



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 318 060**

51 Int. Cl.:
H01L 21/66 (2006.01)
B81B 7/04 (2006.01)
G03F 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02795486 .6**
96 Fecha de presentación : **26.07.2002**
97 Número de publicación de la solicitud: **1410436**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.04.2004**

54 Título: **Sondas paralelas direccionables individualmente, para nanolitografía.**

30 Prioridad: **26.07.2001 US 307976 P**
07.12.2001 US 8719

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.05.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.05.2009

73 Titular/es:
Board of Trustees of the University of Illinois
352 Administration Building
506 South Wright Street
Urbana, Illinois 61801, US

72 Inventor/es: **Liu, Chang;**
Zhang, Ming y
Bullen, David, Andrew

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 318 060 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

Sondas paralelas direccionables individualmente, para nanolitografía.

5 La presente invención se refiere en general a los campos de la nanolitografía y de la formación de imágenes a nanoescala.

Arte previo

10 La litografía y formación de patrones superficiales con anchos de línea extremadamente finos (por ejemplo, de 10-100 nm), de alta capacidad de producción, es importante para el crecimiento futuro de la industria microelectrónica y la nanotecnología. La tecnología de circuitos integrados de la siguiente generación exigirá inevitablemente la generación eficiente y a bajo coste, de características con anchos de línea por debajo de los 100 nm. El campo emergente de la nanotecnología requiere también la formación de patrones y la funcionalización de superficies, con una resolución espacial que es comparable con la escala de las moléculas y las células que se necesita manipular y modificar.

15 La resolución de los sistemas litográficos ópticos convencionales de proyección, que siguen siendo los de uso más amplio en la industria microelectrónica, está limitada por la difracción óptica. La resolución puede mejorarse mediante el uso de herramientas de escritura directa basadas en rayos, con alta energía y longitudes de onda cortas. Se está utilizando líneas de haz de alta energía, incluyendo las que dependen de haces de electrones y de rayos X. Sin embargo, tales sistemas de litografía por escritura directa acusan varios inconvenientes. En primer lugar, tales sistemas son invariablemente complejos y costosos. En segundo lugar, estas herramientas litográficas funcionan con un solo haz y producen patrones trabajando en serie, lo que tiene como resultado una baja capacidad de producción. En tercer lugar, los sistemas convencionales litográficos de alta resolución no son capaces de depositar patrones compuestos de moléculas biológicas o de compuestos químicos. Solo puede utilizarse protecciones químicas especiales.

20 La patente de EE.UU. 5 666 190 revela un aparato que comprende una matriz de puntas controladas por una señal común. Las puntas comprenden una abertura en la punta para emitir luz, y están dispuestas para exponer un fotoprotector a un patrón dado, lo que implica una distancia constante entre la punta y el fotoprotector.

30 El documento WO00/41 213 revela un aparato de fuerza atómica con una sonda, que comprende una distancia constante entre la punta de un voladizo rígido y la superficie. La punta está dispuesta para aplicar un compuesto sobre una superficie.

35 La patente de EE.UU. 5 835 477 se refiere a un aparato para generar perturbaciones en un sustrato mediante presionar una punta, que está sujeta por una palanca, en una superficie para almacenar información. Este documento no enseña como distribuir una sustancia.

40 La nanolitografía de pluma mojada (DPN, Dip-pen Nanolithography) es un método nuevo y recientemente introducido, de nanolitografía de sonda de barrido. Se proporciona una descripción de la DPN en el documento PCT/US00/00 319. Esta funciona mediante depositar sobre superficies patrones a nanoescala, utilizando la difusión de una especie química desde la punta de una sonda de barrido hasta la superficie, en ocasiones a través de un menisco de agua que se forma naturalmente entre la punta y la muestra, en condiciones ambientales. A medida que se hace un barrido con una punta DPN a través de la superficie del sustrato, se transportan moléculas sobre la superficie de la punta, a través del menisco de agua que se forma entre la punta y la superficie del sustrato. Una vez sobre la superficie, las propias moléculas se anclan químicamente al sustrato formando patrones robustos. Puede fabricarse características en el rango de 10 nm hasta muchos micrómetros, con puntas de nitrilo de silicio disponibles comercialmente. Un factor que influye sobre el ancho de línea de la escritura DPN, es la velocidad lineal de la punta. Se consiguen menores anchos de línea con mayores velocidades de punta. Otros factores que influyen sobre el ancho de línea incluyen el carácter afilado de la punta DPN, y las constantes de difusión de las moléculas utilizadas como tintas.

50 La DPN ofrece una serie de beneficios únicos, que incluyen la capacidad de escritura directa, una alta resolución (resolución de ancho de línea de ~10 nm, resolución espacial final de ~5 nm), capacidades ultra-elevadas de registro de nanoestructuras, flexibilidad para utilizar una variedad de moléculas para compuestos de escritura (incluyendo biomoléculas) y soportes de escritura (tales como Au, SiO₂, GaAs), capacidad de integrar múltiples funcionalidades químicas o bioquímicas sobre un solo "nano-chip", un proceso de una capa para la formación de patrones, y la capacidad de automatizar la formación de patrones utilizando software a medida.

60 La tecnología DPN puede implementarse utilizando un instrumento tipo microscopio de sonda de barrido (SPM, scanning probe microscope) comercial, de bajo coste. En una configuración típica, el chip de la sonda DPN se monta sobre un tubo de barrido SPM, de una forma similar a las puntas SPM disponibles comercialmente. Se obtiene movimientos precisos de las sondas horizontales y verticales, mediante el uso del sistema de control de retroalimentación de señal láser interna, de la máquina SPM.

65 Revelación de la invención

La presente invención proporciona nanolitografía, tal como nanolitografía de pluma mojada así como formación de imágenes a nanoescala, con sondas individualmente direccionables en matrices de pluma mojada. Se proporciona

una matriz de sondas que tiene una pluralidad de sondas activas, que permiten mayor funcionalidad que en la DPN convencional de una sola pluma mediante permitir la activación independiente de sondas individuales, a través de la provisión de corriente o tensión a un accionador acoplado con la sonda. Una pluralidad de sondas direccionables de forma independiente, produce una pluralidad de trazas de agentes químicos iguales o diferentes.

Se proporciona un aparato para aplicar al menos un compuesto de formación de patrones a un sustrato para nanolitografía. El aparato incluye una matriz de sondas paralelas, incluyendo cada sonda un voladizo, una punta en un extremo distal del voladizo para aplicar al sustrato uno de al menos un compuesto de formación de patrones, y un accionador acoplado operativamente al voladizo. Las sondas pueden configurarse para nanolitografía. El accionador está diseñado para ser sensible a una corriente o tensión aplicados, al objeto de mover el voladizo y así mover la punta separándola del sustrato. Así, puede controlarse independientemente el estado del contacto entre las puntas de sonda individuales, y el sustrato de escritura. En el caso de escritura DPN, el proceso de formación de patrones es suspendido cuando la punta de la sonda abandona el sustrato. Se revela una serie de tipos preferidos de realizaciones. Se proporciona también métodos para fabricar matrices de sondas activas.

En un tipo de realización de la invención, el accionador desvía el voladizo en respuesta a la corriente eléctrica aplicada, para mover la punta en relación con el sustrato. El accionador puede activarse térmicamente.

