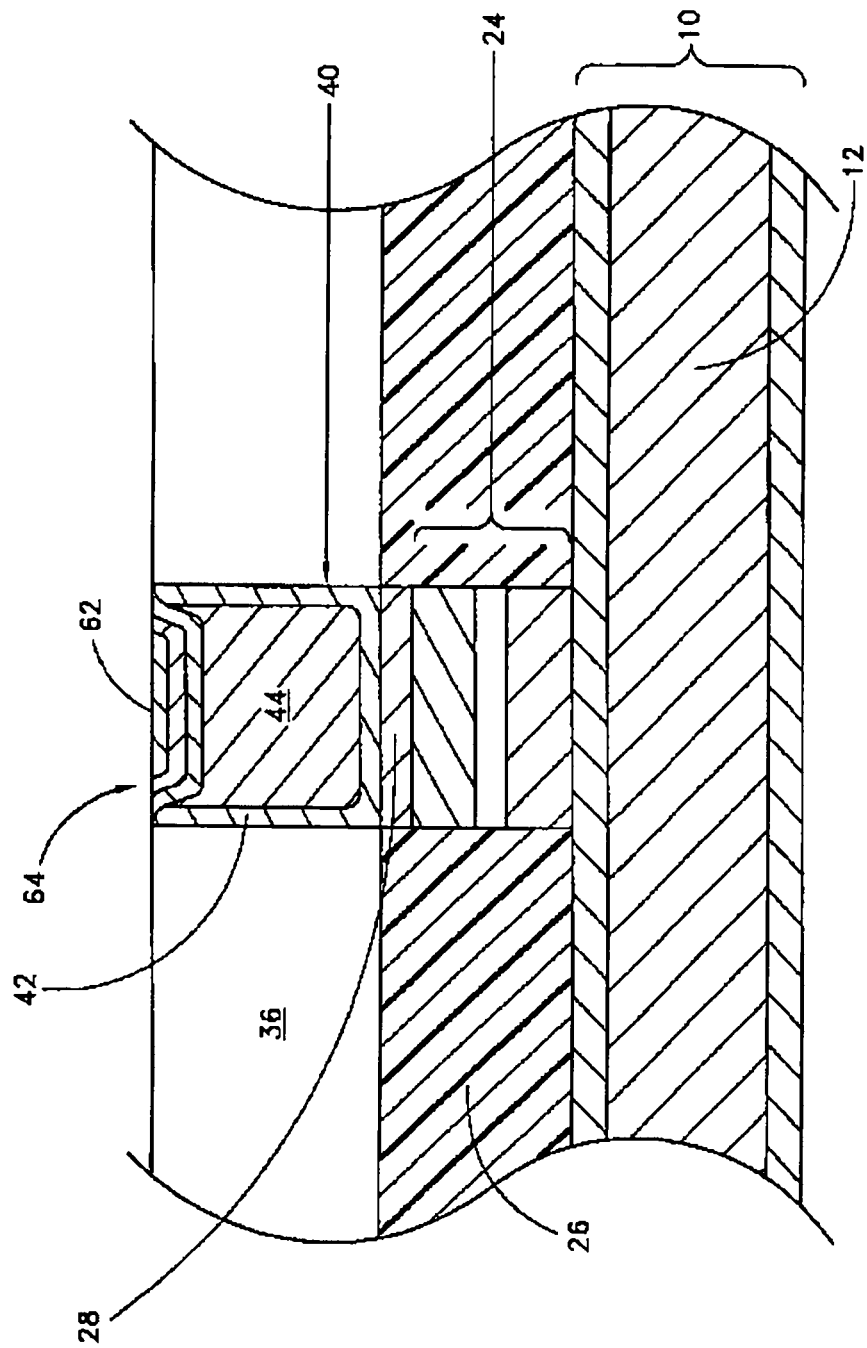


FIG. 4C

