

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 945**

51 Int. Cl.:

H01L 41/297 (2013.01)

H01L 41/083 (2006.01)

H01L 41/047 (2006.01)

B06B 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.06.2012 E 12733794 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.01.2015 EP 2735035**

54 Título: **Procedimiento de ensamblaje de un transductor ultrasónico y transductor obtenido por el procedimiento**

30 Prioridad:

18.07.2011 FR 1156506

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

30.04.2015

73 Titular/es:

**RENAULT S.A.S. (100.0%)
13-15 quai Le Gallo
92100 Boulogne-Billancourt, FR**

72 Inventor/es:

**LEVIN, LAURENT y
GRECA, GUSTAVO**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 534 945 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

Procedimiento de ensamblaje de un transductor ultrasónico y transductor obtenido por el procedimiento

5 El invento tiene por objeto un transductor piezoeléctrico o magnetostrictivo, en particular un transductor apto para trabajar a una frecuencia ultrasónica.

Más particularmente, el invento tiene por objeto un transductor que puede ser utilizado como accionador de un inyector de carburante de un motor térmico.

10 Los inyectores de carburante que utilizan tales accionadores ultrasónicos están descritos por ejemplo en las solicitudes de patente FR 2 941 746, FR 2 936 025, FR 2 936 024, FR 2 918 123, FR 2 889 257. Tales inyectores permiten pulverizar muy finamente el carburante y optimizar la combustión de un motor de inyección directa.

15 Tal mejora de la pulverización puede en particular limitar la cantidad de partículas emitidas por el vehículo.

Un transductor ultrasónico está típicamente compuesto de un apilamiento o « stack » en el que una capa de cerámica piezoeléctrica se encuentra cada vez colocada "en sándwich" entre dos electrodos, conectados a dos bornes diferentes de una fuente de alimentación eléctrica. El dominio de funcionamiento, (frecuencia, fuerza transmitida) de transductores adaptados a los inyectores de carburante, necesita un apilamiento de cerámicas relativamente gruesas (típicamente de 1 a 5 mm de espesor de cerámica entre dos electrodos). Tales apilamientos pueden ser realizados apilando alternativamente un espesor de cerámica y un espesor de electrodo, sin material aglutinante entre los dos espesores. El estado de superficie de las cerámicas y de los electrodos debe entonces ser cuidadosamente acabado, con una tolerancia submicrónica a fin de limitar las concentraciones de tensiones engendradas al nivel de las zonas de contacto entre los electrodos y las cerámicas, durante la compresión del apilamiento.

El documento DE 102008048051 divulga un procedimiento de fabricación de un transductor piezoeléctrico que incluye un apilamiento de electrodos planos entre los cuales están interpuestas obleas de cerámica sensiblemente de la misma superficie que los electrodos, definiendo los contornos superpuestos de las obleas de cerámica y de las obleas de electrodos caras laterales sensiblemente planas o cilíndricas del apilamiento.

El documento EP1705016 divulga un procedimiento de fabricación de un transductor piezoeléctrico que no incluye un apilamiento de electrodos planos entre los cuales están interpuestas obleas de cerámica en el dominio técnico del chorro de tinta que es diferente del de los inyectores de carburante.

35 A fin de reducir los costes de producción, se han propuesto métodos de producción alternativos, como por ejemplo realizar los electrodos por soldadura de una pasta compuesta, a base de polvo de plata, siendo aportada la soldadura a una temperatura de aproximadamente 600° C entre dos capas de cerámica sucesivas.

40 El estado de superficie del electrodo es así adaptado al estado de superficie de la cerámica. Sin embargo la temperatura de soldadura es entonces superior a la temperatura de Curie de la cerámica piezoeléctrica. Después de la operación de soldadura, el transductor debe por tanto ser sometido de nuevo a un campo eléctrico elevado, a fin de restaurar las propiedades piezoeléctricas de la cerámica. La operación de nueva polarización de la cerámica se acompaña de cambios dimensionales (inflado) que generan tensiones residuales de cizalladura al nivel de la interfaz entre el electrodo soldado y la cerámica.

Las tensiones residuales aceleran los mecanismos de deterioro por fatiga, en particular por formación de fisuras al nivel de la interfaz, durante la utilización del transductor.

50 Además de las tensiones residuales inducidas por la soldadura en la interfaz entre la cerámica y la pasta a soldar, y de los problemas de despolarización, las temperaturas de soldadura elevadas (del orden de 600° C), si no son aplicadas de manera suficientemente uniforme sobre la cerámica, pueden provocar igualmente, por dilatación diferencial, microfisuras en la propia cerámica.

55 Procedimientos que utilizan tales pastas a soldar están por ejemplo descritos en las solicitudes de patente JP 2 985 503 y JP 6 084 409. Las pastas a soldar utilizadas son respectivamente una pasta compuesta a base de polvo de plata, y una pasta a soldar compuesta a base de polvo de cerámica revestida de partículas de plata submicrónicas, es decir, partículas de plata de 500 nm o menos.

60 En este último caso, la temperatura de soldadura puede ser reducida a los alrededores de 300° C, pero los problemas de despolarización de los elementos de cerámica persisten.

