

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

(21) **PI1000606-0 A2**



* B R P I 1 0 0 6 0 6 A 2 *

(22) Data de Depósito: 23/02/2010
(43) Data da Publicação: 18/10/2011
(RPI 2128)

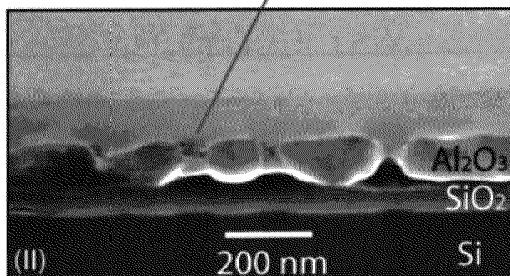
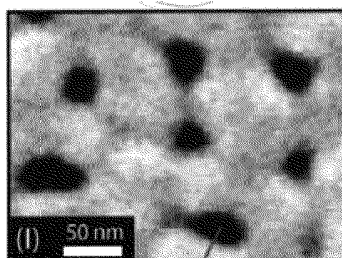
(51) *Int.Cl.:*
C25D 11/02
B82B 3/00
B82B 1/00

(54) **Título:** PROCESSO DE PRODUÇÃO DE NANOPOROS DE ALUMINA E PRODUTO OBTIDO PELO MESMO

(57) **Resumo:** PROCESSO DE PRODUÇÃO DE NANOPOROS DE ALUMINA E PRODUTO OBTIDO PELO MESMO. A presente invenção descreve um processo de produção de nanoporos de alumina compreendendo método de controlar o diâmetro e a distância dos nanoporos de alumina e o produto obtido pelo mesmo.

(73) **Titular(es):** Universidade Federal do Rio Grande do Sul

(72) **Inventor(es):** Adriano Friedrich Feil, Lívio Amaral, Marlla Vallerius da Costa, Pedro Migowski da Silva, Sérgio Ribeiro Teixeira





Relatório Descritivo de Patente de Invenção

PROCESSO DE PRODUÇÃO DE NANOPOROS DE ALUMINA E PRODUTO OBTIDO PELO MESMO

5 Campo da Invenção

A presente invenção descreve um processo de produção de nanoporos de alumina compreendendo método de controlar o diâmetro e a distância dos nanoporos de alumina e o produto obtido pelo mesmo. A presente invenção se situa nos campos da engenharia e química.

10

Antecedentes da Invenção

A tecnologia atual de formação de nanoporos de alumina (Al_2O_3) consiste na formação dos nanoporos a partir da anodização do alumínio metálico com controle preciso do diâmetro dos poros (D_p) de 8-200 nm, a
15 distância entre os poros (D_{int}) de 50-1000 nm e o comprimento (L) da camada porosa que pode variar de poucos micrometros chegando a milímetros (*Li, A. P.; Müller, F.; Bimer, A.; Nielsch, K.; Gösele, U. Journal of Applied Physics, 1998, 84, 6023–6026*). Esse controle é realizado em função dos parâmetros usados durante a anodização como, tensão aplicada, densidade de corrente
20 elétrica e temperatura e/ou concentração do eletrólito.

Essa tecnologia está fundamentada e pré-estabelecida e apresenta resultados altamente precisos para anodizações a partir do alumínio maciço (material em *bulk*, chapas, folhas) mostrando inclusive que o tamanho da região de nanoporos altamente ordenados está diretamente relacionado ao
25 tamanho dos grãos da matriz de alumínio metálico (*Li, F.; Zhang, L.; Metzger, R. M., Chemistry of Materials, 1998, 10, 2470–2480*).

O avanço da tecnologia levou a necessidade de estudos técnicos visando uma diminuição significativa das camadas de alumina porosa de micrometros para poucos nanômetros. Tal diminuição nas espessuras
30 possibilitaram novas linhas de estudos como, por exemplo, a formação e o controle de nanoporos de alumina pelo processo de anodização a partir de

filmes finos de alumínio depositados sobre um substrato (A. L. Cai, H. Zhang, H. Hua and Z. Zhang, *Nanotechnology*, 2002, 13, 627) que apresentavam como aplicação potencial servir como molde para crescimento de nanoporos no interior dos nanoporos de alumina (H. Chik, J. Liang, S. G. Cloutier, N. Kouklin and J. M. Xu, *Applied Physics Letters*, 2004, 84, 3376).