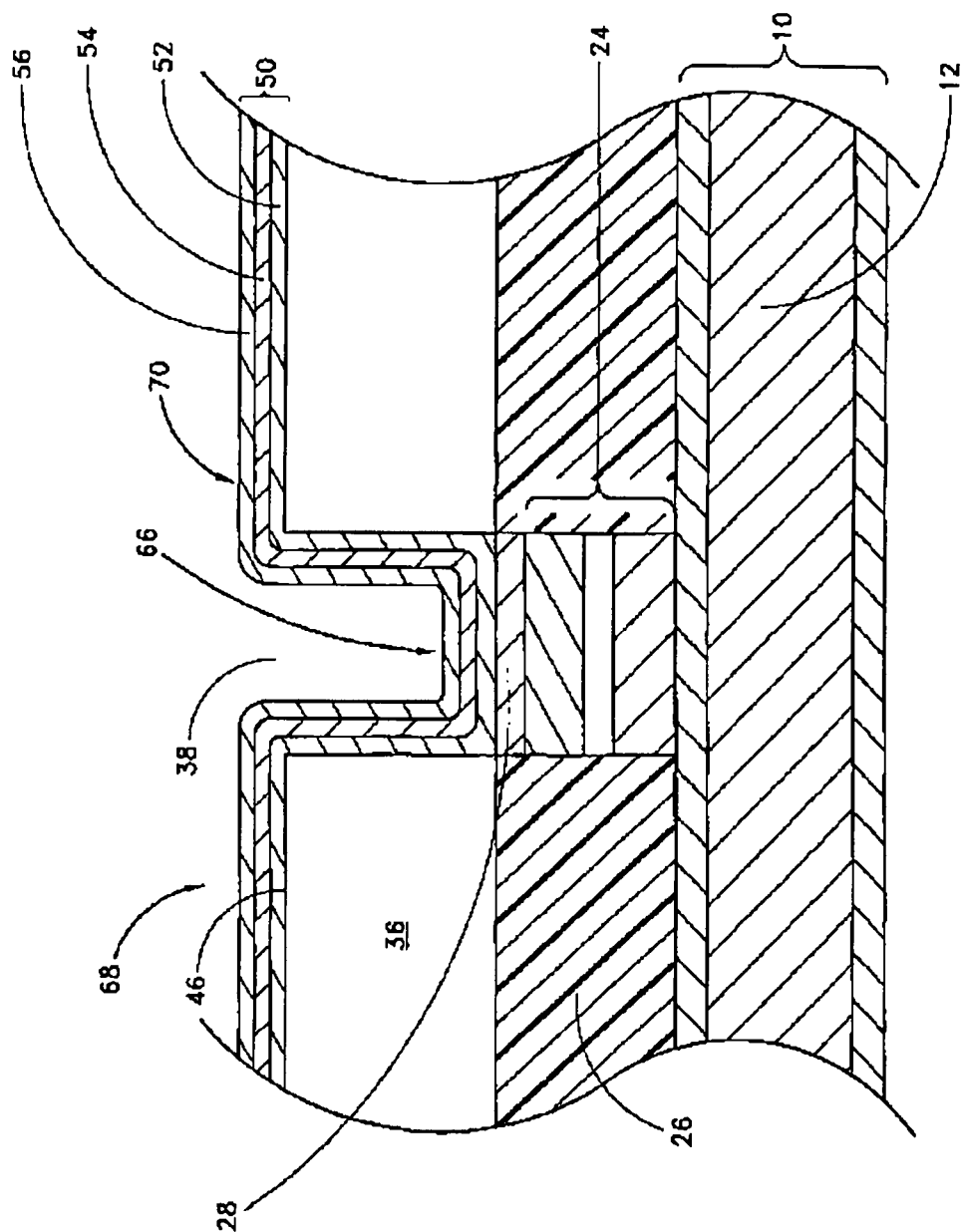


FIG. 5A

