



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0700763-9 A**

(22) Data de Depósito: 15/02/2007
(43) Data de Publicação: 30/09/2008
(RPI 1969)



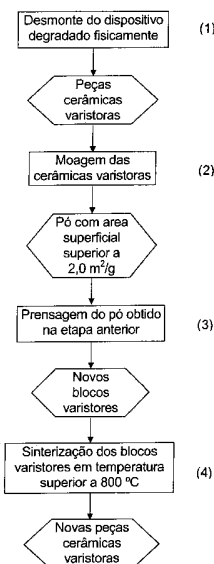
(51) *Int. Cl.:*
C04B 35/453 (2008.04)
H01C 7/10 (2008.04)

(54) Título: **PROCESSO PARA APRIMORAMENTO E RECUPERAÇÃO DE PROPRIEDADES ELETRÔNICAS NÃO-ÔHMICAS DE PEÇAS CERÂMICAS VARISTORAS (RESISTORES NÃO-LINEARES)**

(71) Depositante(s): Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (BR/SP)

(72) Inventor(es): Elson Longo da Silva, José Arana Varela, Miguel Ángel Ramírez Gil, Paulo Roberto Bueno

(57) Resumo: PROCESSO PARA APRIMORAMENTO E RECUPERAÇÃO DE PROPRIEDADES ELETRÔNICAS NÃO-ÔHMICAS DE PEÇAS CERÂMICAS VARISTORAS (RESISTORES NÃO- LINEARES). A presente invenção refere-se a um processo para aprimoramento e recuperação das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de peças cerâmicas, particularmente cerâmicas varistoras à base de óxidos metálicos. Este processo aprimora as propriedades eletrônicas não-ôhmicas de peças cerâmicas varistoras como obtidas durante a fabricação e recupera tais propriedades em peças cerâmicas que sofreram degradação, tanto física quanto química, durante o uso. Tanto o aprimoramento quanto a recuperação das propriedades não ôhmicas das cerâmicas são feitos por meio de tratamento termoquímico difusional em atmosfera oxidante, sendo que as faixas de temperatura e de saturação da atmosfera em oxigênio, bem como o tempo do tratamento, são parâmetros de controle do processo.



"PROCESSO PARA APRIMORAMENTO E RECUPERAÇÃO DE PROPRIEDADES ELETRÔNICAS NÃO-ÔHMICAS DE PEÇAS CERÂMICAS VARISTORAS (RESISTORES NÃO-LINEARES)"

A presente invenção refere-se a um processo para
 5 aprimoramento e recuperação das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de
 peças cerâmicas, particularmente cerâmicas varistoras à base de óxidos
 metálicos, as quais têm sua principal aplicação em dispositivos elétricos e
 eletrônicos e que podem, ou não, vir a sofrer degradação, tanto física quanto
 química, durante sua utilização. Tanto o aprimoramento quanto a
 10 recuperação das propriedades não ôhmicas das cerâmicas são feitos por
 meio de tratamento termoquímico difusional em atmosfera oxidante, sendo
 que as faixas de temperatura e de saturação da atmosfera em oxigênio,
 bem como o tempo do tratamento, são parâmetros de controle do processo.

As peças cerâmicas varistoras são empregadas como
 15 elementos de dispositivos protetores contra sobretensões, tanto em
 equipamentos eletro/eletrônicos de uso residencial e industrial como em
 linhas de distribuição e transmissão de energia elétrica. Como exemplo da
 utilização das cerâmicas varistoras têm-se os pára-raios de alta, média ou
 baixa tensão.

20 Atualmente, as composições varistoras são basicamente de
 dois tipos: (i) à base de carbeto de silício (SiC), como em GB762148, ou (ii)
 à base de óxidos metálicos, principalmente ZnO (US5264169 e
 US5854586), titanatos tipo $MTiO_x$ (JP7226307 e JP8319157), e SnO_2
 (BRPI9600174 e EP1683880A2).