De acuerdo con una realización preferida, un accionador térmico incluye un calentador resistivo conectado al voladizo, y un cable que conecta el calentador resistivo a una fuente de corriente. Cuando se aplica una corriente a través del calentador resistivo, se genera calor debido al calentamiento óhmico, elevando así la temperatura de la resistencia así como del voladizo. Debido a la diferencia en el coeficiente de expansión térmica de los materiales para el voladizo y para la resistencia metálica, el voladizo se curva selectivamente en respuesta a la corriente aplicada. Puede conectarse al voladizo un parche de película metálica delgada, para reforzar el grado de curvatura térmica.

Alternativamente, el accionador desvía el voladizo en respuesta a la tensión aplicada. El accionador puede manejarse de forma electrostática. El desplazamiento preferido se crea mediante aplicar una tensión diferencial entre dos electrodos, al menos uno de estos siendo no estacionario.

Una realización preferida de un accionador electrostático incluye un electrodo de paleta formado en el extremo interno del voladizo opuesto a la punta, y un contraelectrodo. El electrodo de paleta está frente al contraelectrodo, con una separación que tiene un espacio de separación predefinido. Cuando se aplica una tensión eléctrica diferencial a través del electrodo superior y el contraelectrodo, la fuerza resultante de atracción electrostática curva la viga del voladizo, y por lo tanto mueve las posiciones de la punta.

Un tipo de método preferido de la presente invención, proporciona un método para aplicar al menos un compuesto de formación de patrones a un sustrato, para nanolitografía de alta velocidad basada en sonda. El método incluye las etapas de: proporcionar una matriz de sondas direccionables individualmente, cada sonda teniendo una punta sobre un extremo distal; recubrir puntas con sustancias químicas iguales o diferentes; posicionar sobre el sustrato las puntas de la matriz de sondas direccionables individualmente, de forma que las puntas estén en contacto con el sustrato; efectuar un barrido de trama de las sondas sobre la superficie del sustrato; y activar selectivamente al menos una sonda seleccionada entre la matriz de sondas, para mover la punta de la sonda seleccionada separándola del sustrato. Por consiguiente, la sonda seleccionada no aplica el compuesto de formación de patrones al sustrato, cuando es seleccionada, mientras que las sondas no seleccionadas aplican al menos un compuesto de formación de patrones al sustrato. Puede producirse dos patrones bidimensionales arbitrarios, mediante efectuar barrido de trama con el chip que contiene las sondas en disposición, controlando a la vez la posición de las sondas individuales durante el proceso de barrido. Las sondas pueden configurarse para nanolitografía. En general, las sondas pueden también aplicarse a otras técnicas de nanolitografía, donde la interacción entre una punta y un sustrato altera el estado eléctrico, químico o molecular de la superficie, y puede utilizarse para la formación de imágenes.

De acuerdo con un método preferido de la presente invención, la etapa de accionar selectivamente al menos una sonda seleccionada incluye la etapa de aplicar una corriente a un calentador resistivo conectado al voladizo, de forma que la viga del voladizo se flexiona. La desviación del voladizo mueve la punta separándola del sustrato, suspendiendo así la escritura sobre el sustrato.

De acuerdo con otro método preferido de la presente invención, la etapa de activar selectivamente una sonda individual incluye aplicar una tensión diferencial eléctrica a través de un contraelectrodo y un electrodo móvil conectado a un extremo de la sonda seleccionada. De este modo, el electrodo móvil y el contraelectrodo se mueven acercándose entre sí, preferentemente para desviar el voladizo de la sonda y mover la punta separándola del sustrato.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una representación esquemática del proceso de DPN, que muestra una sola punta recubierta con compuestos químicos que pasan a un sustrato (superficie de escritura);

la figura 2 es un diagrama esquemático de un sistema de escritura nanolitográfica en paralelo, que tiene una matriz de sondas acordes con un tipo de realización de la presente invención, interconectadas por una unidad auxiliar de control;

las figuras 3A-3B son esquemas de una matriz de sondas bimetalicas de activación térmica, respectivamente antes y después de la desviación de las sondas seleccionadas, de acuerdo con un tipo de realización preferida de la presente invención;

5 las figuras 4A-4B son esquemas de una sondas bimetalicas de activación térmica, respectivamente antes y después de la desviación de la sonda;

las figuras 5A-5E son dibujos esquemáticos que muestran las etapas principales en el proceso de fabricación de una sonda de activación térmica, de acuerdo con un aspecto preferido de la invención;

10 las figuras 6A-6D son dibujos esquemáticos que muestran una vista superior de las etapas de fabricación mostradas en las figuras 5B-5E, respectivamente;

15 la figura 7 es un dibujo esquemático de una sonda de activación electrostática, de acuerdo con un tipo de realización preferida de la invención;

la figura 8 es un dibujo esquemático de una matriz de sondas de activación electrostática, de acuerdo con un tipo de realización preferida de la invención;

20 la figura 9 es un esquema que muestra una vista superior de una sonda de accionador electrostático;

las figuras 10A-10F son esquemas tomados a lo largo de una sección de la figura 9 y en la dirección indicada, que muestran las etapas de fabricación para una sonda de activación electrostática, de acuerdo con un método preferido de la invención; y

25 la figura 11 es un dibujo esquemático de un nano-plóter acorde con otra realización preferida de la invención.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

30 En términos generales, la presente invención proporciona sondas activas y matrices de sondas activas, que están diseñadas para conseguir nanolitografía de escritura directa, tal como DPN. Los dispositivos acordes con la presente invención puede generar patrones por debajo de 100 nm a alta velocidad, paralelos y de forma controlable. Las matrices de sondas activas ofrecen gran funcionalidad mediante permitir la activación de sondas individuales, a través de suministrar corriente o tensión a un accionador de la sonda. La presente invención está dirigida principalmente a métodos y dispositivos para DPN en paralelo utilizando matrices de sondas activas, y a métodos para fabricar sondas activas y matrices de sondas activas.

40 La matriz de sondas activas puede también utilizarse para otros métodos existentes o futuros, de formación superficial de patrones y de litografía, basados en la familia de instrumentos del microscopio de sonda de barrido (SPM). Un microscopio de fuerza atómica (AFM, atomic force microscope) está considerado como un elemento de la familia de instrumentos SPM. Ejemplos de tales sistemas litográficos incluyen la oxidación térmica local y la litografía por desplazamiento.

45 En referencia ahora la figura 1, se muestra un ejemplo de un proceso DPN convencional. DPN utiliza una punta sobre un extremo distal de un voladizo de una sonda AFM 22 (u otra sonda SPM), para depositar o “escribir” patrones a nanoescala sobre un sustrato de escritura sólida 24, tal como oro. La punta 20 aplica un compuesto de formación de patrones 26 recubierto sobre la punta, al sustrato de escritura 24. El compuesto de formación de patrones 26 puede ser un compuesto de formación de patrones hidrófobo, con una afinidad química por la sustancia de escritura 24 tal como, de forma no limitativa, 1-octadecanotiol (ODT) o ácido mercaptohexadecanoico (MHA).

