

(11) *Número de Publicação:* **PT 894341 E**

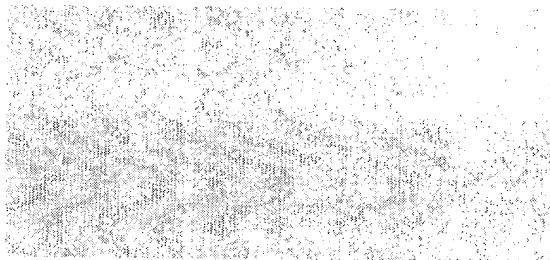
(51) *Classificação Internacional:* (Ed. 6)
H01L041/24 A H01L041/083 B
C04B035/472 B

(12) *FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO*

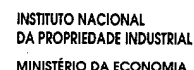
(22) <i>Data de depósito:</i> 1997.03.10	(73) <i>Titular(es):</i> SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT WITTELSBACHERPLATZ 2 W-8000 MUNCHEN 2 DE
(30) <i>Prioridade:</i> 1996.04.19 DE 19615695	
(43) <i>Data de publicação do pedido:</i> 1999.02.03	(72) <i>Inventor(es):</i> DIETER CRAMER HANS HELLEBRAND KARL LUBITZ DE DE DE
(45) <i>Data e BPI da concessão:</i> 1999.11.10	(74) <i>Mandatário(s):</i> AMÉRICO DA SILVA CARVALHO RUA CASTILHO 201 3º AND. ESQ. 1070 LISBOA PT

(54) *Epígrafe:* ACTUADOR PIEZOELÉCTRICO MONOLÍTICO CONSTITUÍDO POR DIVERSAS CAMADAS E RESPECTIVO PROCESSO DE PRODUÇÃO

(57) *Resumo:*



E-mail: inpi@mail.telepac.pt





DESCRIÇÃO

"ACTUADOR PIEZOELÉCTRICO MONOLÍTICO, CONSTITUÍDO POR DIVERSAS CAMADAS, E RESPECTIVO PROCESSO DE PRODUÇÃO"

Regra geral, os actuadores piezoelétricos são constituídos por vários elementos piezoelétricos colocados uns sobre os outros de modo a formarem uma pilha. Cada um destes elementos piezoelétricos, por sua vez, é constituído por uma camada cerâmica piezoelétrica, que está revestida com eléctrodos de ambos os lados. Se for aplicada uma tensão a estes eléctrodos, a camada cerâmica piezoelétrica reage com uma distorção da estrutura que dá origem a uma extensão em comprimento, ao longo de um eixo principal, passível de ser utilizável. Na medida em que esta extensão, pelo seu lado, é inferior a dois por mil da espessura da camada ao longo do eixo principal, para que seja alcançada uma extensão em comprimento absoluta previamente definida é necessário a camada da cerâmica piezoelétrica activa dispor de uma espessura disponível correspondentemente maior. No entanto, o aumento da espessura da camada de cerâmica piezoelétrica de um elemento piezoelétrico implica também o aumento da tensão necessária para activar o elemento piezoelétrico. Com vista a manter esta tensão dentro de limites manuseáveis, por via de regra as espessuras dos elementos piezoelétricos dos actuadores constituídos por diversas camadas estão compreendidas entre os 20 e os 200 μm . Desta forma, para se alcançar uma determinada extensão previamente definida em comprimento, torna-se necessário o actuador piezoelétrico dispor de uma quantidade correspondente de elementos individuais, ou, por outras palavras, de camadas individuais.