25 As propriedades eletrônicas não-ôhmicas das peças
 cerâmicas dependem de uma série de fatores: composição química, grau de
 moagem e mistura, prensagem, tempo, temperatura e atmosfera de
 sinterização, taxas de aquecimento e resfriamento, entre outros. Após tais

etapas de processamento, as propriedades eletrônicas não-ôhmicas das peças cerâmicas resultantes podem ser melhoradas através do tratamento termoquímico objeto desta patente. Tal método pode constituir uma etapa posterior ao processo original de fabricação das cerâmicas varistoras ou
5 pode ser incorporado aos diretamente ao processo já existente.

Ainda, durante o uso dos dispositivos protetores contra sobretensões nos quais as cerâmicas varistoras estão inseridas, há uma degradação das propriedades não-ôhmicas destas peças. Tal degradação pode ter natureza química, física ou ambas. A presente invenção é também
10 um método para a recuperação das propriedades não-ôhmicas originais das peças varistoras à base de óxidos metálicos que foram degradadas, permitindo que as mesmas sejam novamente inseridas em dispositivos protetores contra sobretensões.

Materiais cuja relação corrente-tensão é linear são
15 denominados resistores lineares ou ôhmicos. Por outro lado, materiais que exibem comportamento não-linear entre corrente e tensão são denominados resistores variáveis, resistores não-ôhmicos ou varistores.

Uma das propriedades mais importantes das cerâmicas varistoras é definida pelo parâmetro α , que é o coeficiente de não-linearidade. O valor de α é normalmente calculado a partir de 1 mA/cm² de
20 densidade de corrente e está diretamente relacionado com a qualidade do varistor. Portanto, quanto maior for seu valor, em princípio, melhor será a eficiência do material.

Os varistores constituídos por carbeto de silício apresentam
25 baixo coeficiente de não linearidade ($\alpha \sim 15$). Por outro lado, os varistores à base de ZnO, pioneiramente fabricados pela General Electric a partir de 1971, apresentam coeficientes de não-linearidade, α , muito superiores, variando de 30 a 50. Resistores não-ôhmicos à base de titanato têm α entre

8 e 30, enquanto que o coeficiente de não linearidade dos varistores à base de dióxido de estanho encontra-se na faixa de 30 a 100.

O valor do campo elétrico de ruptura (E_r) governa o campo de aplicação dos varistores. Dependendo dos valores de E_r existentes no varistor podem ser projetados varistores para aplicações em baixas, médias ou altas tensões. Portanto, podem ser empregados como dispositivos de segurança em aparelhos eletrônicos (televisores, forno de microondas e outros), em sistemas de comunicação, como telefones, em automóveis, semáforos e como pára-raios em linhas de distribuição e transmissão de energia elétrica, entre outras tantas aplicações.

Os varistores objetos desta patente estão dentro da classe dos resistores não-lineares à base de óxidos metálicos, em que a matriz (óxido em maior quantidade molar) é geralmente um semicondutor do tipo n enquanto que os demais dopantes apresentam características semicondutoras do tipo p . Esta característica é comum aos vários resistores não-lineares à base de óxidos metálicos e ocorre porque os dopantes (óxidos em menor quantidade molar) precipitam na região do contorno de grão e geram um gradiente de concentração de oxigênio entre a região do grão e do contorno, sendo o contorno a região mais rica em oxigênio. A densidade de oxigênio nesta região de contorno é responsável pela formação da barreira de potencial que, em última instância, governa as características não-ôhmicas e não-lineares dos dispositivos à base de óxidos metálicos.

Sendo assim, as características não-lineares, ou propriedades eletrônicas não-ôhmicas, podem ser alteradas se tais materiais são submetidos a tratamentos térmicos em atmosferas específicas: oxidantes ou redutoras. Naturalmente, pelo que foi mencionado anteriormente, os tratamentos térmicos em atmosferas oxidantes podem

promover o enriquecimento do contorno de grão dos materiais com espécies de oxigênio, elevando as características não-lineares e os valores de α , alterando também outros parâmetros importantes da peça cerâmica, ao diminuir o valor da corrente de fuga e aumentar o valor da tensão de ruptura (E_r) em alguns casos. O tratamento térmico em atmosferas redutoras
5 provoca o efeito inverso, ou seja, diminuição do valor de α , aumento da corrente de fuga e diminuição da tensão de ruptura (E_r).

