

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 390 604**

51 Int. Cl.:
H01L 41/053 (2006.01)
H01L 41/083 (2006.01)
H01L 41/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07801142 .6**
96 Fecha de presentación: **11.07.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2057697**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.05.2009**

54 Título: **Actuador piezocerámico plano y procedimiento para fabricar el mismo**

30 Prioridad:
29.08.2006 DE 102006040316

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.11.2012

73 Titular/es:
**DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND
RAUMFAHRT E.V. (100.0%)
LINDER HÖHE
51147 KÖLN, DE**

72 Inventor/es:
WIERACH, PETER

74 Agente/Representante:
ZUAZO ARALUZE, Alexander

ES 2 390 604 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

Actuador piezocerámico plano y procedimiento para fabricar el mismo.

5 La invención se refiere a un actuador piezocerámico plano con placas multicapa, que tienen un conjunto de placas piezocerámicas separadas entre sí mediante respectivos electrodos positivos o negativos, alternándose los electrodos positivos y negativos y estando constituidos integralmente con las placas piezocerámicas y con superficies de electrodo colector para los electrodos positivos y negativos, que están unidas eléctricamente con los electrodos positivos o negativos asociados y que están dispuestas en dos superficies exteriores enfrentadas de las placas multicapa, teniendo las placas multicapa forma de placa con una anchura de las placas multicapa, definida por la distancia entre las superficies del electrodo colector enfrentadas, bastante mayor que el espesor de las placas multicapa.

10

La invención se refiere además a un procedimiento para fabricar un actuador piezocerámico plano con las etapas:

- a) fabricación de un bloque cerámico paralelepípedo monolítico compuesto por un conjunto de placas piezocerámicas separadas entre sí mediante respectivos electrodos positivos o negativos, alternándose los electrodos positivos y negativos y estando constituidos integralmente con las placas piezocerámicas,
- 15 b) aplicación de superficies de electrodo colector eléctricamente conductoras en dos lados exteriores opuestos del actuador plano tal que las superficies del electrodo colector se unen eléctricamente con los correspondientes electrodos positivos o negativos.

20 Los actuadores y sensores a base de materiales multifuncionales son una parte integrante esencial de las estructuras adaptivas. Como componentes integrales de la estructura, asumen los mismos en el caso más favorable también la función de soportar cargas. Los materiales multifuncionales, denominados también "Smart Materials" o materiales inteligentes, son convertidores de energía, que reaccionan de una manera técnicamente aprovechable a un estímulo exterior. Lo más frecuente es utilizar materiales que reaccionan a un campo eléctrico, térmico o magnético con una variación de sus características mecánicas. Los representantes más conocidos son piezocerámicas (acción de la fuerza/deformación en el campo eléctrico), aleaciones con memoria de forma (acción de la fuerza/deformación en función de la temperatura) o líquidos electrorreológicos y magnetorreológicos (influencia de la transmisión del empuje en el campo eléctrico o magnético). A menudo funciona el efecto en ambos sentidos, con lo que los correspondientes materiales pueden utilizarse no sólo como actuadores sino también como sensores.

25 Debido a una serie de ventajas, las piezocerámicas son actualmente los materiales multifuncionales más empleados al respecto. El funcionamiento de las piezocerámicas se basa en el efecto piezoeléctrico, que describe la interacción entre el estado mecánico y eléctrico de una clase especial de cristales. Cuando proporcionalmente a la deformación del cristal aparecen cargas eléctricas, esto se denomina efecto piezoeléctrico directo. Este efecto puede utilizarse sensoricamente, detectándose las cargas eléctricas mediante un instrumento de medida adecuado. La inversión de este efecto se denomina efecto piezoeléctrico inverso, en el que el cristal modifica su forma bajo la influencia de un campo eléctrico. Mediante este efecto se utiliza la piezocerámica como actuador.

30 Los materiales piezocerámicos tienen la ventaja de que pueden utilizarse en una gran gama de frecuencias hasta muy entrada la gama de los kHz, presentan una elevada rigidez de típicamente 60 GPa y pueden ser controlados de manera sencilla mediante un campo eléctrico.

35 Las piezocerámicas se fabrican a gran escala industrial y pueden obtenerse de distintos ofertantes en diferentes formas constructivas a un precio favorable. Un inconveniente de las piezocerámicas reside no obstante en la naturaleza de los materiales cerámicos. Las piezocerámicas son frágiles y con ello quebradizas. Mientras que soportan las cargas de compresión muy bien, han de evitarse en todos los casos cargas de tracción. Una elaboración fiable y una integración estructural de los materiales, por lo general muy sensibles, implica por lo tanto costes y riesgo.

40 Un concepto ventajoso y adecuado para la industria es por lo tanto realizar primeramente una elaboración de los correspondientes materiales para formar componentes compactos y manejables en forma de piezocompuestos. Los piezocompuestos son materiales compuestos que constan de materiales piezocerámicos y materiales polímeros, por ejemplo resinas sintéticas. Mediante combinación con materiales polímeros dúctiles, por ejemplo mediante fundición o adherencia, pueden lograrse mejoras de las propiedades para determinadas aplicaciones. Los piezocompuestos así formados se caracterizan en particular por una reducida fragilidad. Incluyendo los materiales piezocerámicos en el compuesto, pueden regularse selectivamente características del material como por ejemplo rigidez o amortiguamiento. Además pueden introducirse también componentes adicionales necesarios, como electrodos, acometidas de energía, aisladores, etc. Sólo en una segunda etapa se combinan los actuadores y sensores con el material estructural o la estructura.