É precisamente por este motivo que os actuadores piezoelétricos constituídos por diversas camadas que são já nossos conhecidos chegam a ser constituídos por algumas centenas de camadas individuais. Estas camadas podem ser colocadas umas sobre as outras, dando origem a uma pilha, e ser coladas, por exemplo. Da patente com a referência US-5 438 232 é já nosso conhecido um processo de produção de actuadores constituídos por várias camadas, em conformidade com o qual esses actuadores constituídos por diversas camadas são obtidos mediante a fixação de diversos actuadores individuais uns aos outros por meio de uma resina. No entanto, muitas são as aplicações para as quais uma pilha assim colada se caracteriza por uma rigidez demasiado reduzida, de modo particular sempre que o actuador piezoelétrico tiver de ser utilizado para a transmissão de forças elevadas. Os actuadores piezoelétricos que realmente se caracterizam por uma rigidez suficientemente elevada são os actuadores piezoelétricos monolíticos constituídos por diversas camadas. Para se obter este tipo de actuadores piezoelétricos é formada uma pilha alternadamente constituída por películas brutas de cerâmica piezoelétrica e por material de eléctrodos, a qual é então sinterizada. Só assim se torna possível obter uma coesão suficientemente resistente das diversas camadas individuais que constituem a pilha. O artigo de autoria de H. Moilanen et al, divulgado nas páginas 357 a 365 da revista "Sensors and Actuators", A, 43 (1994), dá a conhecer um processo de produção de um actuador constituído por diversas camadas, em conformidade com o qual tanto as camadas de cerâmica como as de eléctrodos são produzidas por meio de compressão das diversas camadas umas sobre as outras. Este processo torna ainda necessário que, a intervalos regulares, seja levada a cabo uma secagem ou uma sinterização prévia a temperaturas de, no máximo, 750° C

Através do artigo publicado por S. Takahashi et al nas páginas 181 a 190 da publicação "Ferroelectrics", 1983, Vol. 90, foi tornado conhecido um outro processo de produção de um actuador constituído por diversas camadas



de acordo com o qual o dito actuador é obtido mediante a sobreposição em pilha e laminagem de películas brutas de cerâmica impressas com camadas de eléctrodos e posterior sinterização da pilha assim obtida.

Ao produzirem-se actuadores piezoeléctricos monolíticos constituídos por diversas camadas, e, concretamente, ao proceder-se à definição e regulação das condições do processo e, de modo particular, das condições do processo de sinterização, há que ter em atenção as características do material que constitui tanto a camada de cerâmica piezoeléctrica como a camada de eléctrodos. Assim, por exemplo, a temperatura de sinterização ideal para a cerâmica piezoeléctrica oferece problemas, na medida em que, para se assegurar a obtenção de tamanhos ideais de grãos e, por consequência, características piezoeléctricas ideais, dependendo da composição da cerâmica piezoeléctrica, esta temperatura se pode situar acima dos 1250° C. No entanto, utilização de uma temperatura de sinterização tão elevada limita a escolha do material utilizado para os eléctrodos à platina. Se, por um lado, esta se caracteriza por uma acção recíproca reduzida em relação à cerâmica e pode ser usada com a maior parte dos materiais utilizados na cerâmica piezoeléctrica, pelo outro, a utilização da platina apresenta desvantagens relacionadas com o seu custo elevado bem como com a resistência limitada na superfície que estabelece a separação entre os eléctrodos e a cerâmica piezoeléctrica.

Se se utilizar uma liga de Ag/Pd (prata e paládio) para o material dos eléctrodos, um material mais económico e normalmente utilizado nos condensadores constituídos por diversas camadas, a temperatura de sinterização fica limitada pelo ponto de fusão da liga, a qual, por exemplo, pode ser inferior a 1130° C se for utilizada uma liga Ag/Pd cujas proporções sejam as seguintes: 70/30. Esta limitação dos valores da temperatura implica uma limitação da escolha dos materiais que podem ser utilizados na cerâmica piezoeléctrica, cuja temperatura de sinterização máxima ideal corresponde ao



ponto de fusão da liga. Para que a temperatura de sinterização ideal destas cerâmicas piezoelétricas sofra uma redução, elas são submetidas a uma drogagem da posição B de, tipicamente, 20 a 50 por cento em relação ao material de base de zircotitanato de chumbo. No entanto, esta solução apresenta como desvantagem uma temperatura de Curie mais reduzida, que limita a temperatura máxima a que o actuador piezoelétrico pode ser utilizado. Por outro lado, essa combinação de materiais caracteriza-se igualmente por uma resistência limitada na pilha, e, mais concretamente, na superfície de separação entre a cerâmica piezoelétrica e o eléctrodo.

Atendendo ao exposto, o presente invento tem por objectivo a concepção de um processo de produção de um actuador piezoelétrico monolítico constituído por diversas camadas que, por um lado, não esteja limitado a um material cerâmico piezoelétrico caracterizado por uma temperatura de Curie e por uma temperatura de utilização baixas, que, pelo outro, e apesar disso, disponha de boas características piezoelétricas e que, finalmente, seja constituído por uma liga caracterizada por uma coesão mecânica elevada.