Em relação à possibilidade de desorção de oxigênio em varistores de ZnO, este tipo de material cerâmico é mais estável quando o
10 contorno de grão é enriquecido com algumas camadas de oxigênio e o mesmo contorno é deficiente em oxigênio quando o material está degradado. Outras composições varistoras à base de óxidos metálicos, tais como titanatos tipo $MTiO_x$ e SnO_2 se comportam de forma semelhante.

Existem diferentes mecanismos de degradação eletrônica de
15 peças cerâmicas à base de óxidos metálicos, a maioria deles relacionado a uma degradação química causada por uma perturbação física, tais como grandes surtos elétricos que podem afetar sensivelmente a capacidade desses materiais de assegurar a proteção contra surtos de tensão. Os surtos elétricos a que as peças cerâmicas são submetidas são capazes de
20 provocar degradação das propriedades não-ôhmicas, e os diferentes tipos de surtos são: a) impulsos de curta duração e alta densidade de corrente, devidos às descargas atmosféricas; b) impulsos de longa duração e baixa amplitude de corrente, oriundos de sobre-tensões de chaveamento; c) polarização em funcionamento na tensão nominal e a temperatura elevada,
25 conduzindo a um aumento exagerado da corrente de fuga, provocando um desequilíbrio da varistância; e d) descargas elétricas elevadas.

A degradação é provocada principalmente pelos três primeiros tipos de surtos citados acima e são traduzidos por um aumento da

corrente de fuga em funcionamento normal e por uma redução da tensão inicial.

A modificação química da composição varistora pode também ser decorrente do aquecimento local de determinadas regiões de contorno de grão. Um impulso de curta duração sobre um varistor pode produzir a sua degradação em razão da heterogeneidade do material. Assim, um aquecimento local excessivo é induzido, conduzindo a um aumento da corrente de fuga sob tensão normal, havendo um aquecimento geral do material. O aquecimento local conduz ao transporte de massa com modificação morfológica e química do local sob aquecimento.

Assim, a química do contorno de grão ditada pelo aumento da concentração de oxigênio pode ser explorada para melhorar as características dos sistemas varistores à base de óxidos metálicos.

Baseada nestas informações foi desenvolvida uma técnica de aprimoramento e recuperação das propriedades não-ôhmicas de peças cerâmicas varistoras à base de óxidos metálicos. De grande importância tecnológica, demonstrou-se que peças cerâmicas varistoras degradadas podem ser recuperadas a partir de tratamentos termoquímicos difusionais em temperaturas e atmosfera oxidantes específicas para cada material. Estas observações estendem-se para todos os sistemas varistores à base de óxidos metálicos, sejam eles comerciais ou não. Assim, cerâmicas com características não-lineares à base de óxidos metálicos que sofreram degradação podem ter suas propriedades eletrônicas não-lineares totalmente recuperadas. Este processo de recuperação de resistores de óxidos metálicos não-lineares é um dos objetos da invenção, sendo aplicado a varistores para baixas, médias e altas tensões. Tal processo torna viável a reutilização de uma quantidade imensa de peças cerâmicas varistoras que atualmente são descartadas sem recuperação. Aliás, o descarte de tais

materiais é também um ponto preocupante, pois os mesmos não são passíveis de serem descartados facilmente por problemas ecológicos.

Não existe um limite mínimo de degradação para que o método de recuperação seja aplicado. Tanto peças pouco degradadas, que
5 ainda apresentam propriedades não-ôhmicas dentro de especificações técnicas, quanto peças totalmente degradadas, podem ser submetidas ao tratamento de recuperação.