Entretanto, a literatura técnica mostra que a diminuição excessiva da espessura dos filmes finos de alumínio metálico induz um fator importante no resultado da anodização, a diminuição do tamanho dos grãos de alumínio, levando a uma estrutura de nanoporos altamente desordenada (Z. Sun and H. K. Kim, *Applied Physics Letters*, 2002, 81, 3458).

No entanto, é desejável uma alternativa viável e de simples operação para controlar a estrutura de nanoporos de alumina, principalmente o diâmetro (D_p) e a distância entre os nanoporos (D_{int}) formados a partir de filmes finos de alumínio metálico tornando assim a utilização deste como um processo viável para aplicações em escala industrial em nível de microeletrônica, por exemplo.

Dessa forma, uma alternativa viável e eficaz ao processo convencional de controle da estrutura dos nanoporos formados por anodização a partir de filmes finos de alumínio, é o processo de controle do tamanho dos grãos (TG) dos filmes finos de alumínio. Nesse novo processo, o tamanho dos grãos (TG) limita o crescimento dos nanoporos controlando com extrema precisão o DP e o Dint.

A busca na literatura patentária apontou alguns documentos relevantes que serão descritos a seguir.

O documento US 2005/0255581 revela um processo de produção de nanoporos de alumina compreendendo processo de deposição e anodização a partir de alumínio maciço. A presente invenção difere deste documento por não compreender deposição e anodização de alumínio maciço, mas, sim compreender um processo de produção de nanoporos de alumina a partir de filmes fino de alumínio que inclui um método de controlar o diâmetro e a distância dos nanoporos de alumina através de tratamento térmico, método este não citado no referido documento.

O documento WO 2008/014977 revela um processo de produção de nanoporos de alumina a partir da anodização do alumínio metálico com controle preciso do diâmetro dos poros e da distância entre os poros. Este controle é realizado através dos parâmetros usados durante a anodização
5 como, tensão aplicada, densidade de corrente elétrica e temperatura e/ou concentração do eletrólito. A presente invenção difere deste documento pelo fato de não compreender um método de controle através dos parâmetros usados durante a anodização, mas, sim um processo de produção de nanoporos de alumina por anodização que inclui um método de controlar a
10 formação de nanoporos de alumina através de tratamento térmico.

O documento US 6,139,713 revela um processo de produção de nanoporos de alumina compreendendo anodização de uma chapa de alumínio. A presente invenção difere deste documento por não compreender anodização de chapa de alumínio, mas, sim compreender um processo de produção de
15 nanoporos de alumina a partir de filmes fino de alumínio que inclui um método de controlar o diâmetro e a distância dos nanoporos de alumina através de tratamento térmico, método este não citado no referido documento.

O documento US 2005/0142298 revela um processo de produção de nanoporos de alumina compreendendo oxidação das camadas de uma fina
20 placa de alumínio através de uma ponteira de aplicação de tensão de polarização. A presente invenção difere deste documento pelo fato de não compreender processo de oxidação das camadas de uma fina placa de alumínio através de uma ponteira de aplicação de tensão de polarização, mas, sim compreender um processo de produção de nanoporos de alumina a partir
25 de filmes fino de alumínio que inclui um método de controlar o diâmetro e a distância dos nanoporos de alumina através de tratamento térmico, método este não citado no referido documento.

Do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção,
30 de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

Sumário da Invenção

Em um aspecto, a presente invenção proporciona um processo de produção de nanoporos de alumina compreendendo método de controlar o diâmetro e a distância dos nanoporos de alumina e o produto obtido pelo processo de produção.

É, portanto, um objeto da presente invenção, um processo de produção de nanoporos de alumina compreendendo as etapas de:

- a) depositar filme fino de alumínio;
- 10 b) controlar a estrutura de alumina através do método de controle compreendendo as etapas de:
 - i) controlar o tamanho dos grãos do filme de alumínio (Tg); e
 - ii) controlar os parâmetros da estrutura de alumina a partir de
- a).
- 15 c) anodizar.