50 De forma similar a las “plumas mojadas” (por ejemplo plumas, bolígrafos o plóter de pluma múltiple), DPN utiliza transporte molecular (capilaridad) para transferir el compuesto de formación de patrones 26 de la punta 20 al sustrato de escritura 24, formando un patrón 28 a partir del compuesto de formación de patrones. Un menisco acuoso 30 se forma entre la punta 20 y el sustrato de escritura 24, debido a la humedad relativa en el área de trabajo, el menisco transporta el compuesto 26 de formación de patrones desde la punta al sustrato de escritura, a medida que la punta se mueve respecto del sustrato de escritura en la dirección de escritura W, tal como se indica en la figura 1.

60 Los procesos DPN iniciales implican una sola sonda 22 (pluma). También se ha realizado patrones paralelos utilizando una matriz de hasta ocho sondas comerciales 22 con una separación entre sondas de 1,4 mm, para escribir una pluralidad de patrones 28 sobre el soporte de escritura 24. Esta técnica también permite la aplicación de múltiples patrones 28, donde cada patrón contiene un diferente compuesto de formación de patrones, tal como un bio-compuesto. La escritura en paralelo es útil también, por ejemplo, para formar patrones 28 durante la formación de circuitos integrados. Ejemplos de tales estructuras de sondas paralelas pueden encontrarse en los documentos: R. Piner *et al.*, “Dip-Pen” Nanolithography”, Science, 1999, volumen 283, páginas 661-663; S. Hong *et al.*, “Multiple Ink Nanolithography: Toward a Multiple-Pen Nano-Plotter”, 1999, volumen 286, páginas 523-525; S. Hong *et al.*, “A Nanoplotter with Both Parallel and Serial Writing Capabilities”, Science, volumen 288, páginas 1808-1811.

Los procesos de DPN de sondas convencionales paralelas se llevan a cabo utilizando sondas AFM disponibles comercialmente 22. Las sondas individuales 22 no pueden moverse unas independientemente respecto de las otras. Por lo tanto, ha de moverse simultáneamente todas las sondas 22. Además, la separación entre sondas de las actuales matrices DPN paralelas es demasiado grande para ciertas aplicaciones DPN, y no puede satisfacer del todo las necesidades de un sistema de escritura DPN dispuesto para alta capacidad de producción y alta densidad. La presente invención proporciona un nano-plóter con una matriz de sondas DPN activas independientemente, micro-fabricadas y preferentemente poco separadas.

La figura 2 muestra una vista esquemática de un sistema de escritura DPN paralelo, de múltiple plumas activas 32, de acuerdo con un tipo de realización de la presente invención. Un chip de sonda DPN 34 que tiene una matriz de sondas que incluye una pluralidad de sondas activas 38, está montado sobre un tubo de escáner AFM 40, de forma similar a las sondas AFM estándar de una sola punta. Dispositivos electrónicos de retroalimentación de AFM 42, típicamente dispositivos electrónicos de tubos piezoeléctricos, controlan los movimientos horizontal y vertical del chip de la sonda 34.

Cuando las puntas 20 de las sondas activas 38 están en contacto con el sustrato de escritura 24, un accionador integrado (no mostrado en la figura 2) controlado por un circuito de control auxiliar conectado 48, dirige el movimiento individual de las puntas, preferentemente mientras que el chip de la sonda 34 realiza un barrido de trama a lo largo del sustrato 24, para la formación de patrones. Se entiende que el término “en contacto” se refiere a una proximidad entre las puntas 20 y el sustrato 24, suficiente para permitir la formación de patrones del compuesto de formación de patrones 26. Cuando se suministra corriente o tensión desde la unidad de control 48 a través del chip de la sonda 34, el accionador mueve un voladizo de la sonda activa 38, para elevar la punta 20 en un extremo del voladizo, separándola del sustrato de escritura 24. Esto suspende el proceso de deposición química. De este modo, la sonda activa 38 puede controlarse individualmente a través de la aplicación selectiva de corriente o tensión, para crear patrones arbitrarios con una elevada capacidad de producción.

Las figuras 3A y 3B muestran una matriz 56 de sondas de activación térmica 54 de acuerdo con un tipo preferido de realización de la presente invención, respectivamente antes y después de la activación de sondas seleccionadas. En la figura 3A, la matriz 56 se muestra teniendo cinco sondas de activación térmica 54, de las que ninguna está activada. En respuesta a una corriente aplicada, y como se muestra en la figura 3B, las sondas de activación térmica segunda y cuarta (indicadas por flechas) están flexionadas hacia arriba (en las figuras 3A y 3B, hacia el papel), moviendo así sus puntas 20 en separación del sustrato de escritura 24 y suspendiendo la deposición química. Las personas de cualificación ordinaria en el arte apreciarán que la distribución selectiva de corriente para formar los patrones 28, puede controlarse por medio de programar el circuito de control 48.

El material de la viga en voladizo 50 en las sondas de activación térmica 54, es preferentemente una película delgada de nitruro de silicio, formada por métodos químicos de deposición de vapor a baja presión (LPCVD, low-pressure chemical vapor deposition methods). De acuerdo con un tipo de método preferido de la presente invención, las sondas de activación térmica 54 se forman mediante crear sondas de nitruro de silicio que incluyen un accionador térmico que tiene al menos un calentador resistivo 66.

Las figuras 4A y 4B muestran una de las sondas de activación térmica 54, respectivamente en posiciones no flexionada y flexionada (activada). El calentador resistivo 66, desarrollado sobre el voladizo de nitruro de silicio 50 de la sonda de activación térmica 54, está acoplado a un cable de empalme 70 para llevar corriente al calentador resistivo. A su vez, el cable de empalme 70 está acoplado con el circuito de control 48 para distribuir selectivamente corriente al cable de empalme 70, y activar así las sondas de activación térmica 54. Preferentemente, se conecta un parche de película metálica 68 al voladizo 50, al objeto de incrementar la desviación de la sonda 54.

Las figuras 5A-5E y 6A-6D muestran etapas de formación para la matriz de sondas de activación térmica 56, formando respectivamente una sola sonda de activación térmica 54 y un par de sondas de activación térmica. En referencia la figura 5A, se desarrolla una película delgada de dióxido de silicio sobre un lado frontal de un sustrato de silicio 62, preferentemente una pastilla de silicio con orientación <100>, para formar una máscara protectora al objeto de crear la punta 20. La capa de óxido 60 se desarrolla por fotolitografía para realizar la máscara para la fabricación de la punta 20. En la figura 5B (también en la figura 6A), una parte del sustrato de silicio 62 que define la forma piramidal de la punta 20, se forma mediante utilizar grabado húmedo anisótropo en “etilendiamina pirocatecol” (EDP, ethylene diamine pyrocatechol). A continuación, como se muestra en la figura 5C (figura 6B), se deposita una capa de nitruro de silicio por LPCVD 64, y esta se desarrolla sobre el sustrato de silicio 62 grabado, para definir la forma de la sonda térmicamente activa 54 incluyendo el voladizo 50. Como se muestra en las figuras 5D (figura 6C), el calentador resistivo (óhmico) 66 y el parche metálico 68 (opcional) están formados sobre la misma sonda de activación térmica 54, mediante el depósito información de patrones, por ejemplo de Cr/Au sobre la capa de nitruro de silicio 64, creando un accionador térmico bimetálico integrado. Las sondas de activación térmica 54 son liberadas a continuación, mediante utilizar grabado DPN para recortar el sustrato de soporte 62. Una parte del sustrato de silicio 62 proporciona un asidero, como se muestra en las figuras 4A y 4B.