El invento tiene por propósito proponer un procedimiento de ensamblaje de un transductor, en particular de un transductor ultrasónico, que evita efectuar una etapa de nueva polarización de las cerámicas después del ensamblaje del transductor. A este fin, la temperatura de la cerámica debe poder permanecer estrictamente inferior a 300° C, y durante los períodos en que la cerámica es expuesta a una temperatura superior a 100° C, las tensiones sufridas por la cerámica

no deben exceder de 40 MPa a fin de no deteriorar la microestructura de la cerámica.

A este fin, un procedimiento de fabricación de un transductor piezoeléctrico, en particular de un transductor ultrasónico, comprende las siguientes etapas. Este procedimiento permite fabricar un apilamiento de electrodos planos entre los que son interpuestas obleas de cerámica sensiblemente de la misma superficie que los electrodos, definiendo los contornos superpuestos de las obleas de cerámica y de las obleas de electrodos caras laterales sensiblemente planas o cilíndricas del apilamiento. El procedimiento comprende en particular las etapas siguientes:

- se apilan alternándolas una oblea de cerámica y una oblea de electrodo, colocando entre cada oblea de cerámica y sus dos electrodos contiguos, una composición que comprende como mínimo 75% en peso, y de preferencia como mínimo 80% en peso de nanopartículas, de plata de tamaño de granos inferior o igual a 80 nanómetros, y de preferencia de tamaño de granos inferior o igual a 60 nanómetros,
- se comprime el apilamiento calentándolo a una temperatura inferior o igual a 280° C, y de preferencia comprendida entre 200° C y 250° C.

De manera preferible, el tamaño de las nanopartículas de plata está comprendido entre 10 nanómetros y 60 nanómetros.

Ventajosamente la presión es aplicada de manera unidireccional, perpendicularmente a las obleas de cerámica, a un valor comprendido entre 2 y 20 MPa, y de preferencia comprendido entre 5 a 10 MPa, durante un período de tiempo inferior o igual a 30 minutos y de preferencia inferior o igual a 20 minutos.

Según un modo de realización preferente, después de la aplicación de la composición sobre la cerámica, la temperatura media del apilamiento es mantenida, es decir mantenida durante todo el período de tiempo que dura el procedimiento hasta la obtención del transductor funcional, por debajo de 280° C, y de preferencia por debajo de 250° C.

De manera preferente, la composición es una pasta. Por pasta, se entiende aquí una composición a base de polvo de plata que es suficientemente maleable, o incluso líquida, para poder ser extendida sobre un soporte plano. La pasta puede por ejemplo ser obtenida añadiendo componentes líquidos, o en forma de gel, al polvo de nanopartículas de plata. Se puede utilizar una pasta relativamente fluida de manera que su superficie libre esté siempre plana en estado de reposo, lo que facilita un revestimiento o enlucido regular.

En un modo de puesta en práctica preferido, para colocar una capa de composición entre una oblea de cerámica y una oblea de electrodo, se reviste una película de soporte con la composición, se viene a colocar el lado revestido de la película de soporte sobre la cerámica, y luego se retira la película. Se puede así revestir una primera cara de la oblea de cerámica, colocarla sobre un electrodo, revestir de la misma manera la segunda cara de la oblea de cerámica y colocar por encima de la oblea de cerámica un segundo electrodo. Ventajosamente, antes de colocar la película sobre la cerámica, se precalienta la oblea de cerámica a una temperatura superior o igual a 60° C, y de preferencia superior o igual a 100° C.

Según un modo de realización preferido, se corta un apilamiento inicial perpendicularmente a las obleas de cerámica, para obtener apilamientos unitarios destinados a diferentes transductores, guardando como cara lateral de al menos un apilamiento, una porción de cara lateral del apilamiento de origen. Esta cara lateral del apilamiento inicial es por tanto utilizada sin rectificación, mecanización o corte de regularización, para formar ciertas superficies de los laterales definitivos de los transductores fabricados a partir del apilamiento inicial. Según una variante de realización, el apilamiento inicial es utilizado íntegramente para fabricar un solo transductor, del que todas las caras laterales son caras obtenidas como consecuencia de la operación de calentamiento bajo presión. Ventajosamente, a continuación de la operación de compresión y calentamiento, se limpian las caras laterales por un procedimiento de tipo cepillado o chorreado con arena.

Los electrodos interpuestos entre las obleas de cerámica y en las extremidades del apilamiento son denominados electrodos separadores o interpuestos.

Según un modo de realización preferido, se viene a soldar sobre dos caras del apilamiento unitario, cada vez un electrodo lateral que es puesto en contacto con un electrodo separador de cada dos.

Se pueden utilizar electrodos separadores que presentan al menos una lengüeta de conexión dimensionada para rebasar el apilamiento.

Según un modo de realización ventajoso, se utilizarán electrodos separadores cuadrados que presentan cuatro lengüetas de conexión, de las cuales dos primeras lengüetas sobre una primera cara del cuadrado y dos segundas lengüetas sobre una segunda cara opuesta del cuadrado. Se realiza el apilamiento desplazando en $\pm 90^\circ$ cada electrodo con relación al electrodo precedente, y se corta a continuación el apilamiento en cuatro apilamientos unitarios provistos cada uno de dos hileras de lengüetas sobre dos caras adyacentes.