45 Un campo de aplicación esencial es la utilización de piezocompuestos en la técnica de ultrasonidos para constituir convertidores de ultrasonido, que principalmente se utilizan en la diagnosis médica para la prueba no destructiva de materiales y en la técnica del sonar. En la adaptrónica se utilizan piezocompuestos esencialmente para reducir,

55

generar o detectar deformaciones de estructuras para el control del ruido, la vibración y la forma. La adaptónica tiene un centro de gravedad especial en la sensorica y actórica distribuida. Contrariamente a los actuadores discretos, como por ejemplo los actuadores de apilamiento piezoeléctrico, no se aplica la fuerza en dos puntos explícitos, sino mediante empuje a través de una unión plana, por lo general mediante una capa adhesiva. En particular para la construcción ligera poseen los actuadores/sensores planos, que a continuación se denominarán actuadores planos, una gran importancia, ya que no son necesarios puntos masivos de aplicación de la fuerza. Optimizando el peso y el espacio constructivo, se alojan los actuadores planos (actuadores y sensores) en estructuras de construcción ligera de paredes delgadas e influyen sobre las vibraciones y deformaciones directamente en el lugar donde aparecen. En comparación con actuadores discretos, cuya rigidez y con ello eficiencia desciende, en base a sus principios, al aumentar la longitud, pueden realizarse actuadores planos sin pérdida de la eficiencia con cualquier longitud.

También aquí resulta que combinando el material cerámico frágil con un compuesto polímero pueden lograrse características mejoradas. El relleno con el polímero se realiza por lo general a elevadas temperaturas, típicamente de 120 °C. Debido a los distintos coeficientes de dilatación térmica del material polímero y la cerámica, así como debido a la contracción del polímero cuando se endurece, resulta un pretensado a compresión del material cerámico en el plano. Debido a ello pueden cargarse los piezocompuestos también a tracción dentro de ciertos límites.

Las ventajas esenciales cuando se utilizan piezocompuestos son así la protección de la frágil piezocerámica frente a cargas exteriores, la mejor manejabilidad, la sencilla toma de contacto eléctrico, un actuador aislado eléctricamente, el pretensado a compresión de la piezocerámica debido a los distintos coeficientes de dilatación térmica del material aislante o de la masa de asiento y de la piezocerámica, la eliminación de puntas de tensión en la cerámica impidiendo la propagación de grietas, una gran deformabilidad pasiva, una duración mayor de los convertidores y la posibilidad de realizar arquitecturas complejas.

Los materiales de partida para fabricar actuadores planos piezocerámicos son principalmente delgadas plaquitas piezocerámicas, que también se denominan piezoláminas, y fibras piezocerámicas, que se fabrican con distintos procedimientos, composiciones y dimensiones.

De los tres efectos parciales piezoeléctricos que dependen de la dirección

- efecto longitudinal o efecto d_{33}
- efecto transversal o efecto d_{31}
- efecto de cizalla o efecto d_{15}

se aprovechan para piezocompuestos en la adaptónica casi exclusivamente los efectos longitudinal y transversal. La relación entre extensión y campo eléctrico se describió mediante la constante de carga "d" específica del material, partiéndose simplifícadamente de una relación lineal entre extensión y campo eléctrico. Los índices designan entonces la causa y el efecto y se refieren a direcciones de coordenadas de un sistema de coordenadas usual en la ciencia de los materiales.

En el efecto d_{31} se utiliza la extensión que resulta transversalmente al campo eléctrico aplicado. El campo eléctrico se aplica en 3 direcciones (causa) y se utiliza en 1 dirección (efecto). La constante d_{31} es negativa, ya que al aplicar un campo eléctrico positivo en 3 direcciones se realiza una contracción de la piezocerámica en 1 dirección. Análogamente a ello, se utiliza en el efecto d_{33} el alargamiento de la piezocerámica en 3 direcciones al aplicar un campo eléctrico positivo en 3 direcciones. Puesto que el cuerpo cerámico se alarga en esta configuración, la constante d_{33} es positiva. En función de cuál de ambos efectos se utiliza, se habla también de "elongadores" o "contractores".

La configuración de los electrodos es por lo tanto decisiva en cuanto a cuál de ambos efectos se utiliza. La estructura más sencilla para un actuador plano resulta para el efecto d_{31} . En este caso es suficiente un electrodo plano sencillo, que se aplica por ambos lados sobre una piezolámina delgada. El campo eléctrico se configura entonces homogéneo entre los electrodos. El espesor de la piezocerámica define no obstante la distancia entre electrodos y con ello la tensión necesaria para aplicar un determinado campo eléctrico. Es usual un espesor de unos 0,2 mm, con el que es necesaria una tensión de 200 V para generar un campo eléctrico de 1 kV/mm.

Los actuadores piezocerámicos planos que utilizan el efecto d_{31} se conocen por ejemplo por el documento WO 95/20827, US 5,894,651 A y DE 100 51 784 C1. En el documento DE 100 51 784 C1 se propone utilizar para la toma de contacto de los electrodos una fina red de hilos de cobre, que durante el proceso de fabricación se aloja junto con la piezocerámica en un polímero y que cubre los electrodos casi por completo. De esta manera resulta en particular en la zona de transición entre la zona activa y la pasiva una unión eléctrica flexible y fiable, que incluso con cargas dinámicas elevadas es insensible a la aparición de grietas. Cubriendo por completo el electrodo queda asegurado que incluso en una rotura todos los fragmentos de la rotura siguen tomando contacto y sólo se influye levemente sobre la potencia de la cerámica.