Numa modalidade preferida desta invenção, as peças cerâmicas são aquecidas em forno a temperaturas na faixa de 600 a 1350
10 °C, por um período de no mínimo 30 min em atmosfera oxidante. O forno utilizado para o aquecimento das peças pode ser elétrico, a gás, ou microondas, sendo o forno elétrico o preferido. A atmosfera oxidante pode ser obtida pela inserção na câmara de aquecimento de gases como O₂, O₃, NO_x ou outro que forneça oxigênio suficiente para promover a difusão de
15 espécies deste elemento dos contornos para o interior dos grãos da cerâmica. Normalmente esta difusão é obtida quando a saturação da atmosfera em oxigênio varia na faixa de 21 e 100%. A temperatura e o tempo do tratamento térmico, bem como saturação da atmosfera são definidas em função do óxido metálico base da cerâmica que está sendo
20 tratada, bem como do tamanho das peças cerâmicas e da quantidade de peças que são tratadas em uma mesma seção de aquecimento.

Este tratamento termoquímico, de acordo com a modalidade acima descrita, também pode ser utilizado em cerâmicas não-ôhmicas recém fabricadas, ou seja, com suas propriedades não-ôhmicas originais,
25 visando ao aprimoramento destas características eletrônicas e conseqüentemente a uma maior resistência à degradação. Neste caso as peças podem ser tratadas como obtidas após o processo de sinterização. Já nos casos de cerâmicas já montadas em dispositivos, degradadas ou não,

as peças devem ser tratadas após serem retiradas dos dispositivos aos quais encontram-se incorporadas.

Além da recuperação de varistores degradados quimicamente, há também a possibilidade de recuperação de cerâmicas varistoras à base de óxidos metálicos que sofreram degradação física. A 5 degradação física é aquela que tem origem principalmente na heterogeneidade do material. Assim, um aquecimento local excessivo conduz a uma perda de massa excessiva em uma determinada direção dentro do material conduzindo a um caminho percolativo para a passagem da corrente. Em muitos casos é observada também a perda de material com 10 formação trincas que inutilizam a peça cerâmica mecânica e fisicamente. Neste caso, o dispositivo é totalmente inutilizado e deixa de oferecer proteção. Em tais situações, o tratamento térmico específico em atmosferas oxidantes não conduz à recuperação, pois é necessário regenerar mecânica e fisicamente a peça cerâmica. O método proposto e testado é o re- 15 processamento da peça cerâmica, com moagem mecânica deste elemento cerâmico degradado, re-conformação e novo tratamento térmico, podendo ser em atmosferas oxidantes ou não. Tal processo mostrou-se viável na recuperação de peças cerâmicas varistoras à base de óxidos metálicos, sendo também este processo objeto desta patente. 20

O re-processamento de peças cerâmicas degradadas fisicamente, de modo que os blocos cerâmicos finais assim conformados tenham propriedades não-ôhmicas semelhantes às das peças originais, exige as seguintes etapas: (i) desmonte do dispositivo no qual a cerâmica varistora encontra-se inserida; (ii) moagem da peça cerâmica até que o pó 25 obtido tenha uma área superficial superior a $2,0 \text{ m}^2/\text{g}$; (iii) prensagem do pó obtido na etapa anterior, de modo a obter novos blocos varistores, sendo que a prensagem pode ser uni/biaxial ou isostática; (iv) sinterização do pó

assim obtido em temperaturas superiores a 800 °C, preferencialmente entre 900 e 1450 °C, dependendo do tipo de óxido metálico base da cerâmica varistora. A etapa de sinterização preferencialmente deve ser realizada em atmosfera oxidante.

5 O processo de acordo com a presente invenção é adicionalmente explicado pelas figuras anexadas.

Na Figura 1 são apresentadas micrografias de peças cerâmicas varistoras à base de ZnO e de SnO₂.

10 A Figura 2 mostra um desenho esquemático do efeito do tratamento termoquímico difusional sobre a concentração de oxigênio ao longo microestrutura dos grãos de uma cerâmica varistora à base de óxido metálico.

A Figura 3 mostra um fluxograma com as etapas do re-processamento das cerâmicas varistoras, necessário para a recuperação das propriedades não-ôhmicas quando há a degradação física das peças.

15 Na Figura 1 são apresentadas micrografias obtidas via microscopia eletrônica de varredura das microestruturas de cerâmicas varistoras à base de ZnO (1) e de SnO₂ (2). As peças foram atacadas química e termicamente, respectivamente, para a revelação dos contornos de grãos destes materiais policristalinos. As demais composições varistoras à base de óxidos metálicos têm microestrutura policristalina semelhante a estas apresentadas, resguardadas as diferenças devidas à formação de fases secundárias.