En funcionamiento, las sondas de activación térmica 54, en respuesta a una corriente aplicada se curvan a lo largo de su longitud para mover la punta 20, como se muestra en la figura 4B, debido a la expansión térmica diferencial del metal por el calentador resistivo 66 y al parche opcional 64 y el voladizo 50 de la sonda de activación térmica. En un método de funcionamiento preferido, el circuito de control 58 envía una corriente a través del cable de empalme 70

al calentador resistivo 66, para curvar la sonda de activación térmica 54 con un arco circular de radio R debido a la expansión térmica diferencial del voladizo de nitruro de silicio 50 y el parche de oro 68.

La expresión para R bajo un cambio de temperatura de ΔT , es aproximadamente

$$R = - \frac{(w_1 E_1 t_1^2)^2 + (w_2 E_2 t_2^2)^2 + 2 w_1 w_2 E_1 E_2 t_1 t_2 (2 t_1^2 + 3 t_1 t_2 + 2 t_2^2)}{6 w_1 w_2 E_1 E_2 t_1 t_2 (t_1 + t_2) (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T}$$

Los parámetros w, t, E y α son, respectivamente, la anchura, el grosor, el módulo de Young de elasticidad, y el coeficiente de expansión térmica de los materiales constitutivos, denotados como materiales 1 y 2. Los subíndices corresponden a estos dos materiales. La temperatura del accionador térmico está dictada por el equilibrio térmico de la viga. El calor se genera por calentamiento óhmico, y se pierde por conducción y convección.

En la sonda de activación térmica 54, la cobertura de la viga en voladizo 50 tiene como resultado una desviación δ para la punta 20:

$$\delta = R \left(1 - \cos \left(\frac{L}{R} \right) \right)$$

Por consiguiente, la aplicación de corriente a través de cables de empalme seleccionados 70 provoca que el voladizo 50 de las sondas de activación térmica 54 conectadas a los cables de empalme, se desvíe hacia arriba y mueva la punta 20, como se muestra en la figura 4B.

La capacidad de producción de las nanolitografías basadas en sondas, puede hacerse muy alta cuando se integra sobre el chip de la sonda 34 un gran número de sondas activas 38 en paralelo. La matriz de sondas de activación térmica 56, fabricada de acuerdo con el tipo de realización preferida de la presente invención descrita arriba, tiene como resultado un nano-plóter compacto con elevadas densidades de sondas (separadas $100 \mu\text{m}$ sobre el centro) y puntas afiladas integradas, y puede utilizarse para nanolitografía y generación de imágenes AFM.

De acuerdo con otro tipo de realización preferida de la presente invención, se muestra una sonda de activación electrostática 72, mostrada en una realización de tipo preferido en la figura 7. Preferentemente, la sonda 72 está fabricada como una unidad de una matriz de sondas electrostáticas 74, mostrada en una realización preferida en la figura 8, en combinación con el chip de sonda 34.

Como se muestra en las figuras 7 y 8, la sonda de activación electrostática 72 incluye un accionador electrostático 76 que puede incluir una placa con forma de paleta 78 en el extremo longitudinal interno del voladizo 50, longitudinalmente opuesta a la punta 20. La placa con forma de paleta 78 está preferentemente fabricada integralmente con las sondas de activación electrostática 72. El accionador electrostático 76 incluye además un contraelectrodo 81, que es preferentemente estacionario y puede estar fabricado sobre el chip de la sonda 34, para interactuar de forma electrostática con la placa con forma de paleta 78. El contraelectrodo 81 puede fabricarse como parte de una matriz paralela de electrodos conectados eléctricamente a una serie de pastillas de empalme 85 longitudinalmente opuestas a los contraelectrodos, y ambos son desarrollados, adheridos, o bien moldeados o unidos a un sustrato de vidrio 94, que en la realización completada cubre la matriz de contraelectrodos y pastillas de empalme de conexión. Las pastillas de empalme 85 están preferentemente conectadas eléctricamente al circuito de control 48, para la aplicación selectiva de una tensión a una o más de las pastillas de empalme. Para aquellas personas cualificadas en el arte, serán evidentes los métodos para fabricar la capa de vidrio 94 que incluye los contraelectrodos 81 y las pastillas de empalme 85.

Se prefiere que la sonda de activación electrostática 72 esté también soportada a lo largo del voladizo 50, preferentemente en el punto intermedio del voladizo o cerca, mediante un resorte blando compacto 80, para proporcionar soporte de torsión a la sonda de activación electrostática, permitiendo la desviación y por lo tanto el movimiento angular de la sonda, al objeto de mover la punta 20 de la sonda. Como se muestra en la figura 8, el resorte 80 para cada una de las matrices 74 de sondas de activación electrostática 72, es preferentemente una sección de una pieza unitaria (tal como una viga trenzada) que se extiende lateralmente a través de cada sonda individual. Además, se prefiere que cada sección del resorte 80 tenga una sección transversal relativamente pequeña, en una dirección paralela a la dirección longitudinal del voladizo 50. Como apreciará una persona de cualificación ordinaria en el arte, las dimensiones del resorte 80 así como el área en sección transversal y su localización en relación con la punta 20, pueden variarse dependiendo de las condiciones de contorno, para controlar la flexibilidad angular del voladizo 50.

La figura 9 es una vista superior de una realización preferida de la sonda de activación electrostática 72. Se prefiere aunque no se requiere, que el voladizo 50, la placa con forma de paleta 78 y el resorte blando 80 estén fabricados integralmente de silicio impurificado con boro. Este material se prefiere tanto por su bajo ritmo de corrosión en soluciones DPN, como por su relativamente alta conductividad eléctrica.

Un método preferido de fabricación de la sonda de activación electrostática 72, se muestra en las figuras 10A-10F. En referencia primero a la figura 10A, se desarrolla una capa de dióxido de silicio 82 sobre un lado frontal de una pastilla de tres capas que contiene una capa de silicio muy impurificada con boro 84, incrustada entre una pastilla de

ES 2 318 060 T3

silicio 86 con orientación $\langle 100 \rangle$ y una capa de silicio 88 con orientación $\langle 100 \rangle$ epitaxial. Alternativamente, la capa de silicio 84 puede impurificarse con fósforo. La capa de dióxido de silicio 82 define los contornos de la máscara para formar la punta 20. Además, la capa de dióxido de silicio 82 puede definir contornos para formar un separador 90, que separa verticalmente la sonda de activación electrostática 72 respecto del contraelectrodo 81, que se desarrolla sobre un sustrato de vidrio 94 separado. En la figura 10B, la punta de silicio 20 y el separador 90 están formados a partir de la pastilla de silicio epitaxial 88 mediante grabado EDP. A continuación, como se muestra en la figura 10C, se desarrolla una capa de óxido térmico 92 sobre la pastilla de silicio epitaxial 88, incluyendo la punta 20, el separador 90 y la capa de silicio impurificada con boro 84, para proteger el lado frontal durante la emisión final. Como se muestra en la figura 10D, a continuación la pastilla de silicio 86 es grabada mediante EDP para retirar el material bajo de la capa de silicio impurificado con boro 84, y liberar el voladizo de silicio impurificado con boro 50.