Según otro aspecto, un transductor ultrasónico obtenido por el procedimiento descrito, comprende un apilamiento de obleas de cerámica y de obleas de electrodos separadores, en el que:

- las obleas de cerámica son capas gruesas de al menos 1 mm de espesor, y de preferencia de al menos 2 mm de espesor,
- las obleas de electrodo son capas metálicas de metal laminado o de metal denso, de al menos 20 micras de espesor, de preferencia de al menos 50 micras de espesor. Por metal denso, se entiende un metal no poroso, obtenido por ejemplo por laminación o forjado a partir de una masa colada, por oposición a un metal fritado cuya estructura deja a veces subsistir una traza de los contornos de los granos iniciales del polvo fritado, por el hecho de la distribución y/o de la forma de ciertas porosidades residuales. Los electrodos pueden ser realizados de aleación de cobre-berilio, de titanio, de aleación de titanio, o de plata o de aleación de plata. Ventajosamente el electrodo proviene de una chapa laminada, por ejemplo de plata laminada recocida. De manera preferente, las capas de electrodo tienen un espesor inferior o igual a 1 mm,
- entre cada oblea de cerámica y el electrodo contiguo o los electrodos contiguos, está presente una capa intermedia de plata de espesor de al menos 10 micras, y de preferencia de espesor comprendido entre 15 y 50 micras, que recubre al menos el 95% de una cara de la oblea de cerámica dispuesta enfrente del electrodo.

Por aplicación del procedimiento descrito precedentemente, se puede obtener un apilamiento de transductor en el que al menos una capa de plata intermedia presenta como media un índice de porosidad inferior al 10% en superficie sobre una vista en corte perpendicular a las obleas de cerámica, y de preferencia un índice de porosidad inferior o igual a 5% en superficie observada, siendo los diámetros máximos - es decir las dimensiones máximas - de las porosidades inferiores o iguales a 5 micras, y de preferencia inferiores o iguales a 2 micras. Se puede obtener una interfaz entre la oblea de cerámica y la capa de plata que está exenta de porosidades sobre más del 90%, y de preferencia, sobre más del 95% de la longitud de la interfaz. La interfaz entre el electrodo separador y la capa de plata puede igualmente presentar un excelente nivel de cohesión, típicamente está exenta de porosidades sobre más del 90% de la longitud de interfaz. En vista de estas cuantificaciones, la muestra que sirve para la observación debe, bien entendido, haber sido preparada con suficientes precauciones para evitar provocar, a posteriori, una descohesión de la cerámica con la capa de plata durante la preparación de la muestra. Se puede por ejemplo considerar que el índice de porosidad observado de la capa de plata y el índice de porosidad observado en las interfaces de la capa de plata, es representativo, si la longitud de la porción de capa de plata visible en corte presenta una longitud superior o igual a 5 mm. De manera preferente, el transductor incluye únicamente capas metálicas entre dos capas de cerámica sucesivas, es decir el electrodo y la capa intermedia de plata. El metal de la capa intermedia de plata es de preferencia plata pura con más del 99%.

Según un modo de realización preferido, el transductor incluye los electrodos laterales que están cada uno en contacto eléctrico con un electrodo separador de cada dos, es decir con un solo electrodo separador que linda con una misma oblea cerámica. Cada electrodo lateral puede presentar una forma ondulada de manera que deje un intervalo de al menos 0,5 mm, y de preferencia de al menos 1 mm, entre el electrodo lateral y los electrodos separadores a los que no está conectado.

Según un modo de realización ventajoso, cada electrodo separador incluye al menos una lengüeta que rebasa del apilamiento, incluyendo el transductor dos electrodos laterales que están cada uno en contacto eléctrico con la lengüeta de un electrodo separador de cada dos.

En este modo de realización, sobre la cara del transductor alargada por el electrodo lateral, los afloramientos de la capa intermedia de plata, son rectilíneos o cóncavos sobre una vista en corte perpendicular a las obleas de cerámica.

Según un modo de realización preferido, las obleas de cerámica son pastillas planas cuya menor dimensión es de preferencia superior o igual a 7 mm, y de preferencia superior o igual a 12 mm, estando las pastillas recubiertas por la pasta de plata sobre una parte de su superficie superior o igual al 99%.

Según un modo de realización preferido, el apilamiento presenta una altura superior o igual a 30 mm. Para hacer esto, el transductor incluye al menos seis obleas de cerámica en el apilamiento.

Otros propósitos, características y ventajas del invento aparecerán con la lectura de la descripción siguiente, dada únicamente a título de ejemplo no limitativo, y hecha con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- La Figura 1 es una vista de frente de un transductor según el invento.
- La Figura 2 es una vista en perspectiva del transductor de la Figura 1.
- La Figura 3 es una vista de un apilamiento realizado durante la fabricación de otro transductor según el invento.
- La Figura 4 es una vista esquemática en corte de una porción de transductor según el invento.

La Figura 1 es una vista esquemática de un transductor según el invento. El transductor 1 comprende obleas 2 de cerámica, por ejemplo de cerámica piezoeléctrica, alternando con electrodos 3. En la interfaz de las cerámicas 2 y de los electrodos 3, están depositadas capas de unión 6 de poco espesor, típicamente de espesor comprendido entre 10 y 50 micras de espesor, y de preferencia entre 10 y 30 micras de espesor. Los electrodos son cortados en chapas de metal laminado, por ejemplo en láminas de plata recocida o en láminas de aleación de cobre-berilio, o aún en láminas de aleación de titanio. El espesor de cada electrodo intermedio es superior a 20 micras de espesor, y de preferencia está comprendido entre 50 micras de espesor y 1 mm de espesor.