25 A Figura 2 é um desenho esquemático da microestrutura policristalina das cerâmicas varistoras à base de óxidos metálicos (MO_x), encontrando-se evidenciados os grãos que constituem o material (1). Neste desenho o material encontra-se submetido a uma atmosfera rica em O₂ (2). A região do contorno de grão é então melhor detalhada, de modo a

observar-se a junção entre dois grãos com a presença de O_2 (3). O tratamento termoquímico difusional provoca, ou reestabelece, um gradiente de concentração de oxigênio: o contorno de grão é mais rico neste elemento que o interior do grão (4). E é exatamente este gradiente de concentração
5 que confere às cerâmicas varistoras suas propriedades não-ôhmicas.

O fluxograma da Figura 3 mostra as etapas necessárias à recuperação de peças cerâmicas varistoras à base de óxidos metálicos que sofreram degradação física, caracterizada por trincas e fissuras no material. Inicialmente, a peça cerâmica deve ser retirada do dispositivo no qual
10 encontra-se inserida (1). O próximo passo é a moagem mecânica desta peça cerâmica (2) até que o pó obtido nesta etapa tenha uma área superficial superior a $2 \text{ m}^2/\text{g}$, sendo que a modalidade preferida de moagem é feita em meio alcoólico em um moinho de alta energia. O pó assim obtido é então prensado na forma de novos blocos cerâmicos varistores (3). As
15 modalidades preferidas de prensagem são uni, para obtenção de cerâmicas varistoras com até 15 mm de diâmetro, e a biaxial, para a obtenção de blocos varistores com diâmetro superior a 15 mm sendo possível a utilização de prensagem isostática para a substituição tanto da prensagem uni quanto biaxial. Os novos blocos varistores são então sinterizados em temperaturas
20 superiores a 800°C , preferencialmente entre 900 e 1450°C , por um período de tempo superior a 1 hora, preferencialmente entre 1 e 4 horas (4), obtendo-se finalmente novas cerâmicas varistoras à base de óxidos metálicos. A sinterização dos blocos varistores é preferencialmente realizada em atmosfera oxidante.

25 O processo de aprimoramento de peças cerâmicas varistoras originais e recuperação de peças varistoras degradadas quimicamente é explicado adicionalmente pelo exemplo abaixo, o qual não o restringe. Na Tabela 1 é demonstrada a variação dos valores dos

coeficientes de não-linearidade (α) para varistores à base de ZnO e de SnO₂. As peças cerâmicas varistoras originais, ou seja, como obtidas após a fabricação, foram submetidas ao tratamento termoquímico objeto desta patente para aprimoramento de suas propriedades não-ôhmicas. Observou-se uma elevação nos valores dos coeficientes de não-linearidade. Após sofrerem degradação química, as propriedades não-ôhmicas dos varistores foram nitidamente afetadas. Com a aplicação do processo de recuperação objeto desta patente as propriedades não-lineares foram restauradas. As condições de tratamento termoquímico difisional apresentados na Tabela 1 são preferenciais para as peças cerâmicas utilizadas neste exemplo, mas não restringem o objeto desta patente.

Tabela 1.

Composição	Tratamento	Varistor	α
ZnO (óxido base)	900 °C / 120 min atm. O ₂ / fluxo 15 l/h	Original	50
		Aprimorado	60
		Degradado*	15
		Recuperado	50
SnO ₂ (óxido base)	900 °C / 60 min atm. O ₂ / fluxo 10 l/h	Original	44
		Aprimorado	65
		Degradado*	21
		Recuperado	54

* *degradação química.*

O exemplo abaixo demonstra mais claramente o processo de recuperação de peças varistoras degradadas fisicamente, o qual não o restringe. Os dados apresentados na Tabela 2 demonstram que é possível recuperar parcialmente as propriedades não-ôhmicas de cerâmicas varistoras à base de óxidos metálicos após o re-processamento das peças degradadas fisicamente.

Tabela 2.