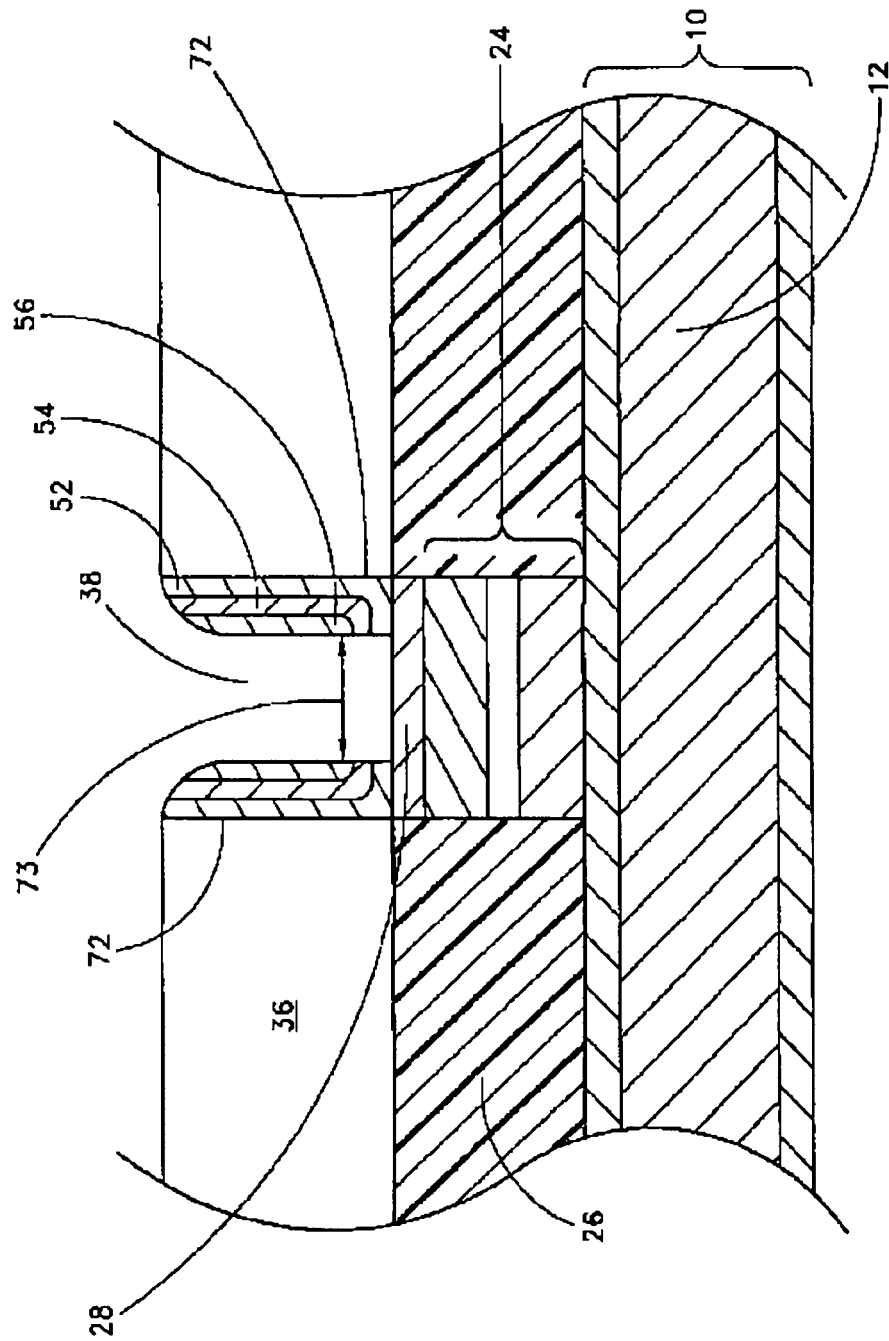


FIG. 5B