De acordo com o presente invento, trata-se de um objectivo que é satisfeito com o processo que é descrito na reivindicação de patente 1. Nas restantes reivindicações de patentes, subjacentes a esta primeira, são apresentados aperfeiçoamentos vantajosos deste invento.

Assim, a implementação deste invento permite produzir um actuador piezoelétrico que, independentemente de uma eventual drogagem de uma posição B, com uma camada de eléctrodos contendo prata e paládio, apresente tamanhos de grãos ideais nas camadas de cerâmica piezoelétrica. Os actuadores piezoelétricos caracterizam-se exactamente pelos mesmos valores ideais que não só se conhecem mas que seriam também de esperar de uma camada de cerâmica piezoelétrica com a mesma composição que

tivesse sido sinterizada em condições de sinterização ideais e separadamente em relação à camada de eléctrodos (ou seja, que tivesse sido individualmente sinterizada). O actuador piezoeléctrico a que este processo se refere é monolítico, sendo tanto as películas brutas de cerâmica piezoeléctrica como as camadas de eléctrodos sinterizadas em conjunto, o que faz com que este actuador se caracterize por uma resistência elevada na união entre a camada de eléctrodos e a camada cerâmica. A camada de eléctrodos, que, por exemplo, pode ser constituída por uma liga de prata e paládio, não sofre alteração em virtude do processo de sinterização, na medida em que este processo pode ser levado a cabo a uma temperatura inferior à temperatura de fusão do material dos eléctrodos. O que é particularmente surpreendente é o facto de, mediante a implementação deste processo, também se conseguir obter um actuador piezoeléctrico que se caracteriza por uma drogagem da posição B muito reduzida ou mesmo inexistente, que dispõe de camadas de eléctrodos de prata e paládio, bastante económicas, cujos grãos apresentam grandes dimensões e cujas camadas de cerâmica piezoeléctrica apresentam boas características piezoeléctricas, ao mesmo tempo que a coesão das várias camadas que constituem a pilha se caracterizam por uma resistência elevada. Desta forma, torna-se possível, de modo particular, produzir actuadores piezoeléctricos caracterizados por uma temperatura de Curie elevada, o que, por sua vez, permite que o actuador piezoeléctrico seja utilizado a temperaturas mais elevadas. Trata-se de uma particularidade que, até à presente data, ainda não era do nosso conhecimento, na medida em que as temperaturas de sinterização exigidas pelas cerâmicas piezoeléctricas caracterizadas por temperaturas de Curie elevadas são mais elevadas do que as temperaturas que, até à presente data, podiam ser utilizadas atendendo ao ponto de fusão baixo que caracterizava o material dos eléctrodos. No entanto, a ausência de condições ideais durante a sinterização, aliadas a uma temperatura de sinterização reduzida, prejudicam o crescimento dos grãos e dão origem a cerâmicas piezoeléctricas cujas características piezoeléctricas não são boas. No entanto, obtêm-se boas características piezoeléctricas

sempre que, a exemplo do que sucede no actuador piezoeléctrico objecto do presente invento, as dimensões dos grãos das camadas de cerâmica piezoeléctrica estiverem compreendidas de 2 a 10 μm , ou seja, sempre que as dimensões dos grãos corresponderem às atingias aquando da sinterização isolada da cerâmica (ou, por outras palavras, sem eléctrodos) a uma temperatura de sinterização ideal mais elevada.

Para se produzir o actuador piezoeléctrico de acordo com o presente invento toma-se por base um processo de produção de componentes constituídos por diversas camadas já nosso conhecido; assim, e tal como é preconizado no referido processo de produção, as películas brutas de cerâmica piezoeléctrica às quais foi aplicado o material de eléctrodos são alternadamente colocadas umas sobre as outras, formando uma pilha, após o que são sinterizadas em conjunto. De acordo com o presente invento, parte-se de um pó de cerâmica piezoeléctrico do tipo do zircotitanato de chumbo, que apresenta uma composição estequiométrica. A par desta composição estequiométrica é adicionada uma percentagem reduzida de uma substância heterovalente de drogagem da posição A numa quantidade equivalente a uma percentagem de moles de 1 a 5, sendo igualmente adicionado um excesso adicional de óxido de chumbo numa percentagem de moles compreendida entre 1 e 5. Além disso é utilizado um material para os eléctrodos que contém prata e paládio. Em seguida, a pilha é laminada, sendo então sinterizada em condições controladas numa atmosfera oxidante, sendo que, durante a sinterização, a temperatura máxima que pode ser atingida não pode ultrapassar a temperatura correspondente ao ponto de fusão do material dos eléctrodos que, como já vimos, contém prata e paládio. A sinterização é levada a cabo de modo a que tenha lugar uma volatilização do excesso de óxido de chumbo estequiométrico e de modo a que, além disso, haja uma difusão da prata a partir da superfície do material dos eléctrodos para o interior das camadas de cerâmica piezoeléctrica, obtendo-se desta forma uma composição piezoeléctrica estequiométrica.