Después, como se muestra en la figura 10E, se retira la capa de óxido térmico 92 y se forma las sondas de activación electrostática 84 a partir de la capa de silicio impurificado con boro 84, incluyendo preferentemente de forma integral el voladizo 50, el resorte blando 80 y la placa con forma de paleta 78, para cada sonda en la matriz. Preferentemente, la parte del voladizo 50 en disposición longitudinal entre la placa con forma de paleta 78 y el resorte blando 80, tiene un área en sección transversal a lo largo de la dirección lateral, es decir en la dirección paralela a la longitud del resorte blando, mayor que la parte distal del voladizo. De este modo, la desviación de la punta 20 es mayor debido a que el torque de la curvatura es transferido completamente al resorte de soporte 80. La sonda de activación electrostática 72 es liberada.

Finalmente, como se muestra en la figura 10F, la capa de vidrio 94 y el contraelectrodo conectado 81 son fabricados o situados sobre el separador 90.

El método preferido de fabricación tiene como resultado sondas de activación electrostática 72 que tienen una punta afilada 20 (preferentemente, radio de curvatura < 100 nm) y una separación de aproximadamente $620 \mu\text{m}$ sobre el centro. Por consiguiente, las sondas de activación electrostática 72 acordes con una realización preferida de la presente invención pueden ser utilizadas tanto para escritura de DPN como para formación de imágenes AFM.

Cables de empalme (no mostrados) conectan preferentemente la placa con forma de paleta 78 a potencial de tierra, mientras que el contraelectrodo 81 está preferentemente acoplado eléctricamente al circuito de control 48, a través de pastillas de empalme 85 para aplicar tensión al contraelectrodo. Se apreciará que los potenciales eléctricos de la placa con forma de paleta 78 y el contraelectrodo 81 pueden invertirse alternativamente; es decir, la placa con forma de paleta puede acoplarse a una fuente de tensión mientras que el contraelectrodo puede conectarse a tierra. Las modificaciones necesarias para semejante realización alternativa, serán comprendidas por las personas cualificadas en el arte.

En un método preferido de funcionamiento, se aplica tensión a la placa con forma de paleta 78 al objeto de aplicar potencial a la placa con forma de paleta 78, mientras el contraelectrodo conductivo 81 se pone a tierra. De nuevo, alternativamente las funciones de aplicación de tensión y conexión a tierra podrían invertirse entre el contraelectrodo 81 y la placa con forma de paleta 78. Ambas operaciones aplican una tensión eléctrica diferencial a través del contraelectrodo 81 y la placa con forma de paleta 78, que están preferentemente separados por el separador 90. Se desarrolla una fuerza de atracción entre las placas del contraelectrodo 81 y la placa con forma de paleta 78, que tira de ambas en mutua atracción, inclinando así el voladizo 50 y preferentemente desviando angularmente el voladizo 50 en torno al resorte blando 80, para mover la punta 20 separándola del sustrato 24. Como en las sondas de activación térmica 54, la punta 20 puede así ser elevada de forma selectiva, al objeto de suspender el proceso de escritura (o de formación de imágenes).

Se ha descrito una serie de realizaciones preferidas para matrices activas de una dimensión. Sin embargo, son posibles igualmente matrices en dos dimensiones. La figura 11 muestra una matriz bidimensional 100 acorde con otra realización preferida de la presente invención. La matriz bidimensional 100 mostrada en la figura 11 incluye un chip 102 que tiene seis filas y cinco columnas de sondas inclinadas hacia abajo 104. Las sondas inclinadas hacia abajo 104 pueden producirse, por ejemplo, mediante modificar el proceso de formación para la matriz de sondas de activación térmica 56, extendiendo voladizos de sondas de activación térmica individuales 54 desde cavidades (celdas replicadas) que preferentemente están en disposición homogénea a lo largo de la matriz bidimensional 100. Las sondas de activación térmica 54 están preferentemente integradas en la matriz bidimensional 100, como las sondas inclinadas hacia abajo 104, debido a una menor longitud requerida para cada voladizo 50. Los métodos para modificar las etapas de fabricación y el funcionamiento de las sondas de activación térmica 54 en la matriz bidimensional 100, serán comprendidas por aquellas personas cualificadas en el arte.

Una persona cualificada en el arte puede apreciar que se ha mostrado y descrito varios dispositivos y métodos inventivos para matrices DPN, que tienen diversos atributos y ventajas. Mediante configurar cada sonda para que sea individualmente dirigida y activada mediante la aplicación de corriente o tensión, ya sea de modo térmico o electrostático, la matriz de sondas activas acorde con las realizaciones de la presente invención permite la formación de patrones arbitrarios con resolución añadida, a capacidades de producción comparables a los métodos convencionales.

Referencias citadas en la descripción

5 *La lista de referencias citadas por el solicitante es solo para comodidad del lector. No forma parte del documento de Patente Europea. Aunque se ha tomado especial cuidado en recopilar las referencias, no puede descartarse errores u omisiones y la EPO rechaza toda responsabilidad a este respecto.*

Documentos de patente citados en la descripción

- 10 • US 5 666 190 A [0004]
- WO 0 041 213 A [0005]
- US 5 835 477 A [0006] [0006]
- 15 • US 0 000 319 W [0007]

Bibliografía no de patentes citada en la descripción

- 20 R. **PINER** *et al.* *Dip-Pen Nanolithography*, *Science*, 1999, volumen 283, 661-663 [0024]
- S. **HONG** *et al.* *Multiple Ink Nanolithography: Toward a Multiple-Pen Nano-Plotter*, 1999, volumen 286, 523-525
- 25 S. **HONG** *et al.* *A Nanoplotter with Both Parallel and Serial Writing Capabilities*. *Science*, volumen 288, 1808-1811 [0024]

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de nanolitografía (32, 100) para aplicar al menos un compuesto de formación de patrones (26) a un sustrato, aparato que comprende:

una matriz (56, 74) de sondas accionables selectivamente, la mencionada matriz de sondas accionables (38, 54, 72, 104) estando dispuesta en paralelo, donde cada una de las mencionadas sondas accionables selectivamente comprende:

un voladizo (50);

una punta (20) en un extremo del mencionado voladizo, para aplicar al mencionado sustrato uno de los mencionados al menos un compuesto de formación de patrones, la punta (20) estando dispuesta para ser cubierta con el mencionado compuesto de formación de patrones y para aplicar el mencionado compuesto de formación de patrones (26) al mencionado sustrato; y

un accionador (66, 68, 76) acoplado operativamente al mencionado voladizo, el mencionado accionador estando controlado por una unidad de control auxiliar (48) conectada, adaptada para aplicar corriente o tensión al objeto de mover el mencionado voladizo para que mueva la mencionada punta separándola del mencionado sustrato, para controlar el estado del contacto entre la punta (20) y el sustrato, teniendo como resultado una suspensión del proceso de formación de patrones, **caracterizado** porque el mencionado accionador (66, 68, 76) es un accionador térmico o un accionador electrostático (76).

2. El aparato de la reivindicación 1, en el que el mencionado voladizo se desvía en respuesta a la mencionada corriente o tensión procedentes de una fuente de corriente o de tensión, para mover la mencionada punta.