Composição	Tratamento	Varistor	α
ZnO (óxido base)	900 °C / 120 min atm. O ₂ / fluxo 10 l/h	Original	50
		Degradado*	não mensurável
		Recuperado	26

*degradação física.

A presente invenção apresenta um processo efetivo e eficaz para aprimorar e recuperar cerâmicas varistoras, com o intuito de melhorar ou recuperar suas propriedades não-ôhmicas. Embora a invenção tenha sido ilustrada com exemplos nos quais as condições de tratamento são específicas, o processo se destina a ser típico, não limitando de maneira alguma o escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para recuperação das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de peças cerâmicas varistoras (resistores não-lineares) à base de óxidos metálicos degradadas química e fisicamente, caracterizado por ser realizado via tratamento termoquímico difusional, em temperatura e atmosfera controladas.
2. Método para aprimoramento das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de cerâmicas varistoras (resistores não-lineares) à base de óxidos metálicos como obtidas durante a fabricação, caracterizado por ser realizado via tratamento termoquímico difusional, em temperatura e atmosfera controladas.
3. Método para recuperação e aprimoramento das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de cerâmicas varistoras (resistores não-lineares) à base de óxidos metálicos de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por serem as cerâmicas varistoras de óxidos metálicos, passíveis de recuperação ou aprimoramento, aplicadas em baixa, média ou alta tensão.
4. Método para recuperação das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de cerâmicas varistoras (resistores não-lineares) à base de óxidos metálicos de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do método ser aplicado à recuperação de cerâmicas varistoras degradadas em qualquer grau (baixo, médio ou totalmente degradadas).
5. Método para recuperação e aprimoramento das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de cerâmicas varistoras (resistores não-lineares) à base de óxidos metálicos de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por ser realizado em temperaturas superiores a 600 °C, preferencialmente na faixa de 600 a 1450 °C, por um período de tempo superior a 30 min, preferencialmente na faixa de 30 a 300 min.

6. Método para recuperação e aprimoramento das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de cerâmicas varistoras (resistores não-lineares) à base de óxidos metálicos de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por ser realizado em atmosfera oxidante com saturação
5 em oxigênio superior a 21%, preferencialmente na faixa de 21% a 100%.

7. Método para recuperação e aprimoramento das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de cerâmicas varistoras (resistores não-lineares) à base de óxidos metálicos de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato da atmosfera oxidante ser obtida pela inserção na
10 câmara de aquecimento de um composto capaz de produzi-la, qual seja sólido, líquido ou gasoso, preferencialmente O_2 , O_3 e NO_x .

8. Método para recuperação das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de cerâmicas varistoras (resistores não-lineares) à base de óxidos metálicos de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por
15 compreender as seguintes etapas anteriores ao tratamento termoquímico difusional, aplicado preferencialmente a cerâmicas varistoras degradadas fisicamente:

(a) retirada das peças varistoras dos dispositivos nos quais encontram-se inseridas;

20 (b) moagem das peças varistoras até a obtenção de pós com área superficial superior a $2 \text{ m}^2/\text{g}$;

(c) prensagem do pó obtido na etapa anterior, sendo a prensagem realizada preferencialmente uniaxialmente para a obtenção de peças com até 15 mm de diâmetro e preferencialmente biaxialmente para
25 obtenção de peças com diâmetro superior a 15 mm;

(d) sinterização das peças obtidas na etapa anterior em temperaturas superiores a 800°C , preferencialmente entre 900 e 1450°C , e preferencialmente em atmosfera oxidante, conforme reivindicações 6 e 7.