O presente invento baseia-se na surpreendente descoberta de que, durante o processo de sinterização, uma drogagem hiper-estequiométrica da posição A, por meio de um metal terroso raro de qualidade superior, por exemplo, pode ser compensada através da difusão da prata a partir da superfície das camadas de eléctrodos. No entanto, para que tal seja possível, é condição fundamental que exista simultaneamente um excesso estequiométrico de óxido de chumbo. Pensa-se que a explicação para tal se fica a dever ao facto de, durante o processo de sinterização, o óxido de chumbo em excesso dar origem a fases líquidas no seio da estrutura da cerâmica piezoelétrica que se está a formar, fases essas que favorecem a difusão da prata a partir da superfície. Por outro lado, também é surpreendente o facto de o processo de difusão da prata a partir da superfície se regular de modo quase automático. A força propulsora, por assim dizer, que desencadeia o processo de difusão é a alimentação heterovalente errada das posições A na rede cristalina do zircotitanato de chumbo, que é compensada pela prata monovalente. Assim que é alcançada uma composição estequiométrica, a força propulsora acima referida deixa de se fazer sentir, pelo que a difusão da prata a partir da superfície deixa de ter lugar. Por outro lado, este processo é ainda surpreendente pelo facto de, apesar de na sinterização ser utilizada uma temperatura máxima de, por exemplo, 1130° C para uma liga de prata e paládio cujas proporções correspondam a 70/30, a cerâmica piezoelétrica continuar a apresentar grãos de grandes dimensões. Calcula-se que a inclusão da prata na cerâmica piezoelétrica fomenta o crescimento dos grãos. Apesar de ser utilizada uma temperatura de sinterização mais baixa em 150 a 200° C, os grãos atingem as mesmas dimensões elevadas e os valores piezoelétricos obtidos são tão bons como os de um componente que tivesse sido sinterizado em condições ideais e sem eléctrodos, situação em que podem ser seleccionadas temperaturas de sinterização correspondentemente mais elevadas. Também a obtenção de uma densidade ideal de, pelo menos, 96 % se presume que se fique a dever às temperaturas reduzidas utilizadas.

Através do excesso de óxido de ferro adicionado ao pó de cerâmica piezoelétrica, obtém-se uma outra vantagem adicional. Na superfície que estabelece a separação entre a cerâmica piezoelétrica e a camada de eléctrodos, e devido à difusão de paládio a partir da superfície, é formada uma fase que contém paládio, chumbo e oxigénio (Pd-Pb-O), cuja presença pode ser constatada, após a sinterização, na zona das superfícies de separação em nesgas triangulares que se encontram nas separações entre os grãos. Presume-se que estas fases sejam responsáveis pela melhor aderência que, como se pôde comprovar, se regista entre as camadas de cerâmica e de eléctrodos que constituem a pilha.

Torna-se vantajoso a sinterização ser levada a cabo numa atmosfera oxidante. Uma vez alcançada a temperatura de sinterização máxima, tem lugar uma fase de manutenção desta temperatura máxima, fase essa que tem uma duração de 30 a 120 minutos.

De preferência, e independentemente um do outro, tanto o excesso de chumbo como a drogagem excessiva da posição A deverão ser regulados de modo a serem equivalentes a uma percentagem molecular de 1 a 3. Para a drogagem da posição A é seleccionado um metal terroso raro e, de preferência, o lântano ou o neodímio.

Segue-se uma explicação mais detalhada do presente invento com base em dois exemplos de execução e das três figuras em que os mesmos são apresentados. Assim,

a figura 1 mostra, de forma esquemática, um corte transversal através de uma pilha constituída por camadas alternadas de cerâmica piezoelétrica e de eléctrodos, a seguir à sinterização,

a figura 2 mostra a curva de medição relativa ao teor de prata registado ao longo da espessura de uma camada de cerâmica piezoelétrica, a seguir à sinterização, e, finalmente,

a figura 3 mostra uma zona situada próxima da superfície de separação entre a camada de eléctrodos e da cerâmica piezoelétrica, a seguir à sinterização e vista em corte.