ES 2 390 604 T3

- Los compuestos planos d_{33} monolíticos se conocen por ejemplo por los documentos US 307,306 B1, DE 199 28 189 A1 y US 6,208,026 B1. Para aplicar el campo eléctrico en 3 direcciones se somete a mordentado un electrodo de peine en una lámina de poliamida recubierta de cobre y se cubre con la lámina. Es problemática la utilización de láminas monolíticas junto con electrodos de peine. Las distancias entre electrodos y la anchura del electrodo de dedo son relativamente grandes, para que la repercusión del campo eléctrico heterogéneo no dé lugar a daños en la cerámica durante el funcionamiento.
- Se conoce también el rayado múltiple de la piezolámina monolítica con ayuda de un láser en la dirección longitudinal del actuador, sin llegar a la separación total. Con esta medida se logra una actuación selectiva del convertidor, ya que la rigidez de las acanaladuras es mayor que en transversal al respecto.
- Al ser heterogéneos los campos eléctricos, sólo son adecuadas piezoláminas monolíticas en determinadas condiciones para constituir convertidores d_{33} con electrodos de peine.
- Mediante arquitecturas a modo de fibras del material de partida piezocerámico se intenta influir favorablemente sobre las características de resistencia duradera de piezocompuestos, ya que las grietas que aparecen en piezofibras individuales no se propagan por todo el cuerpo cerámico, sino que se detienen en los límites hacia el polímero.
- En compuestos de piezofibras se funden fibras piezocerámicas en una monocapa con un polímero. La aplicación del campo eléctrico se realiza de nuevo mediante un electrodo de peine utilizando vías conductoras flexibles (láminas de poliimida) generadas mediante mordentado o láminas de poliéster impresas con un adhesivo conductor.
- El diámetro de las fibras individuales se encuentra en estos compuestos de piezofibras entre 150 y 250 μm . Un inconveniente esencial de la tecnología reside en la costosa fabricación. Cada fibra ha de alojarse individualmente y orientarse en el compuesto. Además el material de partida es varias veces más caro que las piezoláminas.
- Por el documento US 6,629,341 B2 se conoce la utilización de piezoláminas más económicas para fabricar piezofibras con sección rectangular cortando a medida las piezoláminas mediante máquina. Para el corte a medida de las piezoláminas se utilizan sierras para obleas de la industria de los semiconductores. Las piezoláminas no sometidas a electrodos, monolíticas, se sierran cortándolas en bandas delgadas y a continuación se pegan con vías conductoras flexibles de poliimida y estructura de electrodos de peine mordentada. Al serrar la piezoláminas se reduce claramente la rigidez del actuador transversalmente a la dirección de corte, con lo que también resulta para este compuesto una acción de actuador orientada. Debido a la sección rectangular de las fibras y a una geometría de electrodos optimizada resultan valores de extensión típicos de 1.600 μm para una tensión de 1500 V.
- Una exigencia esencial en la aplicación de piezocompuestos como actuadores es una máxima capacidad de trabajo. Los actuadores deben por lo tanto poder generar las máximas fuerzas y trayectorias. Las máximas fuerzas y trayectorias vienen predeterminadas por el material piezocerámico. Aún cuando las extensiones y fuerzas se logran debido a la utilización del efecto piezoeléctrico longitudinal (efecto d_{33}), tienen las soluciones técnicas aplicadas hasta ahora para utilizar este efecto d_{33} , basadas en electrodos superficiales a modo de peine, una serie de inconvenientes. Éstos son la heterogénea distribución del campo en el material cerámico, la gran carga electromecánica del material piezoeléctrico en zonas con elevados gradientes de campo, la aparición de grietas en zonas con elevados gradientes de campo, la reducción de la vida útil debido a las grietas (descargas eléctricas), la reducción de la rigidez del actuador debido a las grietas y con ello una reducción de la capacidad de trabajo, las extremadamente elevadas tensiones de servicio necesarias de hasta 2 kV, para poder generar campos eléctricos suficientemente altos, zonas pasivas (no utilizadas) dentro de los electrodos de peine y la compleja y costosa fabricación.
- También es un inconveniente que el espesor de los actuadores sólo pueda ajustarse muy limitadamente. Entre la distancia entre los electrodos y el espesor del material piezocerámico existe una relación directa. Cuanto más grueso sea el material, tanto mayor debe elegirse también la distancia entre electrodos, para que el campo pueda atravesar toda la sección. Pero con ello aumenta a la vez la tensión de servicio y se vuelve inaceptablemente alta. Por ello espesores superiores a 0,2 mm no son realizables por lo general, aun cuando ello sería deseable para aumentar el efecto de la fuerza del actuador.
- Cuando se utiliza el efecto piezoeléctrico transversal (efecto d_{31}) con electrodos planos, se logran campos eléctricos mucho más homogéneos. De esta manera se evitan ciertamente una serie de inconvenientes. Desde luego las máximas extensiones que pueden lograrse son bastante inferiores y se encuentran en aprox. un 35% de las del efecto d_{33} . Los actuadores gruesos dan lugar también aquí a un aumento de la tensión de servicio. En convertidores d_{31} resulta la tensión de servicio necesaria para generar un campo eléctrico exigido directamente de la distancia entre los electrodos y con ello del espesor del material piezoeléctrico. Cuanto más grueso sea el material, tanto mayor será la tensión de servicio.
- El documento EP 1 090 835 A1 da a conocer un actuador plano para deformar una estructura plana elástica en la dirección normal a la superficie de la estructura plana con varios elementos actuadores alojados en la estructura plana. Los elementos actuadores están formados a partir de un material que puede activarse y la estructura plana es

elástica y anisótropa. Los elementos actuadores están unidos en dos extremos opuestos con la estructura plana y ejercen fuerzas de tracción.

5 El documento EP 0 509 488 A1 da a conocer un piezoactuador en el que un conjunto de placas piezocerámicas están apiladas una sobre otra y conectadas mediante electrodos colectores en las paredes laterales opuestas. Las superficies de los electrodos colectores están unidas eléctricamente con superficies de electrodos que se encuentran entre placas piezocerámicas.

El documento W0 2005/067071 A1 da a conocer una estructura de actuador piezocerámica con barras piezocerámicas, que en su lado pequeño están interconectadas una junto a otra para formar un elemento actuador plano.

10 Por lo tanto es tarea de la presente invención lograr un actuador plano piezoeléctrico mejorado que aproveche el efecto d_{33} y pueda generar grandes extensiones para pequeñas tensiones de servicio.

15 La tarea se resuelve mediante el actuador piezocerámico plano del tipo citado al principio, alojando las placas multicapa en un plástico y estando prevista en cada caso una superficie de electrodo colector para dos placas multicapa contiguas, que conectan en cada caso los electrodos positivos o negativos de las placas multicapa contiguas.