El espesor de las cerámicas, que forman obleas de contorno sensiblemente rectangular o cuadrado, esta típicamente comprendido entre 1 y 5 mm a fin de poder funcionar en los dominios de tensión y de frecuencia necesarios para realizar un inyector de carburante. La anchura « 1 » del apilamiento 9, que comprende la alternancia de obleas de cerámica y de obleas de electrodos, es de aproximadamente 15 mm, y la altura de este apilamiento unitario puede ser del orden de 40 mm. Los contornos de las obleas de cerámica y los contornos de las obleas de electrodos son sensiblemente idénticos de manera que puedan ser superpuestos unos sobre los otros. Los contornos puede ser por ejemplo rectangulares, cuadrados, o circulares. La superficie lateral puede en particular incluir varias caras planas 21. Pueden existir ligeros desplazamientos entre el contorno de una obleas de cerámica y los contornos de las obleas de electrodos contiguos.

Unos electrodos laterales 4, realizados por ejemplo en el mismo tipo de material que los electrodos intermedios 3, están dispuestos a lo largo de dos caras del apilamiento unitario, perpendiculares a las obleas 2 de cerámica. Los electrodos laterales están unidos por puntos de soldadura 5 con un electrodo lateral 4 de cada dos, de manera que el electrodo lateral sea conectado eléctricamente a una sola cara de cada una de las obleas de cerámica 2. Aplicando una tensión eléctrica entre los dos electrodos laterales 2, se puede así hacer variar la altura del transductor 1.

Los electrodos laterales 4 están realizados en una banda de cinta metálica ondulada perpendicularmente a la longitud de la cinta, de manera que cada fondo de ondulación 7 lleva uno o varios puntos de soldadura 5 con un mismo electrodo separador 3, y cada parte superior de ondulación 8 aleja el electrodo lateral 4 del electrodo separador 3 al que este electrodo lateral no está conectado, de manera que evite un contacto accidental entre los dos electrodos. Además esta configuración permite una deformación elástica de los puentes de material 8 que unen dos electrodos separadores 3, que pueden así seguir las variaciones de espesor de las obleas de cerámica cuando éstas son excitadas eléctricamente.

Las amplitudes de las ondulaciones del electrodo lateral 4 pueden ser elegidas de manera que la distancia mínima entre el electrodo lateral 4 y el grupo de electrodos separadores 3 al que no está conectado, sea superior o igual a 0,5 mm, y de preferencia superior o igual a 1 mm.

La Figura 2 es una vista en perspectiva del transductor de la Figura 1. Se encuentran en la Figura 2 elementos comunes a la Figura 1, estando designados los mismos elementos por las mismas referencias.

Se observará que en las Figuras 1 y 2, los electrodos laterales 4 están dispuestos sobre dos caras opuestas del apilamiento de cerámicas y de electrodos separadores. Según otras variantes de realización, estos electrodos laterales podrían ser soldados sobre dos caras adyacentes, o incluso sobre una misma cara del apilamiento 9.

La Figura 3 ilustra en perspectiva un apilamiento inicial 10 de cerámicas y de electrodos, realizado durante un proceso de fabricación de un transductor según el invento. Se encuentran en la Figura 3 elementos comunes a las Figuras 1 y 2, estando entonces designados los mismos elementos por las mismas referencias. El apilamiento inicial 10 incluye un primer electrodo de extremidad 12 y un segundo electrodo separador 17 unido a la misma oblea de cerámica. El electrodo de extremidad 12, el segundo electrodo 17, y los electrodos separadores 3 en su conjunto, llevan cada uno cuatro lengüetas. Las 4 lengüetas 13 del electrodo de extremidad rebasan con relación a los lados opuestos de un cuadrado 15 que define un contorno de las obleas de cerámica 2 del apilamiento 10.

La lengüetas 13 están dispuestas simétricamente con relación a una línea central 11. La línea central 11 es a la vez la línea central de un primer lado a y de un segundo lado b del cuadrado, de cuyos lados rebasan las lengüetas 13. Las lengüetas 13 están igualmente dispuestas de manera simétrica con relación a una segunda línea central 16, que es a la vez la línea central de un tercer lado c y de un cuarto lado d del cuadrado 15. Las líneas centrales 11 y 16 son las trazas de planos de corte según los cuales el apilamiento inicial 10 es, en una etapa posterior, por ejemplo con una sierra de diamante, separado en cuatro apilamientos unitarios 9.

El segundo electrodo es un electrodo idéntico al primer electrodo 12 pero está dispuesto desplazado en un ángulo de rotación de 90° con relación al primer electrodo 12. El segundo electrodo incluye cuatro lengüetas 14, que rebasan así de los lados c y d del cuadrado definiendo el contorno de las cerámicas 2.

Se realiza así el apilamiento inicial 10 depositando alternativamente una oblea de cerámica, y una oblea de electrodo - idéntica al electrodo 12 -, y efectuando una relación de más o menos 90° los dos electrodos, con relación al electrodo de extremidad 12. El apilamiento incluye así electrodos impares cuyas lengüetas están alineadas con las lengüetas 13 del electrodo de extremidad 12, y electrodos pares cuyas lengüetas están alineadas con las lengüetas 14 del segundo electrodo 17.