Em uma realização preferencial, após a etapa de anodização pode ser realizada uma etapa adicional de "etching" químico em uma solução aquosa composta com os ácidos selecionados dentre ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido oxálico ($H_2C_2O_4$), ácido crômico (H_2CrO_4) ou ácido fosfórico (H_3PO_4), isoladamente ou em associação, com concentração da solução entre 10^{-10} a 10 M e temperatura variando entre $-20^\circ C$ a $80^\circ C$, para remoção da alumina remanescente no interior dos nanoporos.

Em adicional, a presente invenção descreve nanoestruturas de alumina obtidas pelo referido processo de produção.

25 É, portanto, um objeto adicional da presente invenção, nanoporos de alumina obtidos pelo processo.

Em uma realização preferencial, os nanoporos de alumina da presente invenção compreendem nanoestrutura composta por nanoporos de alumina formados a partir de filmes finos de alumínio depositados sobre um substrato de silício.

30

Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

5 **Breve Descrição das Figuras**

A figura 1 mostra imagens de microscopia de força atômica (AFM) dos grãos da superfície dos filmes finos de alumínio com diferentes tempos de tratamento térmico, onde (A) é 0 horas, (B) é 3 horas, (C) é 6 horas, (D) é 15 horas, (E) é 18 horas e (F) é 24 horas.

10 A figura 2 mostra gráfico relacionando o controle do TG dos filmes finos de alumínio submetidos a diferentes tempos de tratamento térmico.

A figura 3 mostra imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da estrutura dos nanoporos formados a partir de filmes finos de alumínio sobre silício submetido a diferentes tempos de tratamento térmico, onde (A) é 0 horas, (B) é 3 horas, (C) é 6 horas, (D) é 15 horas, (E) é 18 horas e (F) é 24 horas.

A figura 4 mostra gráfico da variação do D_p e do D_{int} dos nanoporos em função do controle do T_G realizado com diferentes tempos de tratamento térmico, onde ■ é D_{int} (distância entre os poros) e ● é D_p (diâmetro do poro).

A figura 5 mostra imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície e do corte transversal dos nanoporos de alumina formados a partir da anodização do filme fino de alumínio sem a realização do processo de tratamento térmico.

25 A figura 6 mostra imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície e do corte transversal dos nanoporos de alumina formados a partir da anodização do filme fino de alumínio com a realização do processo de tratamento térmico por 24h.

A figura 7 mostra as etapas seqüenciais do processo de produção de nanoporos de alumina, onde (A) é início, (B) é preparação dos filmes finos, (C)

30

é deposição dos filmes finos, (D) é tratamento térmico e (E) é processo de anodização dos filmes finos.

A figura 8 mostra as etapas seqüenciais do processo de produção de nanoporos de alumina incluindo uma etapa opcional de "etching" químico para promover a remoção da alumina remanescente no interior dos nanoporos, onde (A) é início, (B) é preparação dos filmes finos, (C) é deposição dos filmes finos, (D) é tratamento térmico, (E) é processo de anodização dos filmes finos e (F) é processo de "etching".

10 Descrição Detalhada da Invenção

Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

Processo de produção de nanoporos de alumina

15 O processo de produção de nanoporos de alumina da presente invenção compreende as etapas de:

- a) depositar filme fino de alumínio;
- b) controlar a estrutura de alumina através do método de controle compreendendo as etapas de:

- 20 i) controlar o tamanho dos grãos do filme de alumínio (Tg); e
- ii) controlar os parâmetros da estrutura de alumina a partir de

a).

- c) anodizar.

25 Em uma realização preferencial, após a etapa de anodização pode ser realizada uma etapa adicional de "etching" químico em uma solução aquosa composta com os ácidos selecionados dentre ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido oxálico ($H_2C_2O_4$), ácido crômico (H_2CrO_4) ou ácido fosfórico (H_3PO_4), isoladamente ou em associação, com concentração da solução entre 10^{-10} a 10 M e temperatura variando entre $-20^{\circ}C$ a $80^{\circ}C$, para remoção da alumina remanescente no interior dos nanoporos.