20 Estos actuadores planos se basan en actuadores multicapa piezocerámicos, que son un desarrollo posterior de actuadores apilados piezocerámicos convencionales. Los actuadores apilados convencionales se fabrican a partir de placas piezocerámicas apiladas y pegadas entre sí. Las placas están entonces sometidas a electrodos superficialmente y se extienden al aplicar un campo eléctrico aprovechando el efecto d_{33} en la dirección de su espesor. Puesto que la extensión de una placa en la dirección de su espesor es pequeña, se apilan las placas, con lo que las extensiones de todas las placas se suman. Para la toma de contacto de los electrodos se alojan en las capas adhesivas delgadas láminas de cobre, que se llevan lateralmente hacia fuera de la pila y se conectan alternadamente. Puesto que las capas adhesivas reducen la rigidez del actuador y con ello la acción de la fuerza del actuador, se desarrollaron actuadores multicapa piezocerámicos, en los que los electrodos están aplicados como capas muy delgadas (varios μm) sobre el cuerpo de base cerámico de la piezocerámica y a continuación se sinterizan con la piezocerámica. De esta manera el electrodo es parte integrante del cuerpo cerámico monolítico. Dado que no se necesita ningún material polímero para constituir el actuador, el actuador multicapa es claramente más rígido que un actuador apilado convencional. Además posibilita esta forma constructiva una reducción de la tensión de servicio, ya que pueden alojarse más electrodos con una distancia inferior en la pila sin que descienda drásticamente la rigidez del actuador.

30 Basándose en estos actuadores multicapa paralelepípedicos conocidos, se propone con la presente invención lograr un actuador piezocerámico que no es paralelepípedo, sino que tiene forma de placa. Los espesores típicos se encuentran en la gama de 0,1 a 0,3 mm y preferiblemente en unos 0,2 mm. Las anchuras típicas se encuentran en la gama de 10 a 20 mm. Con ello puede utilizarse también para un actuador plano la ventaja de los actuadores multicapa paralelepípedicos de una distribución del campo homogénea en las zonas activas como actuador del piezocompuesto, una reducida carga electromecánica del material piezocerámico en las zonas activas como actuador, una tensión de servicio claramente inferior a igualdad de extensión activa y la ausencia de la influencia del espesor de la cerámica sobre la tensión de servicio. Mediante el alojamiento en un plástico, como por ejemplo un polímero, un compuesto de fibras, etc., se logra que el actuador plano se estabilice mecánicamente, sea manejable y esté eléctricamente aislado.

35 Preferiblemente están sinterizados los electrodos con las placas piezocerámicas para formar un cuerpo cerámico monolítico, a fin de constituir un bloque cerámico integral monolítico, que se utiliza en forma de una placa delgada o disco para el actuador plano.

45 Es especialmente ventajoso que sobre las superficies del electrodo colector para los electrodos positivos y negativos esté aplicada en cada caso una superficie de contacto elástica eléctricamente conductora. De esta manera queda asegurada para los electrodos positivos una toma de contacto eléctrica a través de la superficie del electrodo colector positiva y la superficie de contacto que se apoya encima. Correspondientemente está prevista una superficie de contacto negativa para los electrodos negativos, que se apoya sobre la superficie del electrodo colector negativa. La superficie de contacto elástica adicional da lugar a una elevada fiabilidad y duración del piezocompuesto. La misma impide que las grietas que pueden formarse en la piezocerámica den lugar a un fallo del actuador. Por principio resultan precisamente en los extremos de los dedos de los electrodos zonas con campos no homogéneos. Estas heterogeneidades originan una carga mecánica del material cerámico, con lo que en definitiva pueden aparecer grietas. Estas grietas no son críticas para el funcionamiento, ya que están localmente limitadas, pero pueden dañar la superficie del electrodo colector en el borde del actuador plano. Mediante la superficie de contacto elástica se reduce el peligro de un tal daño.

50 La superficie de contacto elástica eléctricamente conductora debe ser bastante más gruesa que la superficie del electrodo colector. La misma puede estar formada por un material no tejido eléctricamente conductor, un tejido de

cobre o un tejido de carbono. Especialmente ventajosa es la utilización de un material no tejido de poliéster metalizado para la superficie de contacto.

5 Cuando se forma un conjunto de actuadores planos a partir de varios actuadores planos dispuestos uno junto al otro, es ventajoso unir íntegramente la superficie de los electrodos de contacto mediante un procedimiento de inyección de resina con la placa multicapa, de las que al menos hay una.

10 En particular para lograr una tensión previa del actuador piezocerámico plano, que permita además de la carga a compresión también una carga a tracción, es ventajoso alojar al menos un actuador plano en un compuesto polímero y conectar eléctricamente mediante vías conductoras sobre capas del compuesto polímero. Las vías conductoras pueden por ejemplo estar impresas o mordentadas sobre las capas superior y/o inferior del compuesto polímero.

Además es tarea de la presente invención lograr un procedimiento mejorado para fabricar un tal actuador piezocerámico plano, con las etapas:

15 a) fabricación de un bloque cerámico paralelepípedo monolítico compuesto por un conjunto de placas piezocerámicas separadas entre sí mediante respectivos electrodos positivos o negativos, alternándose los electrodos positivos y negativos y estando constituidos integralmente con las placas piezocerámicas, y

b) aplicación de superficies de electrodo colector eléctricamente conductoras sobre dos caras exteriores opuestas del bloque cerámico tal que las superficies del electrodo colector se unen eléctricamente con los correspondientes electrodos positivos o negativos.

La tarea se resuelve con este procedimiento mediante las etapas adicionales:

20 c) cortar el bloque cerámico con forma paralelepípeda en placas multicapa con forma de placa, con lo que las placas piezocerámicas tienen una anchura bastante mayor, definida por la distancia entre las superficies del electrodo colector opuestas, que el espesor de las placas multicapa,

d) toma de contacto en cada caso de los electrodos positivos o negativos de las capas multicapa contiguas con una superficie de electrodo colector común; y

25 e) alojamiento del actuador plano en un plástico.