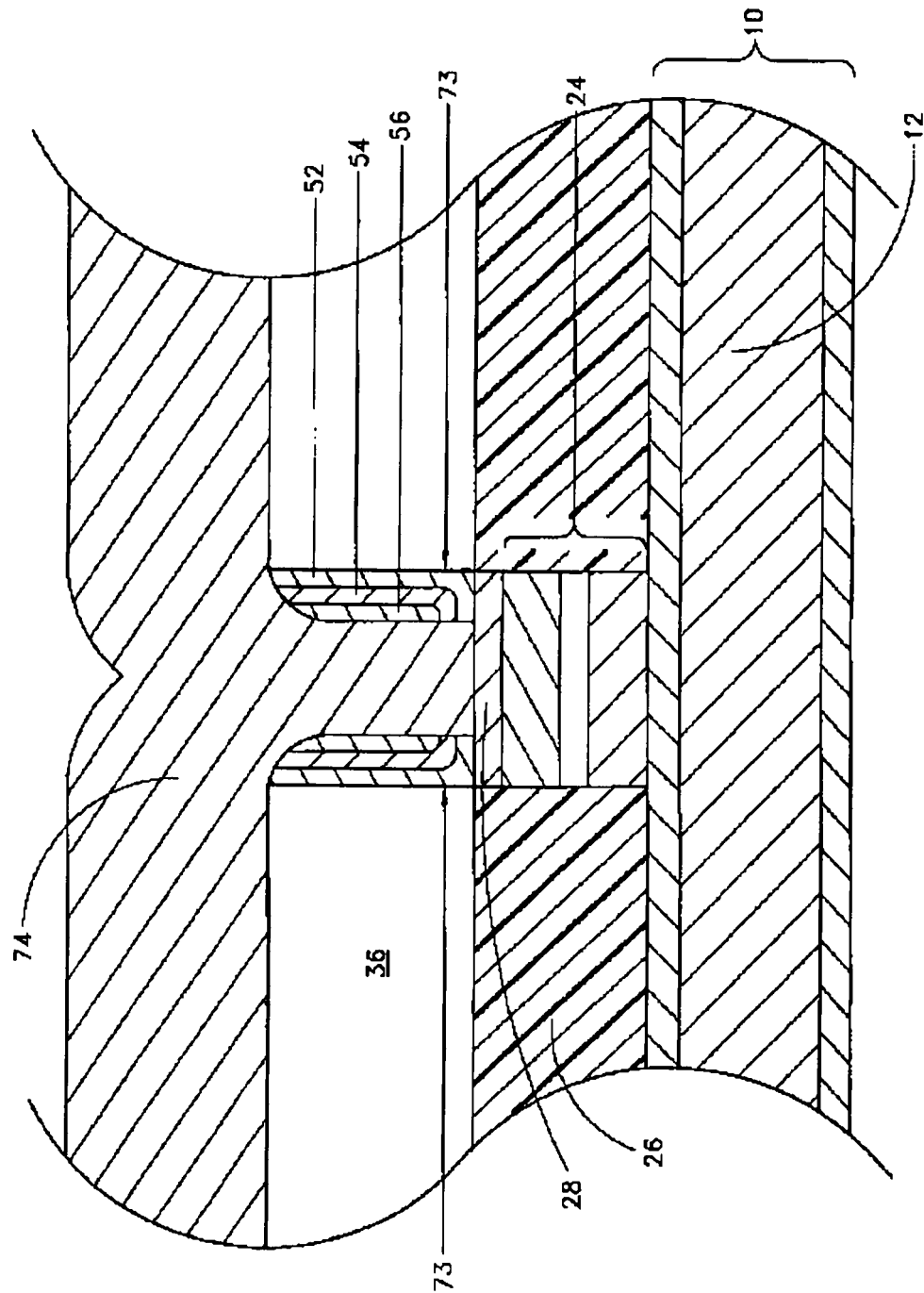


FIG. 5C



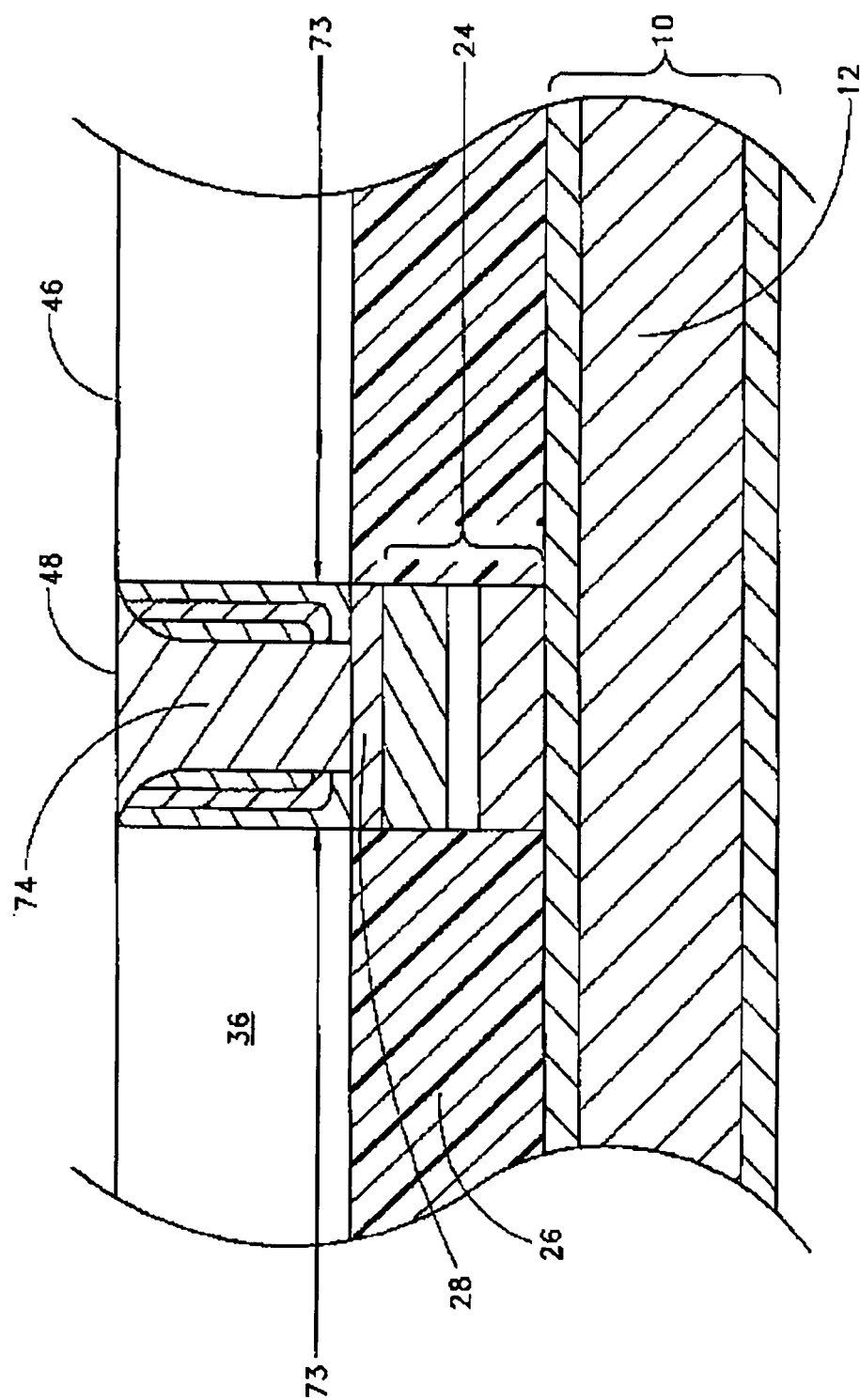