Se obtiene así el apilamiento 10 visible en la Figura 3. Después de corte, este apilamiento da cuatro apilamiento solitarios 9, provistos sobre una primera cara, de lengüetas que rebasan de todos los electrodos de orden par con relación al electrodo superior, y provistos sobre una cara adyacente, de lengüetas que rebasan de todos los electrodos de orden impar con relación al electrodo de extremidad 12.

Dos electrodos laterales 4 (no representados en la Figura 3) pueden entonces ser conectados a cada serie de lengüetas. La Figura 3 no está a escala: el tamaño de las lengüetas esta sobreevaluado con relación a las otras dimensiones del

apilamiento 10. En la práctica, la longitud de las lengüetas puede estar prevista de manera que una lengüeta, abatida a lo largo de una cara lateral del apilamiento 9, no pueda tocar el electrodo siguiente. Puede por ejemplo ser de longitud ligeramente inferior al espesor de una oblea de cerámica. Una lengüeta puede por ejemplo presentar una longitud del orden del milímetro. Según variantes de realización, la longitud de las lengüetas puede ser superior al espesor de las obleas de cerámica, si la rigidez de las lengüetas es suficiente para evitar que no se abatan accidentalmente a lo largo de la cara exterior del transductor, del que rebasan.

A fin de corregir los defectos de planicidad entre cada capa de cerámica y sus electrodos asociados, una capa de plata obtenida por fritado de un nanopolvo de plata es introducida entre cada oblea de cerámica y los electrodos contiguos. Los nanopolvos de plata, y únicamente polvos de plata de tamaño de grano inferior a 80 nm, de preferencia de tamaño de grano comprendido entre 20 y 60 nm, tienen la propiedad de poder ser fritos en condiciones de temperatura relativamente poco elevada y bajo presiones reducidas. En particular los nanopolvos de tamaños de granos comprendidos entre 30 y 60 nm, permiten obtener estructuras fritadas de pequeña porosidad residual. Por fritado de un polvo metálico, se entiende la obtención de una estructura metálica sólida calentando y comprimiendo el polvo metálico, siendo eliminados los elementos no metálicos eventualmente presentes en el polvo durante el calentamiento.

Una soldadura al nanopolvo de plata puede así ser obtenida aplicando al apilamiento una presión comprendida entre 5 y 10 MPa según la dirección de apilamiento (dirección perpendicular a las obleas de cerámica), a una temperatura comprendida entre 200° C y 220° C, durante un periodo de tiempo del orden de 15 minutos. Se emplea por extensión el término de soldadura, pues incluso si la plata que constituye el nanopolvo no pasa por su temperatura de fusión "macroscópica", la creación de una masa compacta y su adherencia a las interfaces de cerámica y de electrodos, en el momento del fritado, da una estructura comparable a la que se obtendría depositando plata fundida entre el electorado y la cerámica, esto a una temperatura inferior a la temperatura de fusión del electrodo (y de la cerámica),

La presión puede por ejemplo ser aplicada por los platos de una prensa que vienen a apoyar sobre electrodos de extremidad del apilamiento 10. Los platos de la prensa pueden ser precalentados de manera que transmitan la energía térmica necesaria al apilamiento, y/o el apilamiento puede ser calentado previamente por separado para estar a una temperatura próxima a la temperatura de fritado en el momento de la aplicación de la tensión de presión. La puesta bajo presión puede igualmente ser efectuada en el interior del recinto calentado, englobando en particular los platos de la prensa.

A fin de depositar el nanopolvo de plata, se puede por ejemplo proceder como sigue. Una película de soporte tratada con un material anti-adherente, por ejemplo PTFE o silicona, es revestida de un espesor regular, por ejemplo 100 micras de pasta de plata. La pasta de plata en cuestión contiene esencialmente nanopolvo de plata en una proporción de masa que sobrepasa el 75%, hasta proporciones en masa que pueden ser superiores al 85%. El resto de la composición comprende en particular aglutinantes, fluidificantes y agentes tensioactivos. Estos componentes que permiten, por una parte, obtener una pasta suficientemente manipulable para el revestimiento, y permiten, por otra parte evitar un fritado prematuro de los nanogranos de plata, que podría conducir a una estructura excesivamente porosa de la masa fritada final. De hecho, la "pasta" puede ser relativamente fluida, o incluso líquida. De preferencia, los diferentes componentes son elegidos de manera que formen una suspensión coloidal de los nanogranos de plata, lo que evita en particular una aglomeración anárquica de los nanogranos de plata antes de la operación de fritado.

La película así revestida es a continuación puesta en contacto con una de las caras de una oblea de cerámica, por ejemplo por medio de un tampón que viene a apoyar sobre el reverso (es decir sobre la cara no revestida) de la película. Una capa residual de pasta queda entonces unida a la cerámica. Esta capa es de espesor más reducido que el espesor de revestimiento inicial, por ejemplo presenta un espesor del orden de 20 micras.

La oblea de cerámica revestida puede entonces ser depositada sobre un electrodo, o un electrodo puede ser depositado sobre la oblea de cerámica. La segunda cara de una oblea de cerámica ya depositada sobre un electrodo puede a su vez ser revestida de pasta de la misma manera, y un segundo electrodo puede ser dispuesto por encima.