Ventajosas formas de ejecución se describen en las reivindicaciones subordinadas.

La invención se describirá a continuación más en detalle en a modo de ejemplo en base a los dibujos adjuntos. Se muestra en

30 figuras 1a) a e) esquemas del procedimiento para fabricar un actuador plano piezocerámico a partir de un bloque piezocerámico monolítico y paralelepípedo de varias capas;

figura 2 una vista de despiece en perspectiva de dos actuadores planos dispuestos uno junto a otro y alojados en un compuesto polímero;

figura 3 una curva tensión-extensión a modo de ejemplo de un actuador plano piezocerámico alojado en un compuesto polímero.

35 La figura 1 muestra en vista en perspectiva esquemáticamente la fabricación de un actuador plano piezocerámico con forma de placa.

40 La figura 1a) muestra un apilamiento multicapa 1 monolítico industrialmente disponible como punto de partida del procedimiento. La pila multicapa 1 es un cuerpo cerámico monolítico, en el que los electrodos positivos y negativos 2a, 2b están sinterizados con placas cerámicas 3 para constituir un cuerpo cerámico monolítico. Los electrodos positivos y negativos 2a, 2b están dispuestos alternándose entre en cada caso dos placas piezocerámicas 3 contiguas.

45 La figura 2 muestra que para la toma de contacto eléctrica de los distintos electrodos 2a, 2b a modo de dedos están aplicadas respectivas superficies delgadas de electrodo colector 4a, 4b en dos lados exteriores opuestos del cuerpo cerámico monolítico 1. Las superficies del electrodo colector 4a, 4b pueden fabricarse por ejemplo mediante chisporroteo o serigrafía.

50 Las cargas exteriores o las extensiones generadas debido al funcionamiento activo del actuador piezocerámico plano pueden dar lugar a grietas en los delgados electrodos planos 4a, 4b. Esto originaría, según el lugar de la grieta, un fallo parcial o total del actuador plano. Para evitar este problema se aplica, tal como se muestra esquemáticamente en la figura 1c, sobre las superficies del electrodo plano 4a, 4b, una superficie de contacto elástica conductora 5a, 5b. El material de las superficies de contacto 5a, 5b es más grueso que la superficie del

electrodo colector 4a, 4b, que también pueden suprimirse, con lo que la propia superficie del electrodo colector 4a, 4b está realizada como capa elástica eléctricamente conductora.

5 Para las superficies de contacto elásticas 5a, 5b se utilizan materiales no tejidos eléctricamente conductores, por ejemplo poliéster no tejido metalizado, tejido de cobre, tejido de carbono o similares. La aplicación del material eléctricamente conductor se realiza preferiblemente con un procedimiento de inyección de resina, siendo posibles también otros procedimientos. Para racionalizar el proceso se reúnen varios cuerpos cerámicos 1 monolíticos multicapa para formar un bloque y a la vez se dotan de la superficie de contacto 5a, 5b elástica eléctricamente conductora.

10 En la figura 1d) puede observarse que en la siguiente etapa el cuerpo cerámico 1 monolítico así preparado se corta con una sierra en discos delgados. Para simplificar el proceso de corte, pueden estar colocadas previamente zonas adicionales para sujetar las cerámicas.

15 La figura 1e) muestra un actuador piezocerámico plano con forma de placa como resultado del proceso de corte. En esta delgada placa multicapa 6 están dispuestos los electrodos no sólo superficialmente, como en los tradicionales compuestos planos d_{33} con electrodos superficiales, sino que penetran en la sección casi por completo. Se forman campos eléctricos muy homogéneos. Las distancias entre electrodos pueden reducirse considerablemente, por ejemplo a 50 μm , con lo que resultan también a igualdad de extensión tensiones de servicio bastante reducidas. No obstante, el espesor de la placa multicapa 6 no influye sobre la magnitud de la tensión eléctrica necesaria. Por lo tanto puede adaptarse la superficie de sección activa a discreción en una amplia gama.

20 La placa multicapa 6 representada en la figura 1e) es desde luego muy frágil. Para la estabilización mecánica, el aislamiento eléctrico y la toma de contacto puede estar alojada la placa multicapa 6 en un compuesto polímero, tal como se representa en la figura 2. El compuesto polímero consta de dos capas exteriores 7, de las cuales sólo se ha dibujado una. Sobre las capas 7 se aplican estructuras de vías conductoras. Preferiblemente se utilizan vías conductoras impresas o mordentadas sobre sustratos de poliamida o poliéster. Las vías conductoras 8 están dispuestas tal que las superficies de contacto elásticas 5a, 5b pueden colocarse exactamente sobre las mismas.

25 Entonces pueden constituirse actuadores planos en cualquier cantidad o configuración de placas multicapa 6, para aumentar la superficie del piezocompuesto según sea necesario. El pegado de los distintos componentes puede realizarse directamente. En el ejemplo representado se utiliza no obstante un procedimiento de inyección de resina, en el que adicionalmente se utiliza un marco 9 de un material de fibra aislante, preferiblemente poliéster no tejido. Este marco 9 sirve como distanciador y posiciona las placas multicapa 6 en el compuesto. Además posibilita el marco 9 el flujo de la resina durante el proceso de inyección. La utilización de un procedimiento de inyección de resina garantiza una elevada calidad de la pieza y una buena reproducibilidad.

30

35 Puesto que la explotación del compuesto se realiza a elevadas temperaturas, preferiblemente en la gama de 120 °C a 180 °C, se forma durante el proceso de enfriamiento una ventajosa tensión previa de compresión en el cuerpo cerámico. La misma es debida a los elevados coeficientes térmicos de dilatación del material polímero envolvente en comparación con la piezocerámica.

Para racionalizar el proceso pueden fabricarse a la vez varios piezocompuestos y dividirse posteriormente. El piezocompuesto así formado es robusto y fácil de manejar y puede utilizarse como actuador plano para cualesquiera aplicaciones.