FIG. 5D

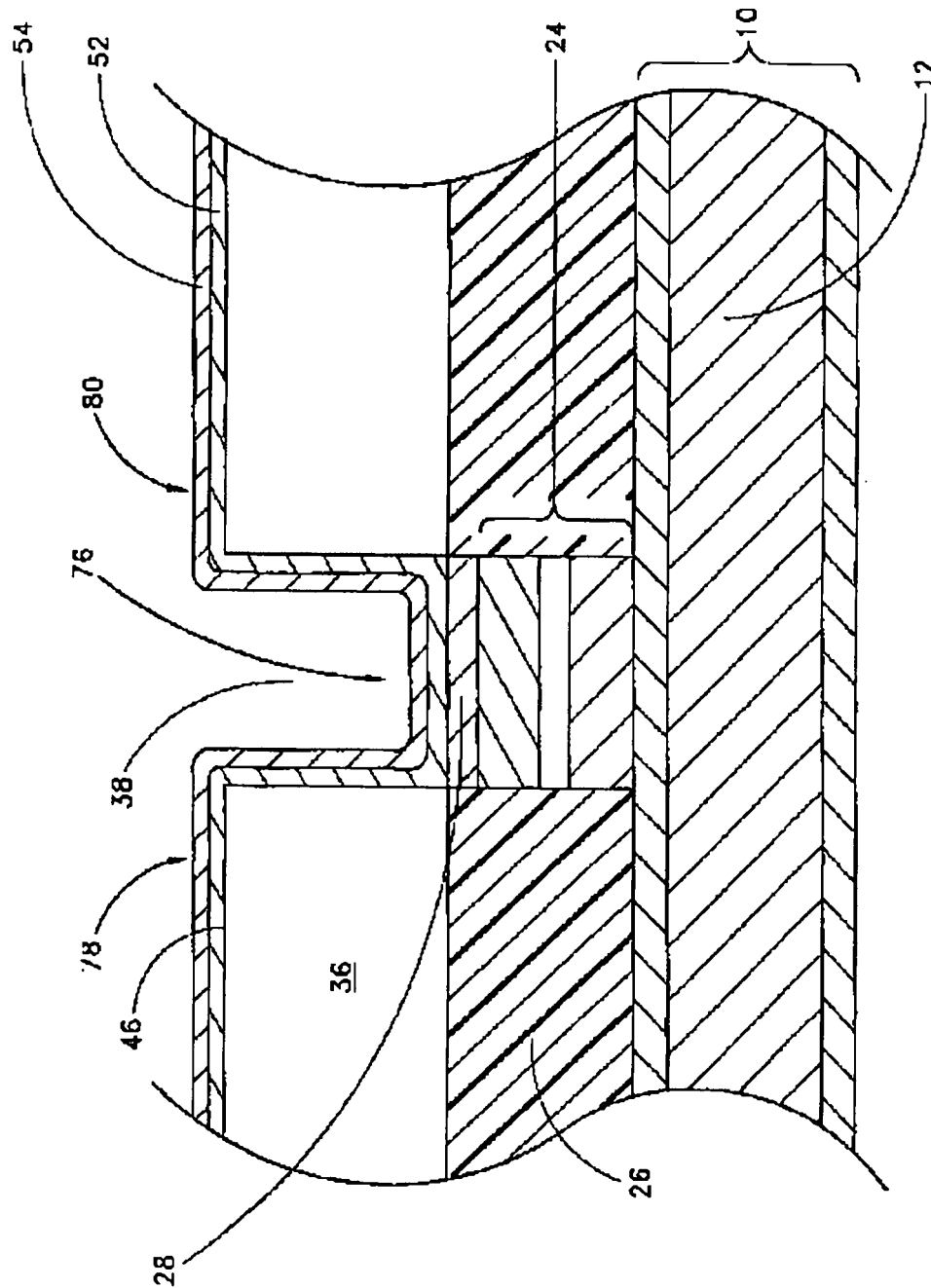