Los contornos de los electrodos y de la oblea de cerámica son sensiblemente superponibles, y se obtiene, después del apilamiento de una alternancia de obleas de cerámica y de electrodos, un bloque sensiblemente de forma paralelepípedica rectangular, tal como por ejemplo el apilamiento 9 de las Figuras 1 y 2, o el apilamiento 10 de la Figura 3.

El apilamiento es entonces puesto en compresión bajo una prensa, aplicando una presión y un calentamiento moderados como se ha descrito precedentemente. Bajo el efecto de la presión y de la temperatura, ciertos compuestos orgánicos de la pasta se descomponen, otros componentes se evaporan, y el nanopolvo de plata se solidariza en una masa fritada. En la proximidad del contorno de las obleas de cerámica, eventuales rebabas de pasta de plata son salvadas por la puesta en compresión, pues desbordan del electrodo y/o de la cerámica entre los cuales está dispuesta. Estas rebabas son por tanto salvadas por el fenómeno de fritado, y forman una masa fácilmente eliminable, por cepillado por ejemplo. Según sus dimensiones, el apilamiento así solidarizado por fritado puede ser utilizado como parte central de un transductor, soldando en él simplemente dos electrodos laterales, o puede ser vuelto a cortar para formar varios apilamientos unitarios destinados a diferentes transductores, como se ha ilustrado en la Figura 3.

Entre cada oblea de cerámica y cada electrodo, la masa de plata fritada se extiende sensiblemente hasta los bordes de la oblea de cerámica y del electrodo. Esta masa de plata fritada forma eventualmente una ligera concavidad en el sentido del espesor, pues en el centro de la capa de plata (a la mitad del espesor de la capa de plata) la presión necesaria para el fritado no es alcanzada hasta los bordes de la cerámica.

5 Una simple limpieza, por ejemplo una limpieza con cepillo o una limpieza de tipo chorreado con arena ligera, de las caras laterales del apilamiento, permite evitar los riesgos de contacto accidental entre un electrodo separador y el electrodo separador contiguo. En ausencia de limpieza, tal contacto accidental podría ser causado por «rebabas» de la pasta de plata que unen dos electrodos separadores contiguos. Se obtiene, a la salida de esta limpieza "suave" un apilamiento en el que la capa de plata fritada está siempre retraída con relación a la oblea de cerámica sobre la que es depositada, es decir que la capa de plata fritada no se extiende más allá de la cara de la oblea de cerámica que mira al electrodo. Se puede considerar una variante de realización en la que el depósito de la pasta de plata se haría alternativamente sobre una oblea de cerámica y sobre una oblea de electrodo ya depositada en el apilamiento. En este caso la extensión de la capa de plata fritada se limitaría a la extensión de las caras de cerámica o de electrodos situados todos al mismo lado de las capas fritadas.

La capa de plata fritada obtenida presenta una compacidad notable, y una muy buena cohesión al nivel de las interfaces con la oblea de cerámica y con el electrodo.

20 Así, sobre una sección, realizada perpendicularmente a las obleas de cerámica, del apilamiento, la proporción superficial de porosidades visibles sobre una imagen de la capa fritada es inferior en porcentaje al 10%, o incluso inferior o igual al 5%. Además, el tamaño máximo de las porosidades visibles sobre tal corte es, en la mayoría de los casos, inferior o igual a 2 micras. Se observa una muy pequeña cantidad de porosidad al nivel del contacto que delimita la frontera entre la capa fritada y la cerámica y al nivel de la frontera entre la capa fritada y el electrodo. La proporción de longitud adhesiva de interfaz entre la plata fritada y el otro material, sobre una vista en corte, es en los dos casos superior o igual a 90%. Las porosidades de interfaz, como las porosidades en la masa de la plata fritada, son generalmente de tamaño inferior o igual a 2 micras.

30 Para evaluar la calidad de la capa de plata fritada, se puede por ejemplo realizar un corte micrográfico pulido perpendicularmente a las obleas de cerámica. Sobre tal corte micrográfico, se efectúa de preferencia la observación sobre una parte central del apilamiento, por ejemplo sobre un tercio central de la parte cortada del apilamiento alejada de los bordes libres del apilamiento, a fin de evitar observar efectos de borde, debidos por ejemplo a una descohesión provocada durante la manipulación de la muestra con vistas a su observación. Sin embargo, si la muestra de observación es preparada con cuidado, la misma calidad de interfaz puede ser observada hasta en los bordes de la muestra. Para facilitar la observación de las porosidades, se puede por ejemplo utilizar imágenes obtenidas en microscopio electrónico de barrido a partir de los electrones retrodifundidos por la muestra.

40 La Figura 4 ilustra una vista esquemática en corte de una parte de transductor al nivel de la capa de unión de plata limitada. El corte es realizado perpendicularmente a las obleas de cerámica, sobre una parte de transductor tomada por ejemplo al nivel de la zona 40 de la Figura 3. Se encuentran en la Figura 4 elementos comunes a las figuras 1 y 2, estando los mismos elementos entonces designados por las mismas referencias. Se encuentran así dos obleas de cerámica 2 entre las cuales es interpuesto un electrodo separador 3. El electrodo y las dos obleas de cerámica son unidos por dos capas 6 de plata fritada. El electrodo 3 presenta una estructura metálica laminada, por ejemplo una estructura de plata recocida. Las capas de plata fritada presentan algunas raras porosidades 18 y se adhieren casi perfectamente a las obleas de cerámica 2 y al electrodo 3, salvo en raras zonas de descohesión 19. Las superficies libres 20 de la capa de plata fritada están retraídas con relación a las obleas de cerámica contiguas.