3. El aparato de la reivindicación 1, en el que el mencionado accionador térmico comprende además:

un calentador resistivo (66) conectado al mencionado voladizo, el mencionado calentador resistivo siendo selectivamente operativo en respuesta a la mencionada corriente; y

un cable (70) que conecta eléctricamente el mencionado calentador resistivo, a una fuente de corriente (48), mediante lo que la aplicación de corriente al mencionado calentador resistivo desde la mencionada fuente de corriente o tensión, tiene como resultado una desviación del mencionado voladizo.

4. El aparato de la reivindicación 3, en el que el mencionado accionador térmico comprende además:

un parche de metal (68) conectado al mencionado voladizo, con el mencionado parche de metal teniendo un coeficiente de expansión térmica diferente respecto del coeficiente de expansión térmica del mencionado voladizo.

5. El aparato de la reivindicación 1, en el que el mencionado accionador electrostático comprende además:

un primer electrodo (78) formado en un segundo extremo del mencionado voladizo opuesto a la mencionada punta;

un segundo electrodo (81) frente al primer electrodo (78), y que está en comunicación electrostática con el mencionado primer electrodo (81);

al menos uno del mencionado primer electrodo y el mencionado segundo electrodo, estando acoplado a la mencionada fuente de corriente o tensión (48);

mediante lo que en la distribución selectiva de la mencionada tensión procedente de la mencionada fuente de corriente o tensión, provoca una tensión eléctrica diferencial a través del mencionado primer electrodo y el mencionado segundo electrodo, provocando que se incline al menos una parte del mencionado voladizo.

6. El aparato de la reivindicación 5, que comprende además:

un soporte de torsión (80) conectado cerca de un punto intermedio del mencionado voladizo, mediante lo que el mencionado voladizo se desvía angularmente en torno al mencionado soporte de torsión, durante el funcionamiento del mencionado accionador electrostático.

7. El aparato de la reivindicación 1, en el que el mencionado voladizo consta de una película delgada de nitruro de silicio (60), desarrollada por un método de deposición química en vapor a baja presión.

8. El aparato de la reivindicación 1, en el que el mencionado voladizo consta de silicio (84) impurificado con boro o fósforo.

9. El aparato de la reivindicación 1, en el que la mencionada matriz es bidimensional.

10. Un método de nanolitografía, para la aplicación de al menos un compuesto de formación de patrones (26) a un sustrato (24), con patrones arbitrarios (28), el método comprendiendo las etapas de:

proporcionar una pluralidad de sondas accionables selectivamente (38, 54, 72, 104), cada sonda teniendo una punta (20) en un extremo distal;

recubrir las mencionadas puntas con el mencionado al menos un compuesto de formación de patrones;

mover sobre el sustrato las mencionadas puntas de la mencionada pluralidad de sondas accionables selectivamente, de forma que las mencionadas puntas estén cerca del mencionado sustrato o en contacto con este, para permitir la aplicación del mencionado al menos un compuesto de formación de patrones; realizar un barrido de trama de la mencionada matriz sobre el mencionado sustrato; y,

durante la mencionada etapa de barrido de trama, accionar selectivamente mediante activación térmica o electrostática al menos una sonda seleccionada entre la mencionada matriz de sondas accionables selectivamente, para mover la mencionada punta de la mencionada sonda seleccionada separándola del mencionado sustrato,

mediante lo que la mencionada al menos una sonda seleccionada, no aplica el mencionado al menos un compuesto de formación de patrones al mencionado sustrato, y mediante lo que las sondas no seleccionadas aplican el mencionado al menos un compuesto de formación de patrones, al mencionado sustrato.

11. El método acorde con la reivindicación 10, en el que la mencionada etapa de activación selectiva de al menos una sonda seleccionada a partir de la mencionada matriz de sondas activadas selectivamente, comprende la etapa de:

aplicar una corriente a un calentador resistivo (66) acoplado a la mencionada sonda seleccionada, para flexionar una parte de la mencionada sonda seleccionada.

12. El método acorde con la reivindicación 10, en el que la mencionada etapa de activar selectivamente la mencionada sonda seleccionada, comprende las etapas de:

aplicar una tensión eléctrica diferencial entre un primer electrodo (78) y un segundo electrodo (81) opuesto al mencionado primer electrodo (78), el mencionado primer electrodo estando en un extremo de la mencionada sonda seleccionada, mediante lo que los mencionados electrodos primero y segundo se mueven en aproximación mutua para inclinar la mencionada sonda seleccionada.