FIG. 6A

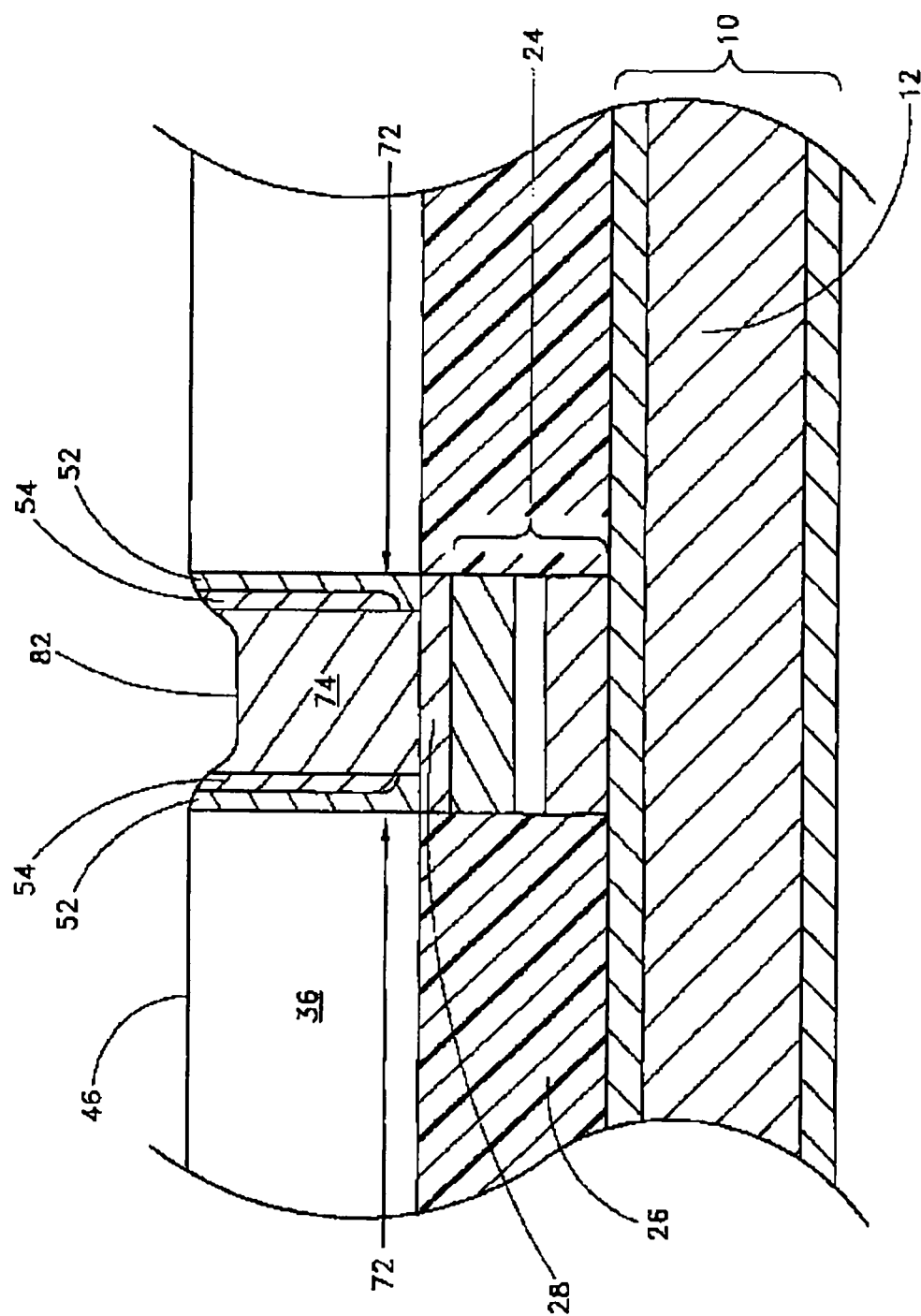