1. Produção de um actuador piezoelétrico a partir de uma cerâmica piezoelétrica caracterizada por uma temperatura de Curie mais elevada de 330° C.

É preparado um pó de cerâmica piezoelétrica cuja composição nominal corresponde a $\text{Pb}_{0,98} \text{Nd}_{0,02} (\text{Zr}_{0,54} \text{Ti}_{0,46}) \text{O}_{3,01}$. Os materiais básicos, misturados de forma tão homogénea quanto possível, podem ser produzidos mediante a utilização de processos já sobejamente conhecidos e podem ser preparados segundo o método de "Mixed Oxide" (óxidos mistos), por exemplo, ou por meio de processos químicos, e, nomeadamente, por meio do processo de sol-gel, por exemplo, ou ainda por meio do processo de citratos, do processo de oxalatos ou igualmente por meio de outros compostos metalo-orgânicos anteriores. Enquanto que, no caso de se optar pelo processo de "Mixed Oxide" (óxidos mistos), todos os catiões previstos para a cerâmica são misturados uns com os outros sob a forma dos respectivos óxidos, sendo em seguida transportados para o zircotitanato de chumbo, os outros processos de produção baseiam-se em soluções misturadas de compostos metalo-orgânicos dos catiões pretendidos. Seja por meio de precipitação a partir da solução, seja por meio da concentração gradual no assim chamado processo de sol-gel, obtém-se uma distribuição extremamente homogénea dos catiões na futura matéria sólida.

Após a calcinação volta a proceder-se tanto a uma moagem como a uma homogeneização, após o que o produto assim obtido é misturado com um ligante orgânico. Com a argila líquida assim obtida são seguidamente estiradas ou vertidas películas brutas. Depois destas películas brutas secarem, é-lhes aplicado o material dos eléctrodos, um processo que pode ser levado a cabo, por exemplo, através da impressão destas películas brutas com uma pasta que contém partículas de uma liga de prata e paládio (cujas massas se apresentam na proporção 70/30) num ligante com uma consistência passível de ser totalmente impressa.

As películas brutas de cerâmica piezoeléctrica são produzidas com uma espessura que, tendo em consideração uma contracção linear durante a sinterização de, tipicamente, 15 %, dá origem a uma cerâmica piezoeléctrica com uma espessura de 20 a 200 μm . Para a camada de eléctrodos é impresso tanto material de eléctrodos quanto o necessário para que, após a sinterização, a camada de eléctrodos apresente uma espessura de cerca de 2 a 3 μm . Sempre que a proporção da espessura das camadas de eléctrodos em relação à espessura das camadas de cerâmica piezoeléctrica seja reduzida, terá de ser impressa uma quantidade correspondentemente maior de material de eléctrodos, a fim de que a difusão da prata a partir da superfície, que vai dar origem a uma perda de material dos eléctrodos, possa ser compensada. A camada de eléctrodos tanto poderá ser impressa numa superfície inteira como numa trama comum, a qual, no entanto, deverá ser tão fina quanto possível.

Em seguida, as películas brutas de cerâmica piezoeléctrica impressas com o material dos eléctrodos são colocadas umas sobre as outras, de forma a constituírem uma pilha, mas de modo a que as camadas de cerâmica piezoeléctrica alternem com as camadas de eléctrodos. Através da utilização tanto de um processo de laminagem sob pressão como de uma temperatura mais elevada, a pilha é submetida a uma compressão prévia, o que faz com que apresente já uma coesão suficientemente grande para que possa ser

manuseada como uma pilha. Nesta fase também se torna possível subdividir, após a laminagem, uma pilha com uma área maior em diversas pilhas idênticas com uma área menor, o que poderá ser conseguido por meio de recorte ou de puncionamento. Por outro lado, torna-se igualmente possível unir várias dessas pilhas parciais de modo a darem origem a uma pilha maior. A quantidade total de camadas necessárias para a obtenção do futuro actuador piezoeléctrico depende da altura da deflexão a ser conseguida com o actuador piezoeléctrico mediante a aplicação de uma tensão. Na medida em que, tipicamente, um único elemento piezoeléctrico pode sofrer uma deflexão correspondente a 1 a 2 por mil da respectiva espessura, torna-se muito fácil calcular a quantidade de camadas individuais que é necessária para se obter uma determinada deflexão com base na espessura total das camadas de cerâmica piezoeléctrica (a seguir à sinterização). Assim, e a título de exemplo, se se pretender uma utilização com uma deflexão de $20\mu\text{m}$, serão necessárias cerca de 150 camadas individuais de cerâmica piezoeléctrica com uma espessura de cerca de $100\mu\text{m}$.