Depositar filme fino de alumínio

A deposição de filme fino de alumínio da presente invenção compreende deposição ou crescimento do filme fino de alumínio sobre o substrato. Em uma realização preferencial, a deposição do filme fino de alumínio com espessura variando de 1 nm até 10000 nm sobre um substrato de silício pode ser realizada com taxa de deposição variando de 0,01 a 10 nm/s e com temperatura do substrato variando de 20°C a 1150°C; por processos de PVD (*Physical Vapor Deposition*) ou CVD (*Chemical Vapor Deposition*) ou ALD (*Atomic Layer Deposition*) e suas combinações, a partir dos elementos químicos selecionados dentre Titânio (Ti), Zircônio (Zr), Vanádio (V), Nióbio (Nb), Tântalo (Ta), Háfnio (Hf), Cromo (Cr), Molibdênio (Mo), Tungstênio (W), Ferro (Fe), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Prata (Ag), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Rutênio (Ru), Ródio (Rh), Paládio (Pd), Cádmio (Cd), Índio (In), Estanho (Sn), Antimônio (Sb), Rênio (Re), Irídio (Ir), Platina (Pt), Ouro (Au), Gálio (Ga), Germânio (Ge), Arsênio (As), Selênio (Se), Silício (Si), Fósforo (P), Boro (B), Carbono (C) separados ou em associação na forma de filmes finos, multicamadas ou ligas.

Controlar a estrutura de alumina

O controle da estrutura de alumina da presente invenção compreende controlar a formação da estrutura de alumina. Em uma realização preferencial, o controle do diâmetro do poro (D_p) e a distância entre os poros (D_{int}) é feito a partir do controle do tamanho dos grãos (T_G) dos filmes finos de alumínio. O controle do T_G ocorre a partir do tratamento térmico a uma temperatura variando de 100°C a 750°C e tempo variando de 0 a 24h, em atmosfera ambiente, ou sob vácuo de 10^{-8} a 10^5 Pa, ou utilizando os gases selecionados dentre Argônio (Ar), Nitrogênio (N_2) separados ou em associação.

Anodizar

A anodização da presente invenção compreende a etapa de anodização para a formação da alumina porosa. Em uma realização preferencial, a etapa de anodização para a formação da alumina porosa ocorre em um eletrólito aquoso que inclui ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou ácido oxálico ($H_2C_2O_4$) ou ácido fosfórico (H_3PO_4) ou ácido crômico (H_2CrO_4), isoladamente ou em associação,

com concentrações entre 10^{-10} a 10 M, temperatura variando de -20°C a 80°C e aplicação da diferença de potencial variando entre 5 a 350V.

Nanoporos de Alumina

Os nanoporos de alumina da presente invenção compreendem nanoestrutura formada com nanoporos de alumina formadas a partir de filmes finos de alumínio depositados sobre um substrato de silício.

Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

10

Exemplo 1. Realização Preferencial

O processo de formação e controle de nanoporos de alumina (Al_2O_3) a partir da anodização de filmes finos de alumínio consiste em controlar a estrutura da alumina como o diâmetro (D_P) e a distância entre os poros (D_{int}) a partir do controle do tamanho dos grãos (T_G) dos filmes finos de alumínio. O controle do T_G ocorre a partir do tratamento térmico com temperatura variando de 100 a 750°C de 1h a 24h do filme de alumínio depositado sobre silício como mostra a figura 1.

Com o processo de anodização nos filmes de alumínio depositados sobre silício submetidos a diferentes tempos de tratamento térmico foi observada uma mudança do D_P e no D_{int} dos nanoporos conforme apresentado na figura 2 e 3. Foi observada uma relação direta entre o T_G dos filmes finos de alumínio e a D_P e a D_{int} dos nanoporos de alumina. Esse efeito está relacionado ao fato do T_G limitar o crescimento dos nanoporos tendo em vista que os nanoporos são formados nos grãos de alumínio. Assim, é possível controlar com precisão a D_P e a D_{int} dos nanoporos de alumina a partir do controle do T_G dos filmes finos de alumínio. Esse efeito pode ser observado tanto na superfície dos nanoporos como ao longo do filme poroso como está mostrado num corte transversal na figura 5 e 6.