40 La figura 3 muestra una curva tensión-extensión de un actuador piezocerámico plano alojado en un compuesto polímero. La extensión se muestra en la unidad $\mu\text{m}/\text{m}$ en función de la tensión de control para el actuador piezocerámico plano. Se observa claramente que para una tensión del servicio de 200 V se logra una extensión máxima de 1300 $\mu\text{m}/\text{m}$. No obstante, en función del tamaño y la estructura pueden lograrse mayores valores hasta al menos 1800 $\mu\text{m}/\text{m}$ para una tensión inferior a 120 V. La gama de tensiones para el control se encuentra aproximadamente entre menos 50 y 200 V. La extensión media es en el ejemplo representado de unos 4,8 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{V}$.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Actuador piezocerámico plano con placas multicapa (6), que tienen un conjunto de placas piezocerámicas (3) separadas entre sí mediante respectivos electrodos positivos o negativos (2a, 2b), alternándose los electrodos positivos y negativos (2a, 2b) y estando constituidos integralmente con las placas piezocerámicas (3) y con superficies de electrodo colector (4a, 4b) para los electrodos positivos y negativos (2a, 2b), que están unidas eléctricamente con los electrodos positivos o negativos (2a, 2b) asociados y que están dispuestas en dos caras exteriores enfrentadas de las placas multicapa (6), teniendo las placas multicapa (6) forma de placa con una anchura de las placas multicapa (6), definida por la distancia entre las superficies del electrodo colector (4a, 4b) enfrentadas, bastante mayor que el espesor de las placas multicapa (6),
- 10 **caracterizado porque** las placas multicapa (6) están alojadas en un plástico y porque en cada caso está prevista una superficie de electrodo colector (4a, 4b) para dos placas multicapa (6) contiguas y toman contacto en cada caso los electrodos positivos o negativos (2a, 2b) de las placas multicapa (6) contiguas.
- 15 2. Actuador piezocerámico plano según la reivindicación 1,
- caracterizado porque** los electrodos están sinterizados con las placas piezocerámicas (3) para formar un cuerpo cerámico monolítico (1).
3. Actuador piezocerámico plano según la reivindicación 1 ó 2,
- caracterizado porque** las superficies del electrodo colector (4a, 4b) son elásticas.
- 20 4. Actuador piezocerámico plano según la reivindicación 1 ó 2,
- caracterizado porque** sobre las superficies del electrodo colector (4a, 4b) para los electrodos positivos y negativos (2a, 2b) está aplicada en cada caso una superficie de contacto (5a, 5b) eléctricamente conductora.
5. Actuador piezocerámico plano según la reivindicación 3,
- caracterizado porque** la superficie de contacto (5a, 5b) eléctricamente conductora es bastante más gruesa que la superficie del electrodo colector (4a, 4b).
- 25 6. Actuador piezocerámico plano según la reivindicación 3 ó 4,
- caracterizado porque** las superficies del electrodo colector (4a, 4b) están formadas por material no tejido eléctricamente conductor, como por ejemplo un material de poliéster no tejido metalizado, de tejido de cobre o de tejido de carbono.
- 30 7. Actuador piezocerámico plano según una de las reivindicaciones 3 a 6,
- caracterizado porque** las superficies del electrodo colector (4a, 4b) están unidas integralmente mediante un procedimiento de inyección de resina con la placa multicapa (6), de las que al menos hay una.
8. Actuador piezocerámico plano según una de las reivindicaciones precedentes,
- caracterizado porque** la placa multicapa (6), de las que al menos hay una, está alojada en un compuesto polímero y está(n) conectada(s) mediante vías conductoras (8) sobre capas (7) del compuesto polímero.
- 35 9. Actuador piezocerámico plano según la reivindicación 8,
- caracterizado porque** las vías conductoras (8) están impresas o mordentadas sobre capas superiores y/o inferiores (7) del compuesto polímero.
10. Actuador piezocerámico plano según una de las reivindicaciones precedentes,
- 40 **caracterizado porque** las placas multicapa (6) se encuentran bajo una tensión previa a través de la superficie del electrodo colector (4a, 4b) o al compuesto polímero.
11. Procedimiento para fabricar un actuador piezocerámico plano con las etapas:
- 45 a) fabricación de un bloque cerámico paralelepípedo monolítico compuesto por un conjunto de placas piezocerámicas (3) separadas entre sí mediante respectivos electrodos positivos o negativos (2a, 2b), alternándose los electrodos positivos y negativos (2a, 2b) y estando constituidos integralmente con las placas piezocerámicas (3);

- b) aplicación de superficies de electrodo colector (4a, 4b) eléctricamente conductoras sobre dos caras exteriores opuestas del bloque cerámico tal que las superficies del electrodo colector (4a, 4b) se unen eléctricamente con los correspondientes electrodos positivos o negativos (2a, 2b),
- 5 c) corte del bloque cerámico con forma paralelepípedica en placas multicapa (6) con forma de placa, con lo que las placas multicapa (6) tienen una anchura bastante mayor, definida por la distancia entre las superficies del electrodo colector (4a, 4b) opuestas, que el espesor de las placas multicapa (6),
- d) toma de contacto en cada caso de los electrodos positivos o negativos de las capas multicapa contiguas con una superficie de electrodo colector común; y
- e) alojamiento del actuador plano en un plástico.
- 10 12. Procedimiento según la reivindicación 11,
- caracterizado por** el sinterizado de los electrodos junto con las placas piezocerámicas (3) para formar un bloque cerámico monolítico en la etapa a).
13. Procedimiento según la reivindicación 11 ó 12,
- 15 **caracterizado por** la aplicación de respectivas superficies de contacto (5a, 5b) elásticas eléctricamente conductoras sobre los electrodos colectores para los electrodos positivos y negativos (2a, 2b).
14. Procedimiento según la reivindicación 13,
- caracterizado porque** la superficie de contacto (5a, 5b) elástica eléctricamente conductora es bastante más gruesa que el electrodo colector (4a, 4b).
15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 13 ó 14,
- 20 **caracterizado porque** las superficies del electrodo colector (4a, 4b) están formadas por un material no tejido eléctricamente conductor, por ejemplo por un material no tejido de poliéster metalizado, por tejido de cobre o tejido de carbono.
16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 15,
- 25 **caracterizado por** una unión integral de las superficies del electrodo colector (4a, 4b) mediante un procedimiento de inyección de resina con las placas multicapa (6).
17. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 16,
- caracterizado por** el alojamiento de las placas multicapa (6) en un compuesto polímero y toma de contacto eléctrica del actuador plano, de los que al menos hay uno, mediante vías conductoras (8) sobre capas (7) del compuesto polímero.
- 30 18. Procedimiento según la reivindicación 17,
- caracterizado por** la impresión o mordentado de las vías conductoras (8) sobre capas (7) superiores y/o inferiores del compuesto polímero.