FIG. 6B

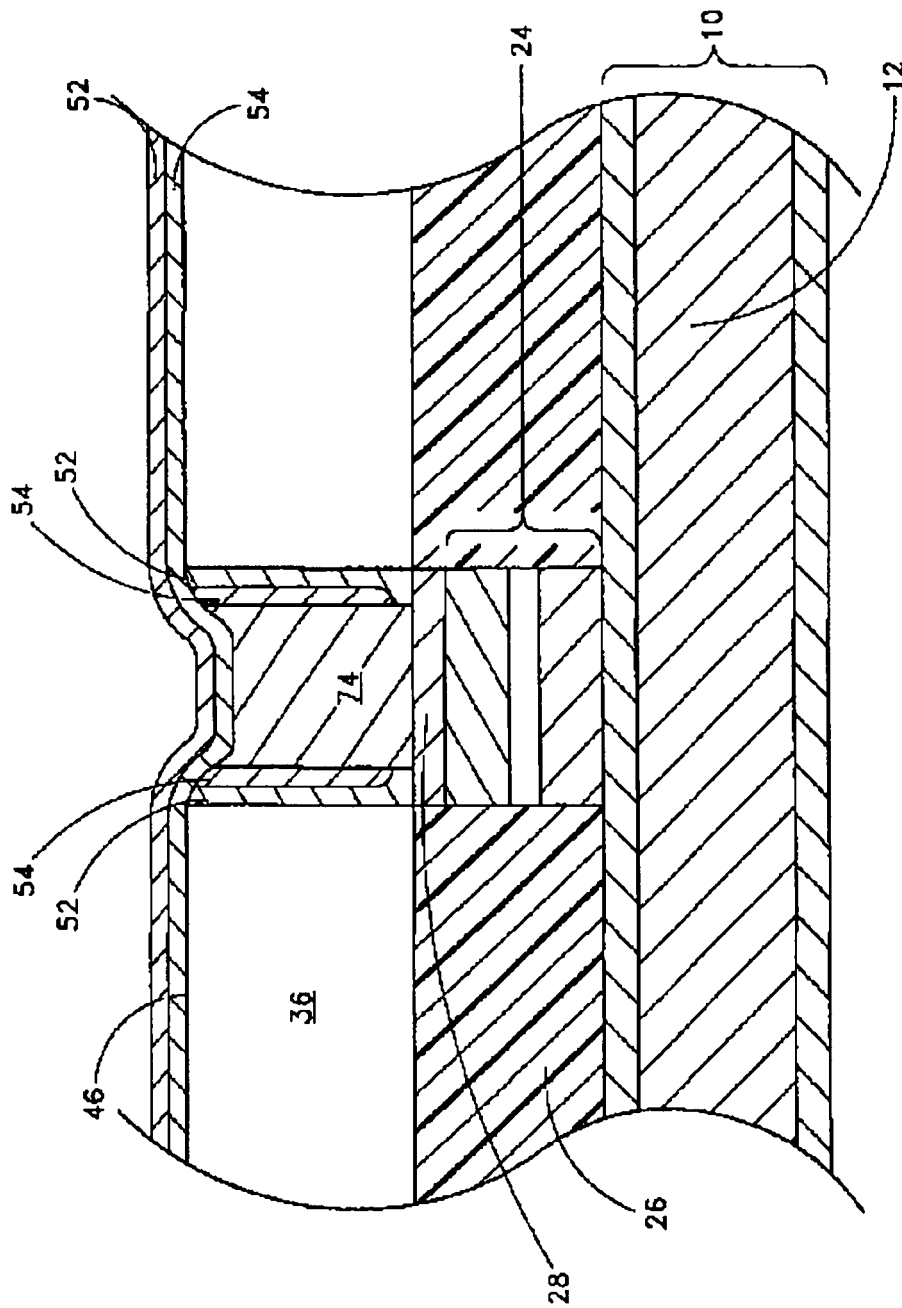