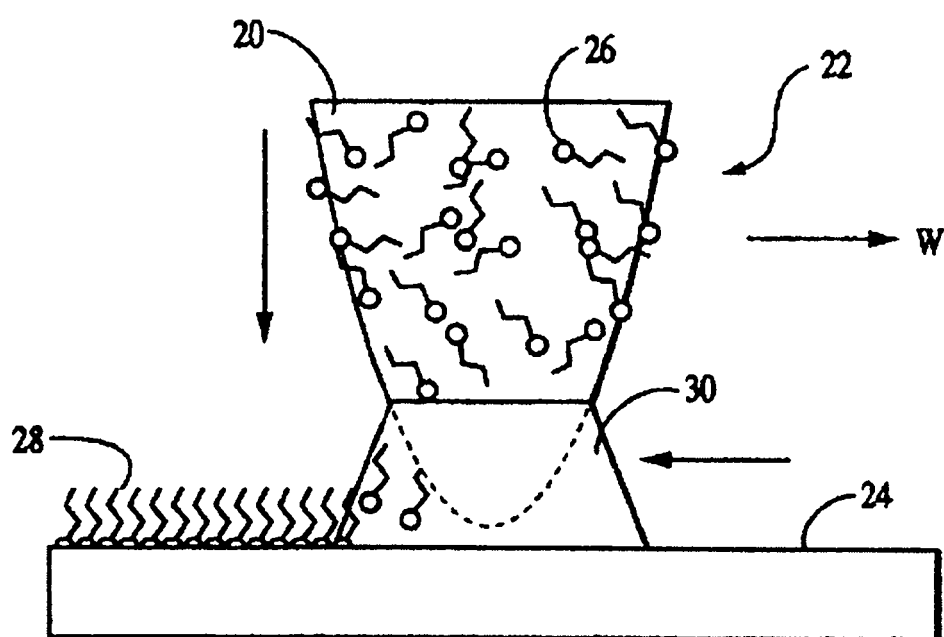


FIG. 1
ARTE PREVIO

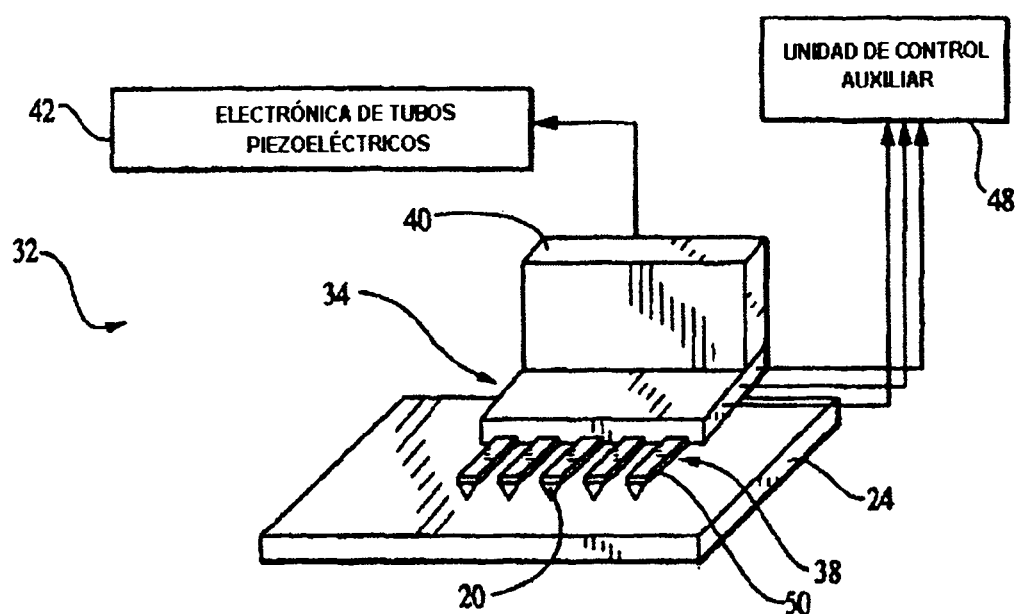


FIG. 2

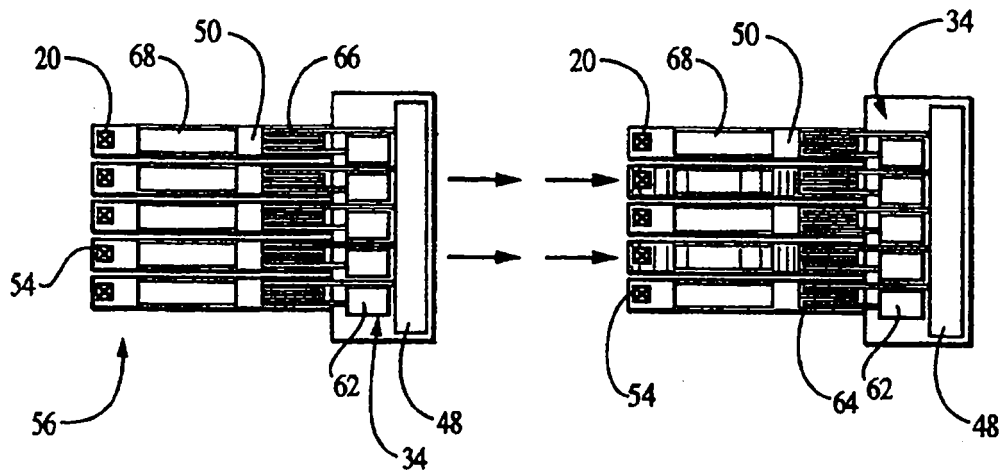


FIG. 3A

FIG. 3B

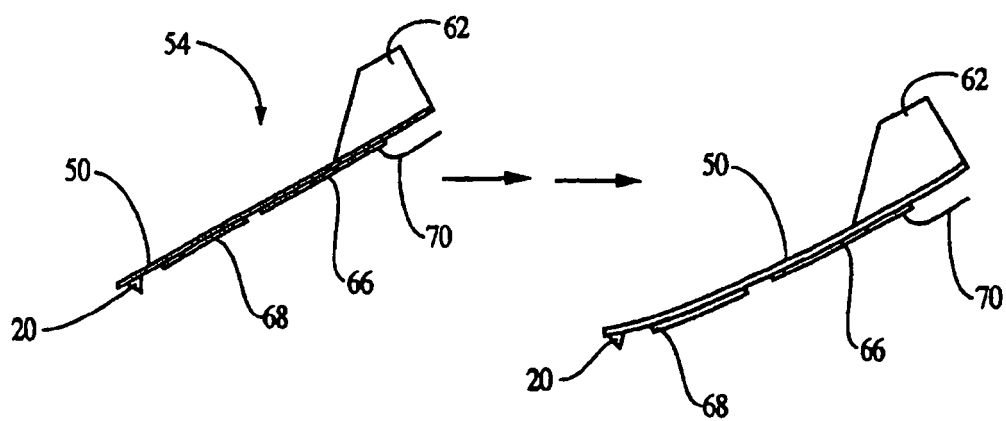


FIG. 4A

FIG. 4B

FIG. 5A



FIG. 5B

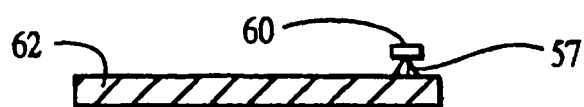


FIG. 5C

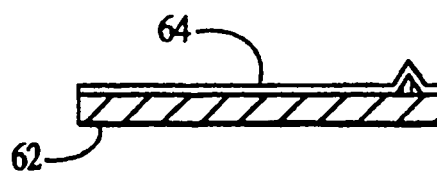


FIG. 5D

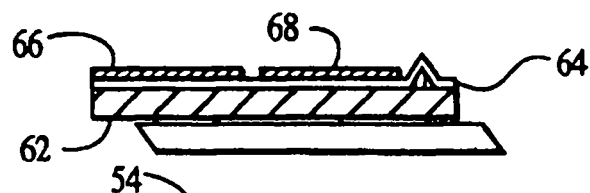


FIG. 5E

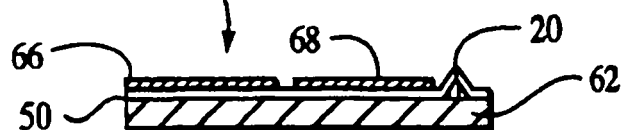


FIG. 6A

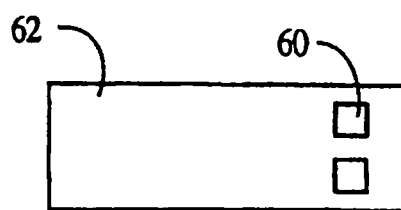


FIG. 6B



FIG. 6C

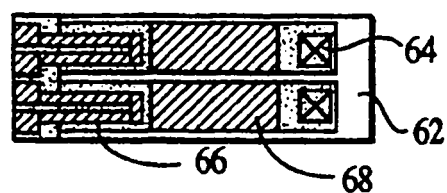
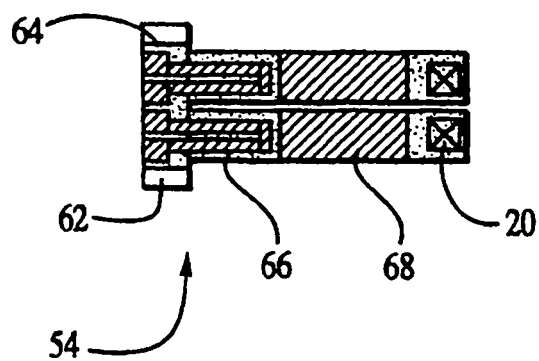