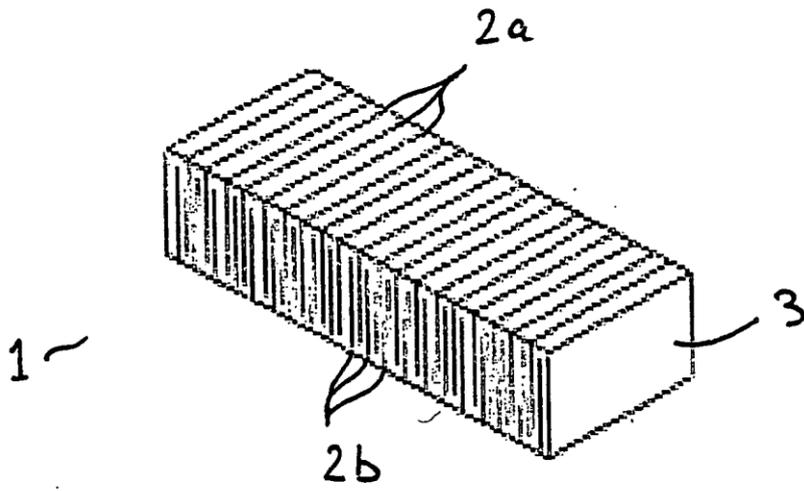


Fig. 1 a)

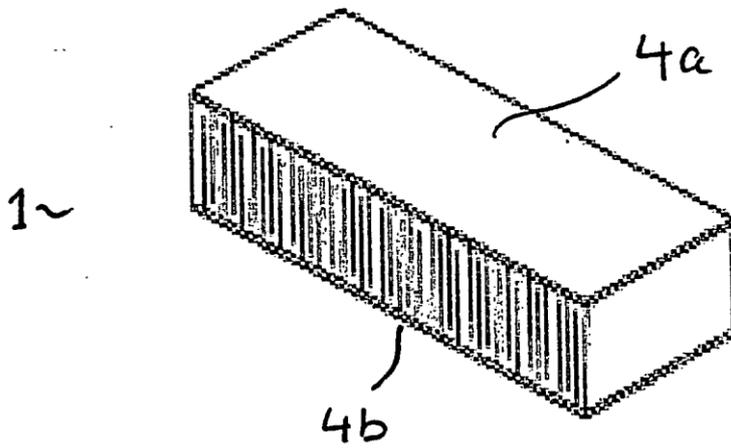


Fig. 1 b)

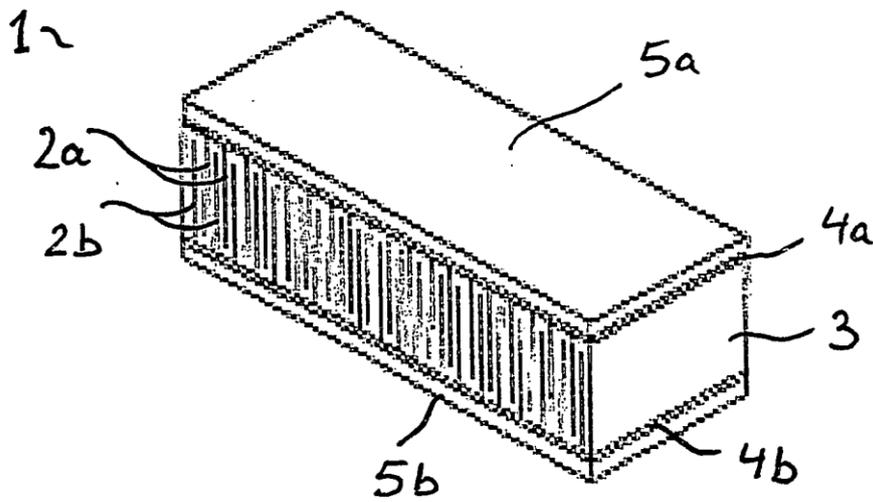


Fig. 1 c)