Figura 1. Obtém-se um actuador piezoeléctrico que se caracteriza por uma elevada coesão mecânica e por conseguinte, por uma elevada capacidade de carga mecânica. Como se pode verificar através do corte transversal feito através da pilha, as camadas de eléctrodos 1 são por si próprias consideravelmente coesas. Obtém-se desta forma um grau elevado de cobertura da superfície, grau esse que, quando é aplicada uma tensão, possibilita a presença de um campo eléctrico homogéneo. As camadas de cerâmica piezoeléctrica 2 caracterizam-se por grãos de grandes dimensões, dimensões essas que se estendem de 2 a $10\mu\text{m}$. Através de análise da cerâmica piezoeléctrica constata-se que esta apresenta a seguinte composição: $\text{Pb}_{0,96} \text{Ag}_{0,02} \text{Nd}_{0,02} (\text{Zr}_{0,54} \text{Ti}_{0,46}) \text{O}_3$. Trata-se de uma composição que não é só homogénea do ponto de vista estequiométrico, mas também ao longo de toda a camada de cerâmica piezoeléctrica. Um facto que pode ser

comprovado, de modo especial, através de uma medição da concentração de pasta por meio de uma microanálise.

A figura 2 mostra o perfil do teor de prata em função da distância em relação à superfície que separa a camada de cerâmica piezoelétrica da camada de eléctrodos. Como se pode verificar, a concentração da prata é extremamente homogénea ao longo de toda a espessura da camada.

A figura 3 mostra, vista em corte transversal e representada de forma esquemática e ampliada, a zona das superfícies que separam a camada de eléctrodos da camada de cerâmica piezoelétrica. Nesta figura é facilmente identificável a granulação 3 da camada de cerâmica piezoelétrica. A nesga triangular existente na separação dos grãos 4, presente na superfície de separação em relação à camada de eléctrodos 1, ou seja, os intervalos de forma geométrica condicionados pelo feitio dos grãos da cerâmica, registam uma fase em que se pode constatar a presença de paládio, de chumbo e de oxigénio. Esta fase pode ser observada numa distância que se estende de 50 nm a alguns μm da superfície de separação da camada de eléctrodos. Presume-se que esta fase contribui para que a camada de eléctrodos 1 se entrelace com a camada de cerâmica piezoelétrica 2, contribuindo desta forma para a sua maior resistência, conforme previsto de acordo com o presente invento.

Como se pode comprovar, não existe qualquer paládio seja mais para o interior da camada de cerâmica piezoelétrica, seja inclusive nos grãos de cerâmica piezoelétrica 3.

O actuador piezoelétrico com esta composição é adequado para ser utilizado a temperaturas de, no máximo, cerca de 150° C.

Produção de uma camada de cerâmica piezoelétrica com uma temperatura de Curie mais baixa de 170° C.

Utilizando-se os processos já sobejamente conhecidos, é produzido um pó de cerâmica piezoelétrica cuja composição nominal é a seguinte: $\text{Pb}_{0,99} \text{La}_{0,01} \{ \text{Zr}_{0,30} \text{Ti}_{0,36} (\text{Ni}_{1/3} \text{Nb}_{2/3})_{0,34} \} \text{O}_{3,005}$. Também neste caso, e a exemplo do que sucede no caso do primeiro exemplo de execução aqui apresentado, são obtidas películas brutas a partir desse pó, às quais é adicionado o material de eléctrodos; em seguida, as películas com o material de eléctrodos são empilhadas de modo a darem origem às pilhas correspondentes, são laminadas e, finalmente, sinterizadas nas mesmas condições. Obtém-se desta forma um actuador piezoelétrico caracterizado por uma resistência elevada, para o qual é determinada uma temperatura de Curie de 170° C. Torna-se desta forma possível utilizar este actuador piezoelétrico a temperaturas que, no máximo, se podem elevar a 80° C. A seguir à sinterização, as camadas de cerâmica piezoelétrica 2 apresentam a seguinte composição estequiométrica: $\text{Pb}_{0,98} \text{Ag}_{0,01} \text{La}_{0,01} \{ \text{Zr}_{0,30} \text{Ti}_{0,36} (\text{Ni}_{1/3} \text{Nb}_{2/3})_{0,34} \} \text{O}_{3,005}$.