FIG. 6D



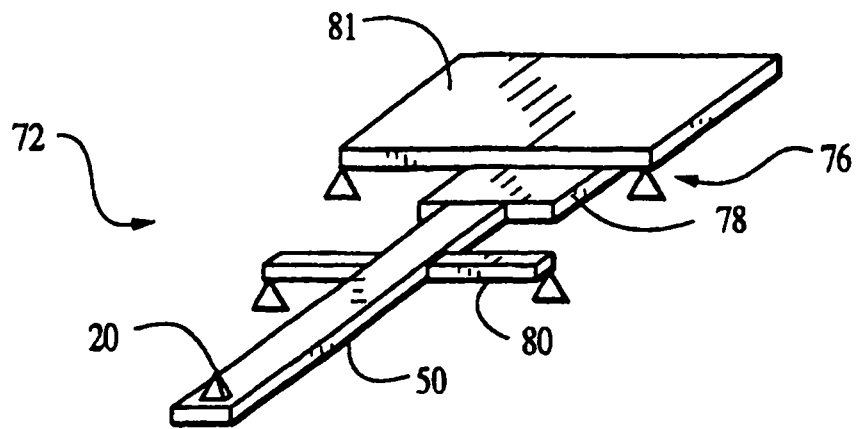


FIG. 7

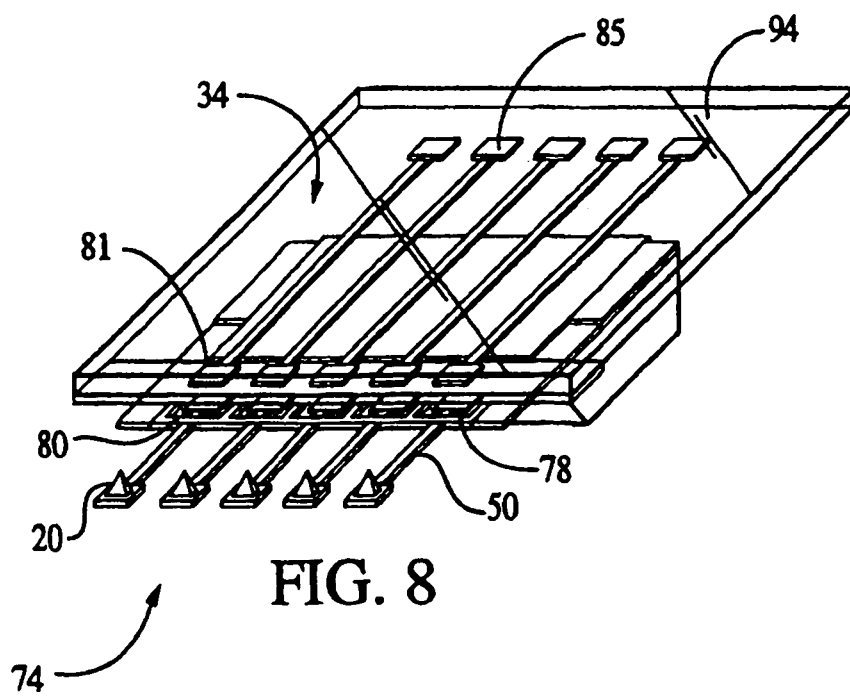


FIG. 8

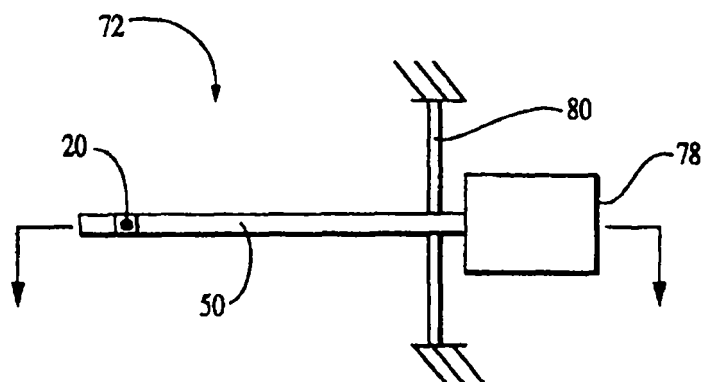


FIG. 9

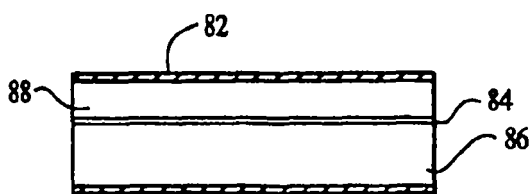


FIG. 10A

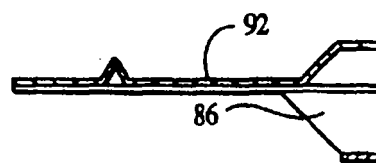


FIG. 10D

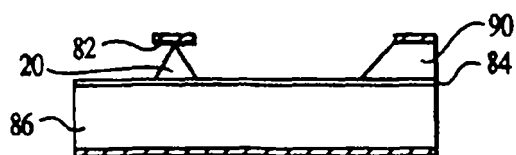


FIG. 10B

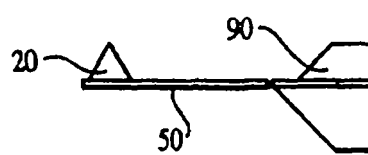


FIG. 10E

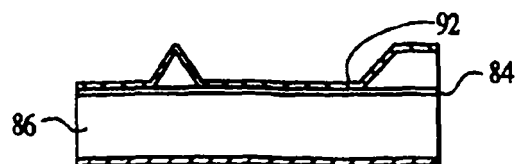


FIG. 10C

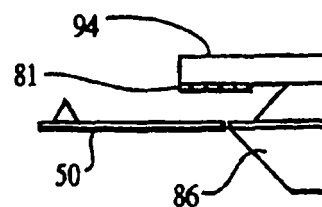


FIG. 10F

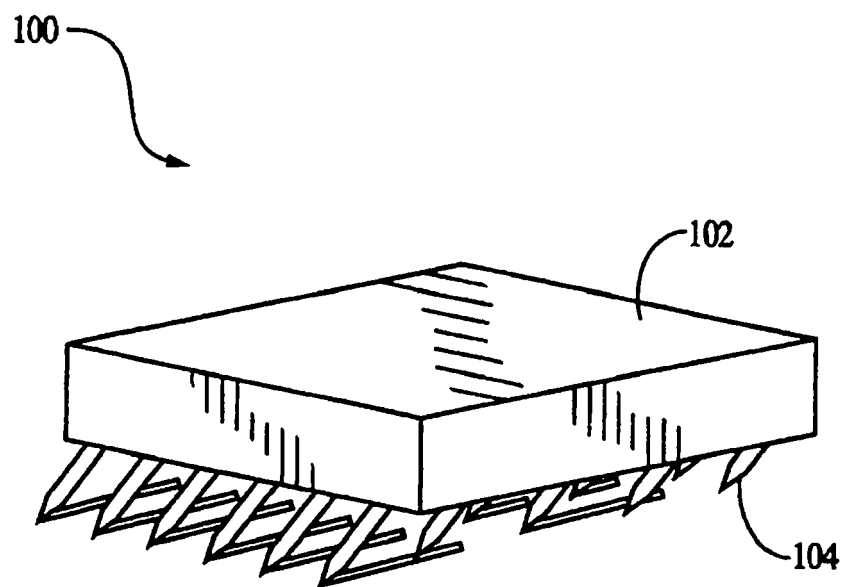


FIG. 11