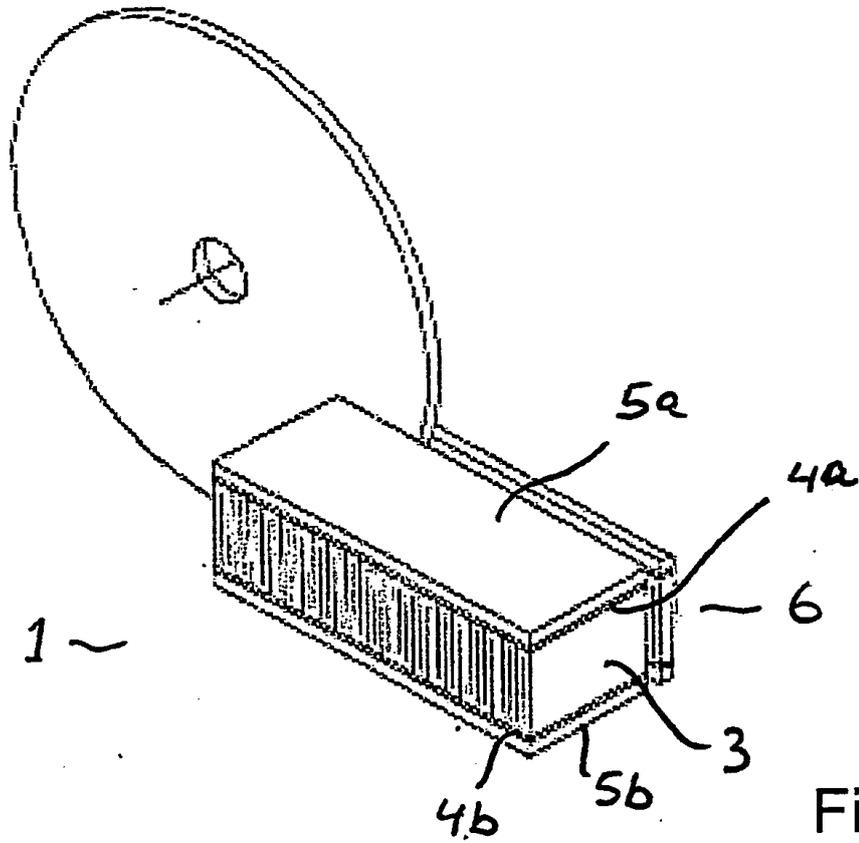


Fig. 1 d)

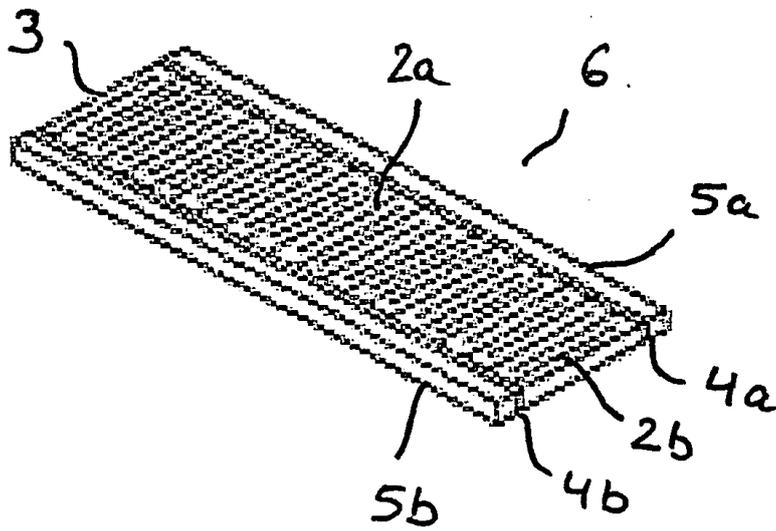


Fig. 1 e)

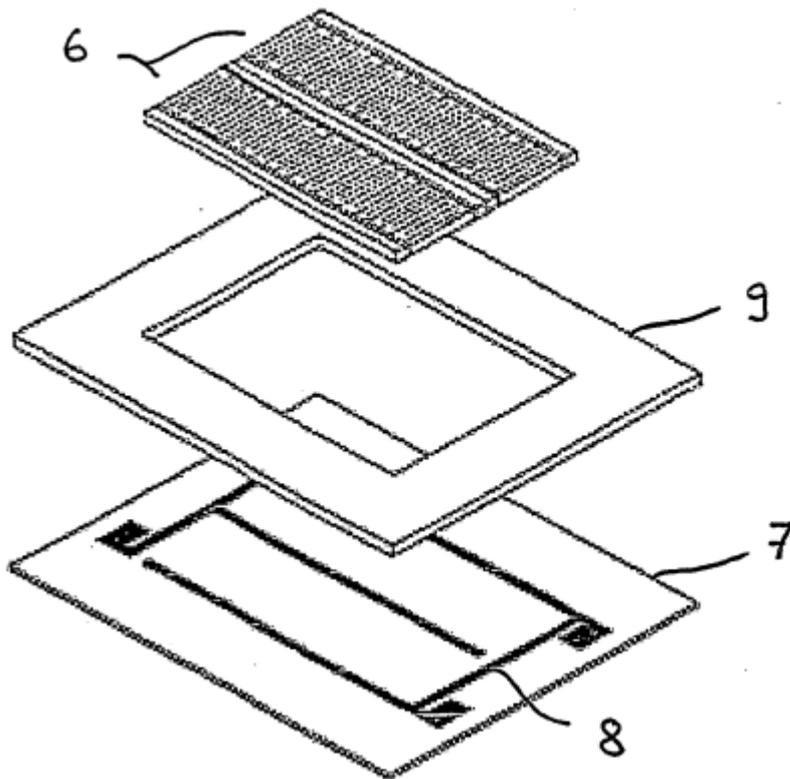


Fig. 2

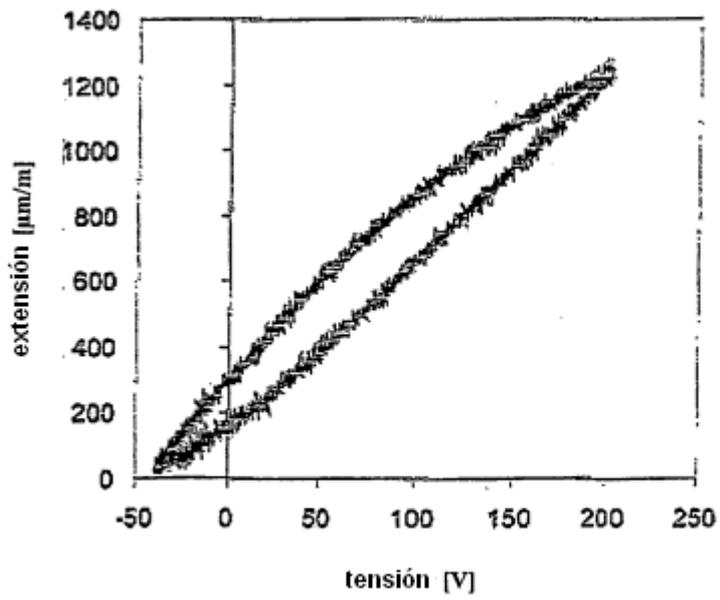


Fig. 3