Como se pode constatar pela fórmula acima, esta cerâmica piezoelétrica e, por conseguinte, o actuador piezoelétrico constituído por diversas camadas produzido segundo este processo, caracterizam-se por uma drogagem complexa para a posição B. Em consequência, obtém-se uma cerâmica piezoelétrica com características piezoelétricas melhoradas, a qual, de modo particular, se caracteriza por uma maior deflexão relativa.

A par destes melhoramentos das características, que já são do nosso conhecimento, a produção dos actuadores piezoelétricos de acordo com o presente invento implica um outro melhoramento, ou seja, também neste caso a coesão do actuador piezoelétrico se caracteriza por uma resistência maior e melhor. Também neste caso estamos em presença de uma cerâmica piezoelétrica de composição estequiométrica a seguir à sinterização, na

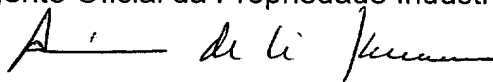


medida em que, durante a sinterização, a drogagem excessiva (com lântano [La]) é compensada pela difusão de prata a partir da superfície e o óxido de chumbo é eliminado da cerâmica piezoelétrica por meio de volatilização. Por outro lado, também neste caso regista um teor uniforme da prata ao longo de toda a camada de cerâmica, enquanto a presença do paládio, por sua vez, só pode ser comprovada em zonas próximas das superfícies de separação, assumindo a forma das fases com Pd-Pb-O nas nesgas triangulares existentes na separação dos grãos 4, a que já anteriormente nos referimos ao descrever o primeiro exemplo de execução.

Graças ao presente invento torna-se possível preparar um actuador piezoelétrico monolítico, constituído por diversas camadas, que, quando comparado com os actuadores piezoelétricos já nossos conhecidos, se caracteriza por uma melhor coesão; este actuador piezoelétrico pode ser produzido com camadas de eléctrodos contendo prata e paládio, que são mais económicos; resta ainda dizer que este actuador piezoelétrico, e independentemente da eventual presença de uma drogagem da posição B, também pode ser sinterizado abaixo de uma temperatura de sinterização ideal, de modo a dar origem a uma cerâmica de alta qualidade e com boas características piezoelétricas. Por consequência, torna-se assim possível, de modo especial, produzir actuadores constituídos por várias camadas passíveis de serem utilizados a temperaturas de, no máximo, 50° C, e caracterizados por uma maior capacidade de carga mecânica e por uma maior fiabilidade, inclusive quando submetidos a uma operação dinâmica.

Lisboa, - 9 FEV. 2000

O Agente Oficial da Propriedade Industrial



Américo da Silva Carvalho
Agente Oficial da Propriedade Industrial
R. Castilho, 201-3.º E - 1070 LISBOA
Telefs. 385 13 39 - 385 46 13

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de produção de um actuador piezoeléctrico monolítico, constituído por diversas camadas,
 - em conformidade com o qual, para a produção das películas brutas de cerâmica piezoeléctrica, se toma por base um pó de cerâmica piezoeléctrica estequiométrico do tipo do zircotitanato de chumbo, ao qual é adicionado não só um excesso estequiométrico de um metal terroso raro heterovalente até um teor total equivalente a uma percentagem de moles de 1 a 5 mas também um excesso estequiométrico adicional de óxido de chumbo equivalente a uma percentagem de moles de 1 a 5,
 - em conformidade com o qual são aplicadas às películas brutas camadas de eléctrodos constituídas por uma pasta contendo paládio e prata,
 - em conformidade com o qual as películas brutas são sobrepostas umas sobre as outras, de modo a formarem uma pilha, após o que são laminadas, de modo a que na pilha tenha lugar uma alternância entre as películas brutas e as camadas de eléctrodos,
 - em conformidade com o qual a pilha, depois de laminada, é sinterizada em condições de sinterização controladas, de modo a que o excesso de óxido de chumbo se volatilize e também a que a drogagem hiper-estequiométrica com um metal terroso raro seja compensada através da difusão de prata a partir da superfície das camadas de eléctrodos,
 - em conformidade com o qual a sinterização é levada a cabo numa atmosfera oxidante e a uma temperatura máxima de 1130° C,
 - em conformidade com o qual, durante a sinterização, é observada uma fase de manutenção da temperatura com uma duração de 30 a 120 minutos e à temperatura máxima, e ainda