50 El invento no se limita a los ejemplos de rehabilitación descritos, y puede declinarse en numerosas variantes de los mismos. Es posible revestir la cerámica de una capa metálica de enganche a fin de mejorar aún la adherencia de la capa fritada de plata. Tal capa de enganche puede por ejemplo comprender una subcapa de cromo del orden de una micra, así como una subcapa de superficie, que comprende oro por ejemplo, de un espesor del orden de la décima de micra. La calidad de la adherencia de superficie es entonces evaluada en función de la adherencia de la capa fritada de plata sobre la capa de enganche, por ejemplo sobre la capa de oro. La aplicación de la pasta de plata puede así hacerse alternativamente sobre una oblea de cerámica y sobre una oblea de electrodo, o de manera sistemática sobre las obleas de electrodos. La geometría y el modo de ensamblaje de los electrodos laterales pueden ser diferentes de los ejemplos ya citados. Se puede por ejemplo considerar prolongar las lengüetas de los electrodos separadores de manera que se pueda soldar la extremidad de la lengüeta a la base de una lengüeta que sobresale de los electrodos separadores más lejos, pasando a distancia del electrodo separador contiguo.

60 El procedimiento de fabricación del apilamiento piezoeléctrico es así a la vez fiable y económicamente ya que permite tolerar algunos defectos de planicidad y/o de rugosidad de la cerámica y/o de los electrodos separadores, que asegura un buen contacto eléctrico, y que limita las tensiones residuales y concentraciones de tensiones al nivel de las interfaces entre las obleas de cerámica y los electrodos separadores. Además, este procedimiento no necesita operación de nueva polarización de las cerámicas piezoeléctricas o de otro modo electroactivas. El procedimiento permite preparar transductores de tamaño importante (anchura superior o igual a 15 mm, altura superior o igual a 40 mm) en los que las obleas de cerámica son soldadas con sus electrodos asociados sobre toda su superficie de contacto con estos

electrodos.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de un transductor piezoeléctrico (1), en particular de un transductor ultrasónico, que incluye un apilamiento (9) de electrodos planos (3) entre los que son interpuestas obleas de cerámica (2) sensiblemente de la misma superficie que los electrodos (3), definiendo los contornos superpuestos de las obleas de cerámica y de las obleas de electrodos caras laterales (21) sensiblemente planas o cilíndricas del apilamiento, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:
- se apilan alternándolas una oblea de cerámica (2) y una oblea de electrodo (3), colocando entre cada oblea de cerámica y sus dos electrodos contiguos, una composición (6) que comprende como mínimo 75% en peso, y de preferencia como mínimo 80% en peso de nanopartículas de plata de tamaño inferior o igual a 80 nanómetros, y de preferencia de tamaño de granos inferior o igual a 60 nanómetros,
 - se comprime el apilamiento calentándolo a una temperatura inferior o igual a 280° C, y de preferencia comprendida entre 200° C y 250° C.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que dicha composición (6) es una pasta.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el que la presión es aplicada de manera direccional perpendicularmente a las obleas de cerámica, a un valor comprendido entre 2 y 20 MPa, y de preferencia comprendido entre 5 a 10 MPa, durante un periodo de tiempo inferior o igual a 30 minutos y de preferencia inferior o igual a 20 minutos.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que, después de colocación de la composición (6) sobre la cerámica, la temperatura media del apilamiento (9) es mantenida por debajo de 280° C, y de preferencia por debajo de 250° C.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que, para colocar una capa de composición (6) entre una oblea de cerámica y una oblea de electrodo, se reviste una película de soporte con una composición, se viene a colocar el lado revestido de la película de soporte sobre la oblea de cerámica (2), y luego se retira la película.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en el que se utilizan electrodos (3) que presentan al menos una lengüeta de conexión (13, 14) dimensionada para rebasar del apilamiento (9).
7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que se utilizan electrodos (3) cuadrados que presentan cuatro lengüetas de conexión (13, 14), de las que dos primeras lengüetas sobre una primera cara del cuadrado y dos segundas lengüetas sobre una segunda cara opuesta del cuadrado, en el que se realiza el apilamiento desplazando en +- 90° cada electrodo con relación al electrodo precedente, y en el que se corta a continuación el apilamiento inicial (10) en cuatro apilamientos unitarios (9) provisto cada uno de dos hileras de lengüetas sobre dos caras adyacentes (b, c).
8. Transductor ultrasónico (1) obtenido por un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende un apilamiento (9) de obleas de cerámica (2) y de obleas de electrodos separadores (3), en el que:
- las obleas de cerámica (2) son capas gruesas de al menos 1 mm de espesor, y de preferencia de al menos 2 mm de espesor,
 - las obleas de electrodo (3) son capas metálicas de metal laminado, de al menos 20 micras de espesor, de preferencia de al menos 50 micras de espesor,
 - entre cada oblea de cerámica (2) y el electrodo contiguo o los electrodos contiguos (3), está presente una capa intermedia de plata (6) de espesor de al menos 10 micras, de preferencia de espesor comprendido entre 15 y 50 micras, recubriendo al menos el 95% de una cara de la oblea de cerámica dispuesta enfrente del electrodo.
9. Transductor según la reivindicación 8, en el que al menos una capa de plata (6) intermedia presenta como media un índice de porosidad (18) inferior al 10% en superficie sobre una vista en corte perpendicular a las obleas de cerámica, y de preferencia un índice de porosidad inferior o igual al 5% superficie observada, siendo los diámetros máximos de las porosidades (18) inferiores o iguales a 2 micras, y en el que la interfaz entre la oblea de cerámica y la capa de plata es por ejemplo de porosidades en más del 90%, de preferencia, en más del 95% de la longitud de la interfaz.
10. Transductor según una de las reivindicaciones 8 ó 9, que incluye electrodos laterales (4) que están cada uno en contacto eléctrico con un electrodo separador (3) de cada dos, es decir con un solo electrodo separador que limita una misma oblea de cerámica (2), presentando cada electrodo lateral (4) una forma ondulada, de manera que deje un intervalo de al menos 0,5 mm, y de preferencia de al menos 1 mm, entre el electrodo lateral y los electrodos separadores a los que no está conectado.
11. Transductor según una de las reivindicaciones 8 a 10, en el que cada electrodo separador (3) incluye al menos una lengüeta (13, 14) que rebasa del apilamiento, incluyendo el transductor dos electrodos laterales (4) que están cada uno en contacto eléctrico con la lengüeta de un electrodo separador de cada dos.