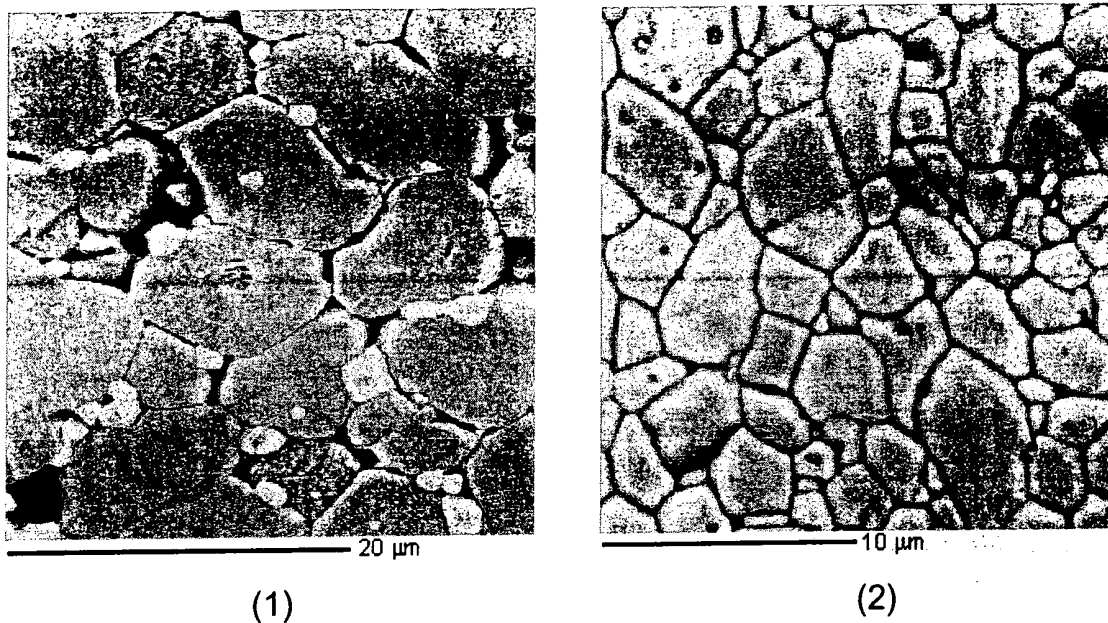


FIG. 1

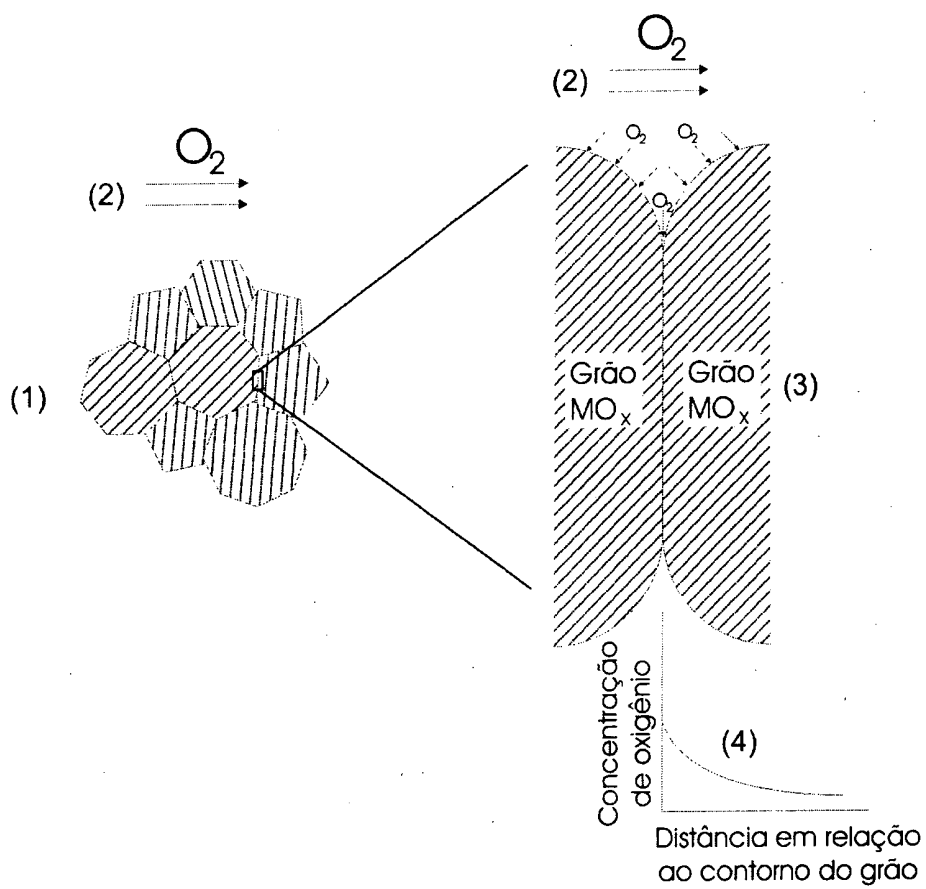


FIG. 2

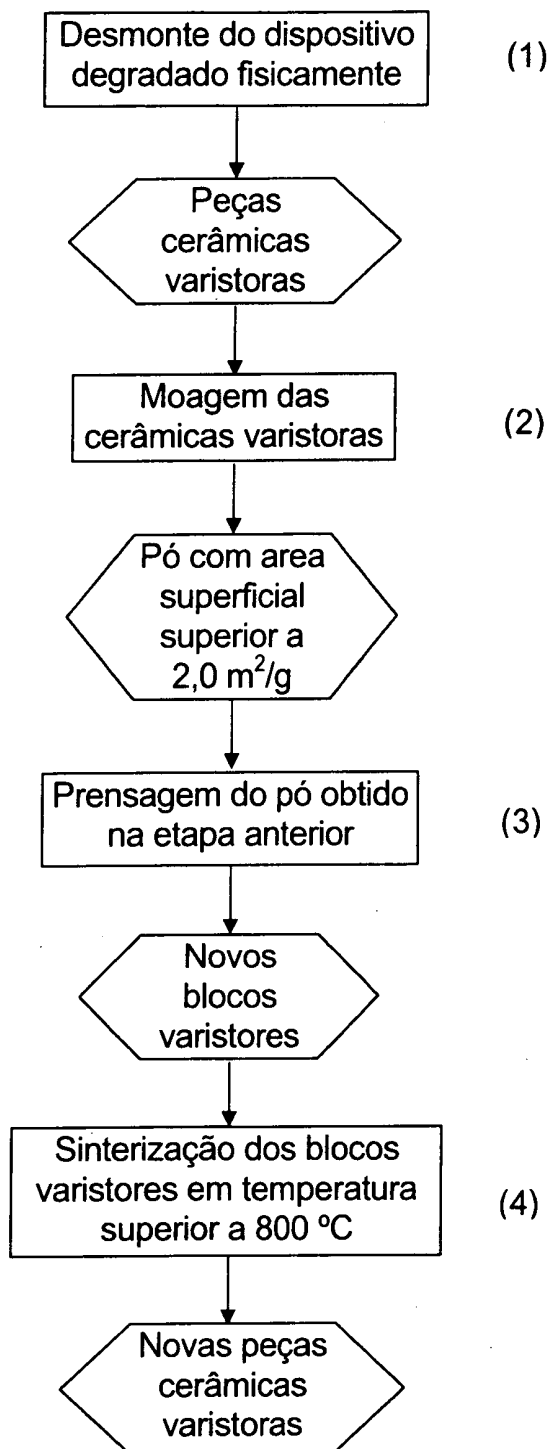


FIG. 3

RESUMO

Patente de Invenção: **“PROCESSO PARA APRIMORAMENTO E RECUPERAÇÃO DE PROPRIEDADES ELETRÔNICAS NÃO-ÔHMICAS DE PEÇAS CERÂMICAS VARISTORAS (RESISTORES NÃO-
5 LINEARES)”**

A presente invenção refere-se a um processo para aprimoramento e recuperação das propriedades eletrônicas não-ôhmicas de peças cerâmicas, particularmente cerâmicas varistoras à base de óxidos metálicos. Este processo aprimora as propriedades eletrônicas não-ôhmicas
10 de peças cerâmicas varistoras como obtidas durante a fabricação e recupera tais propriedades em peças cerâmicas que sofreram degradação, tanto física quanto química, durante o uso. Tanto o aprimoramento quanto a recuperação das propriedades não ôhmicas das cerâmicas são feitos por meio de tratamento termoquímico difusional em atmosfera oxidante, sendo
15 que as faixas de temperatura e de saturação da atmosfera em oxigênio, bem como o tempo do tratamento, são parâmetros de controle do processo.