- em conformidade com o qual são obtidas camadas de cerâmica piezoelétrica (2) caracterizadas por uma drogagem homogênea da prata.
2. Processo de acordo com a reivindicação de patente 1 acima referida, em conformidade com o qual o excesso de óxido de chumbo (PbO) é regulado para uma percentagem de moles de 1 a 3.
 3. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de patentes 1 ou 2 acima referidas, em conformidade com o qual, para que, a seguir à sinterização, as camadas de eléctrodos (1) apresentem uma espessura de 2 a 4 μm , equivalente à espessura previamente definida, quando se procede à aplicação das camadas de eléctrodos é seleccionada uma espessura superior para cada uma destas camadas, devendo a espessura adicional servir de reserva de espessura; esta espessura adicional tem por objectivo compensar a redução que a camada vem a sofrer posteriormente em resultado da difusão da prata a partir da superfície para as camadas de cerâmica piezoelétrica; ainda em conformidade com o referido processo, a dita reserva de espessura da camada é determinada de modo a ser proporcional tanto à relação existente entre a espessura da camada de cerâmica piezoelétrica e os eléctrodos como ao teor da substância de drogagem no metal terroso raro.
 4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de patentes 1 a 3 acima referidas, em conformidade com o qual o metal terroso raro que é adicionado ao pó de cerâmica piezoelétrica em excesso estequiométrico é o lântano ou o neodímio.

1. *Américo da Silva Carvalho*

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicação de patente 1 a 4 acima referidas, em conformidade com o qual é utilizado um pó de cerâmica piezoelétrica que se caracteriza por uma drogagem complexa da posição B.

Lisboa,
- 9 FEV. 2000

O Agente Oficial da Propriedade Industrial

Américo da Silva Carvalho

Américo da Silva Carvalho
Agente Oficial da Propriedade Industrial
R. Castilho, 201 - 3.º E - 1070 LISBOA
Telefs. 385 13 39 - 385 46 13

FIG 1

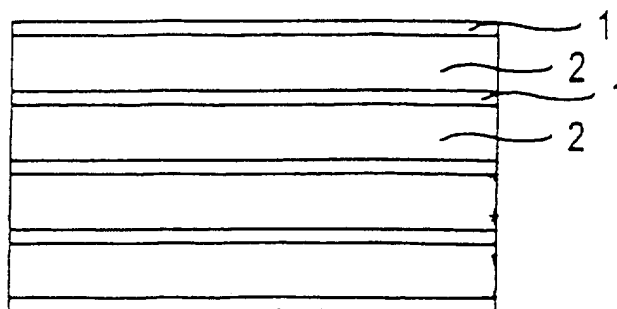


FIG 2

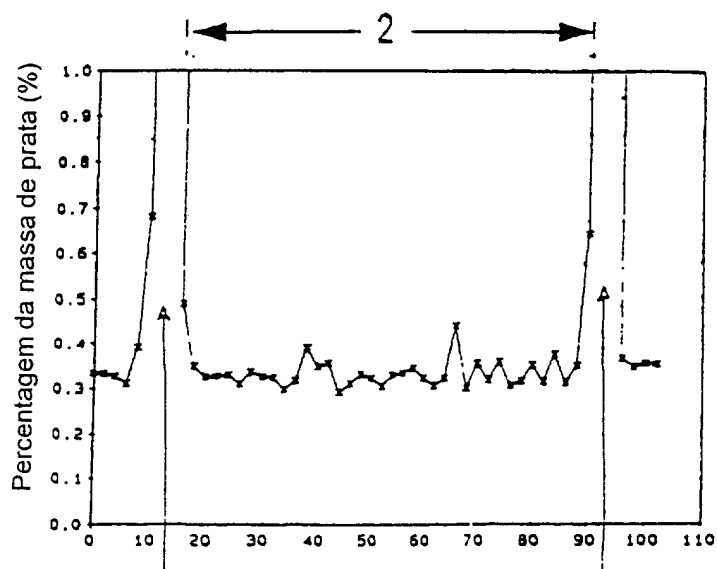


FIG 3