FIG.1

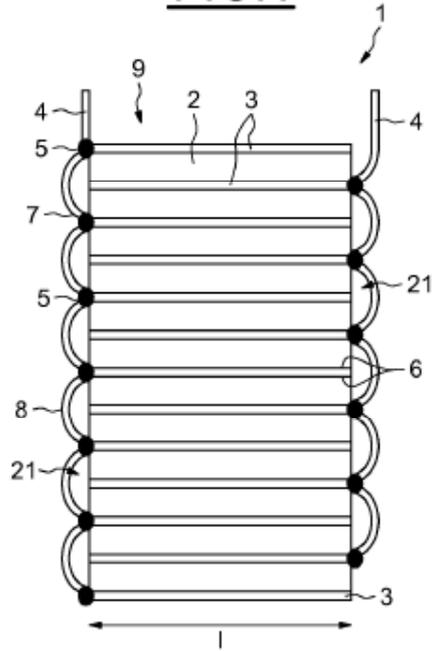


FIG.2

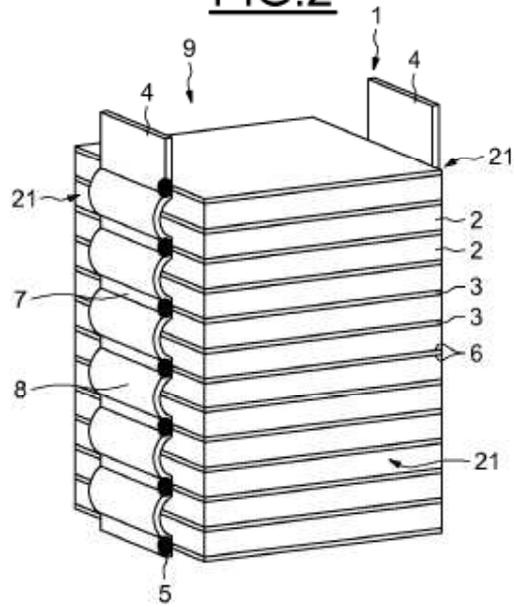


FIG.3

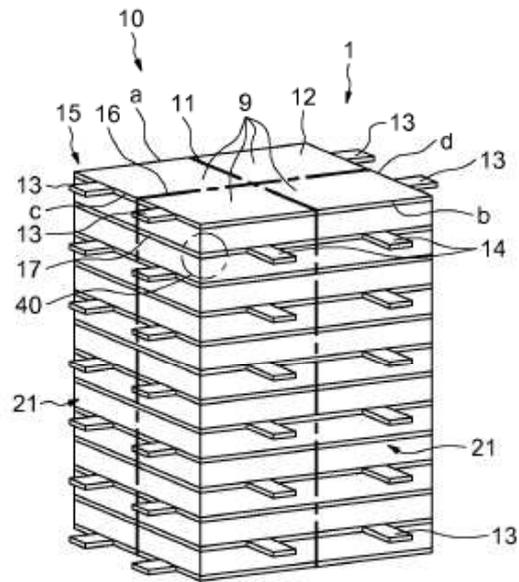


FIG.4

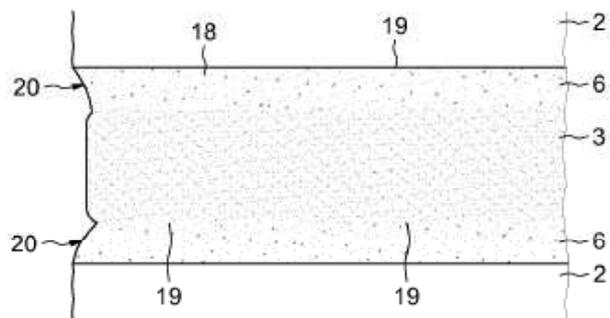


FIG.2