FIG. 6C

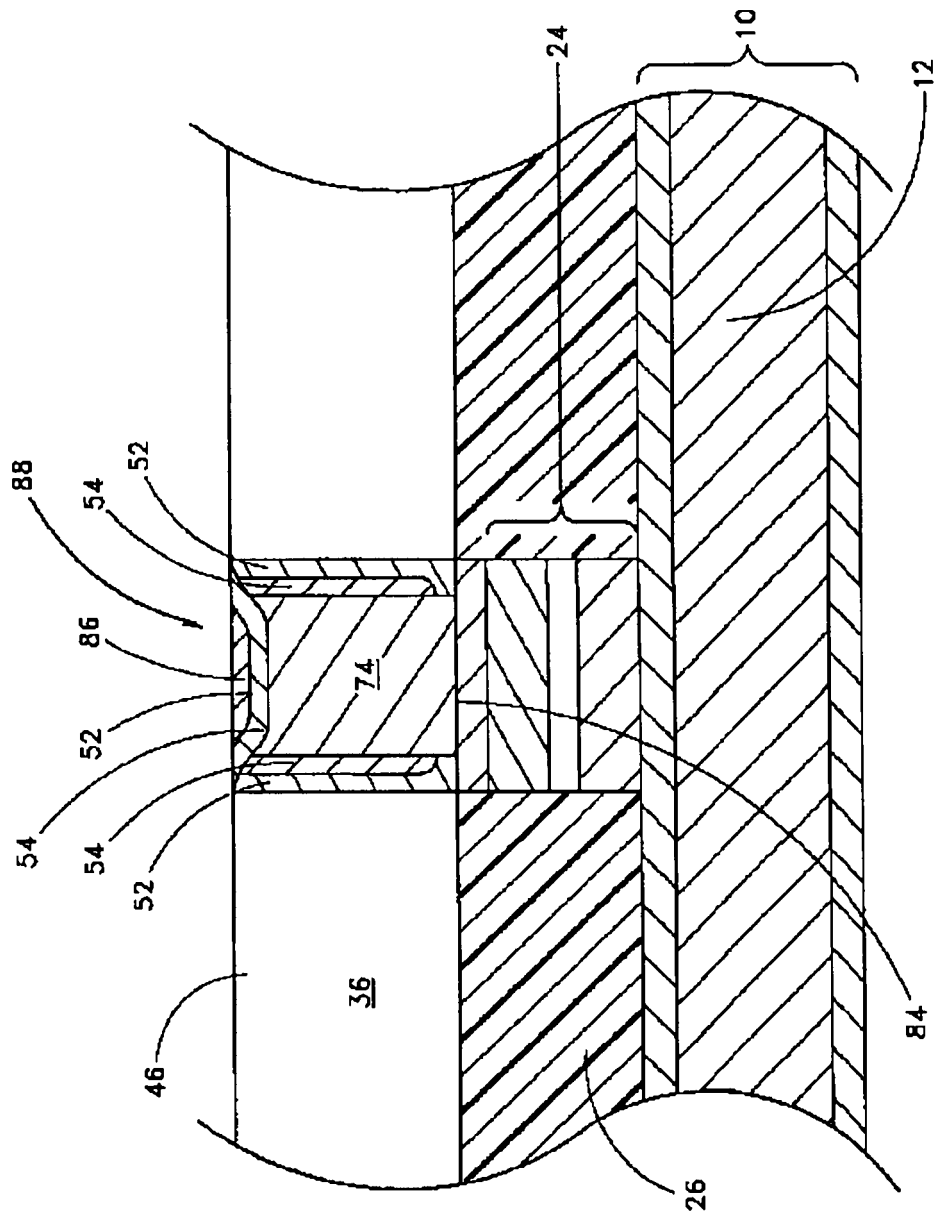


FIG. 6D