O controle do tamanho dos grãos por tratamento térmico do filme fino de alumínio depende de dois fatores: o tempo de tratamento térmico e a

temperatura do tratamento térmico apresentando uma relação:

Equação 1: função que descreve o crescimento dos grãos do filme fino de alumínio

$$R = T t^n$$

5 onde R é o raio médio do grão, T é a temperatura do tratamento térmico, t é o tempo de tratamento térmico e n é a declividade da curva retirada do gráfico da figura 1. Neste caso específico o valor de n é 0,47, porém o valor de n pode variar de 0 a 1 dependendo do material que for depositado ou crescido sobre o substrato.

10 O controle do T_G do filme fino apresentada um limite máximo proporcional a 4 vezes a espessura (L) do filme fino, ou seja, independente do tempo e da temperatura do tratamento térmico o T_G não será superior a 4L.

Pelo fato dos nanoporos serem formados nos grãos do filme fino, o T_G representa o limite de crescimento dos nanoporos, como pode ser observado em detalhe nas imagens de MEV da figura 3 e principalmente na figura 2 relacionando o T_G em função do D_P e do D_{int} .

Conforme apresentado no fluxograma da figura 7, o processo de formação e controle de nanoporos de alumina a partir da anodização de filmes finos de alumínio compreende as seguintes etapas:

20 a) deposição ou crescimento do filme fino de alumínio sobre o substrato pelo processo de PVD com taxa de deposição variando de 0,01 a 10 nm/s com temperatura do substrato variando de 20°C a 1150°C;

b) tratamento térmico do filme fino de alumínio para controlar o tamanho dos grãos do alumínio é realizado a uma temperatura variando de 100°C a 1150°C e tempo variando de 0 a 24h;

25 c) anodização do filme fino de alumínio em um eletrólito aquoso que inclui ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou ácido oxálico ($H_2C_2O_4$) ou ácido fosfórico (H_3PO_4) ou ácido crômico (H_2CrO_4), isoladamente ou em associação, com concentrações entre 10^{-10} a 10 M, temperatura variando de -20°C a 80°C e aplicação da
30 diferença de potencial variando entre 5 a 350V;

A deposição ou crescimento do filme finos sobre o substrato pode ser

realizada por processos de PVD (Physical Vapor Deposition) ou CVD (Chemical Vapor Deposition) ou ALD (Atomic Layer Deposition) e suas combinações, a partir dos elementos químicos selecionados dentre Titânio (Ti), Zircônio (Zr), Vanádio (V), Nióbio (Nb), Tântalo (Ta), Háfnio (Hf), Cromo (Cr),
5 Molibdênio (Mo), Tungstênio (W), Ferro (Fe), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Prata (Ag), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Rutênio (Ru), Ródio (Rh), Paládio (Pd), Cádmio (Cd), Índio (In), Estanho (Sn), Antimônio (Sb), Rênio (Re), Iridio (Ir), Platina (Pt), Ouro (Au), Gálio (Ga), Germânio (Ge), Arsênio (As), Selênio (Se), Silício (Si), Fósforo (P), Boro (B), Carbono (C) separados ou em
10 associação na forma de filmes finos, multicamadas ou ligas.

O tratamento térmico para crescimento e controle do tamanho dos grãos do filme fino pode ser realizado em atmosfera ambiente, ou sob vácuo de 10^{-8} a 10^5 Pa, ou utilizando os gases selecionados dentre Argônio (Ar), Nitrogênio (N_2) separados ou em associação, ou em pressão atmosférica.

15 De forma opcional, após a etapa de anodização pode ser realizada uma etapa adicional de etching químico em uma solução aquosa composta com os ácidos selecionados dentre ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido oxálico ($H_2C_2O_4$), ácido crômico (H_2CrO_4) ou ácido fosfórico (H_3PO_4), isoladamente ou em associação, com concentração da solução entre 10^{-10} a 10 M e temperatura
20 variando entre $-20^\circ C$ a $80^\circ C$, para remoção da alumina remanescente no interior dos nanoporos, como mostrado na figura 8.

De forma opcional o controle do T_G pode ser realizado durante o processo de deposição ou crescimento do filme fino controlando a taxa de deposição e a temperatura do substrato, não necessitando assim a etapa de
25 tratamento térmico.

O produto obtido através do presente processo compreende uma nanoestrutura com dimensões nanométricas composta de nanoporos formados a partir de filmes finos depositados sobre um substrato de silício.

Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e
30 poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outros variantes, abrangidos no escopo das reivindicações anexas.

Reivindicações

PROCESSO DE PRODUÇÃO DE NANOPOROS DE ALUMINA E PRODUTO OBTIDO PELO MESMO

- 5 1. PROCESSO DE PRODUÇÃO E CONTROLE DE NANOPOROS DE ALUMINA caracterizado por compreender as etapas de:
- a) deposição do filme fino de alumínio com espessura variando de 1 nm até 10000 nm sobre um substrato de silício;
 - b) controle do diâmetro do poro (D_p) e distância entre os poros (10 D_{int});
 - c) anodização do material-base em um eletrólito aquoso, com concentrações entre 10^{-10} a 10 M, temperatura variando de -20°C a 80°C e aplicação da diferença de potencial podendo variar entre 5 a 350V.
- 15 2. PROCESSO DE FORMAÇÃO E CONTROLE DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por conter etapa adicional de "etching" químico em uma solução aquosa composta com os ácidos selecionados dentre ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido oxálico ($H_2C_2O_4$), ácido crômico (H_2CrO_4) ou ácido fosfórico (H_3PO_4), 20 isoladamente ou em associação, com concentração da solução entre 10^{-10} a 10 M e temperatura variando entre -20°C a 80°C.
- 25 3. PROCESSO DE FORMAÇÃO E CONTROLE DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a deposição ocorre com taxa de deposição variando de 0,01 a 10 nm/s e com temperatura do substrato variando de 20°C a 1150°C.
- 30 4. PROCESSO DE FORMAÇÃO E CONTROLE DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a deposição se dá por processos de PVD (*Physical Vapor Deposition*) ou CVD (*Chemical Vapor Deposition*) ou ALD (*Atomic Layer Deposition*) e suas combinações.
5. PROCESSO DE FORMAÇÃO E CONTROLE DE NANOESTRUTURAS

DE ALUMINA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a deposição ocorre a partir dos elementos químicos selecionados dentre Titânio (Ti), Zircônio (Zr), Vanádio (V), Nióbio (Nb), Tântalo (Ta), Háfnio (Hf), Cromo (Cr), Molibdênio (Mo), Tungstênio (W), Ferro (Fe),
5 Cobalto (Co), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Prata (Ag), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Rutênio (Ru), Ródio (Rh), Paládio (Pd), Cádmio (Cd), Índio (In), Estanho (Sn), Antimônio (Sb), Rênio (Re), Iridio (Ir), Platina (Pt), Ouro (Au), Gálio (Ga), Germânio (Ge), Arsênio (As), Selênio (Se), Silício (Si), Fósforo (P), Boro (B), Carbono (C) separados
10 ou em associação na forma de filmes finos, multicamadas ou ligas.

6. PROCESSO DE FORMAÇÃO E CONTROLE DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o controle do diâmetro do poro (D_p) e distância entre os poros (D_{int}) se dá a uma temperatura variando de 100°C a 750°C.

15 7. PROCESSO DE FORMAÇÃO E CONTROLE DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o controle do diâmetro do poro (D_p) e distância entre os poros (D_{int}) se dá durante tempo variando de 0 a 24h.

20 8. PROCESSO DE FORMAÇÃO E CONTROLE DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o controle do diâmetro do poro (D_p) e distância entre os poros (D_{int}) se dá em atmosfera ambiente, ou sob vácuo de 10^{-8} a 10^5 Pa, ou utilizando os gases selecionados dentre Argônio (Ar), Nitrogênio (N_2) separados ou em associação.

25 9. PROCESSO DE FORMAÇÃO E CONTROLE DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o eletrólito aquoso utilizado na anodização inclui ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou ácido oxálico ($H_2C_2O_4$) ou ácido fosfórico (H_3PO_4) ou ácido crômico (H_2CrO_4), isoladamente ou em associação, com concentrações
30 entre 10^{-10} a 10 M.

10. PRODUTO OBTIDO A PARTIR DO PROCESSO REIVINDICADO EM 1,

caracterizado pelo fato de compreender uma nanoestrutura que inclui uma relação de % nanoporos de alumina = 100 - % nanotubos de alumina.

FIGURAS

Figura 1

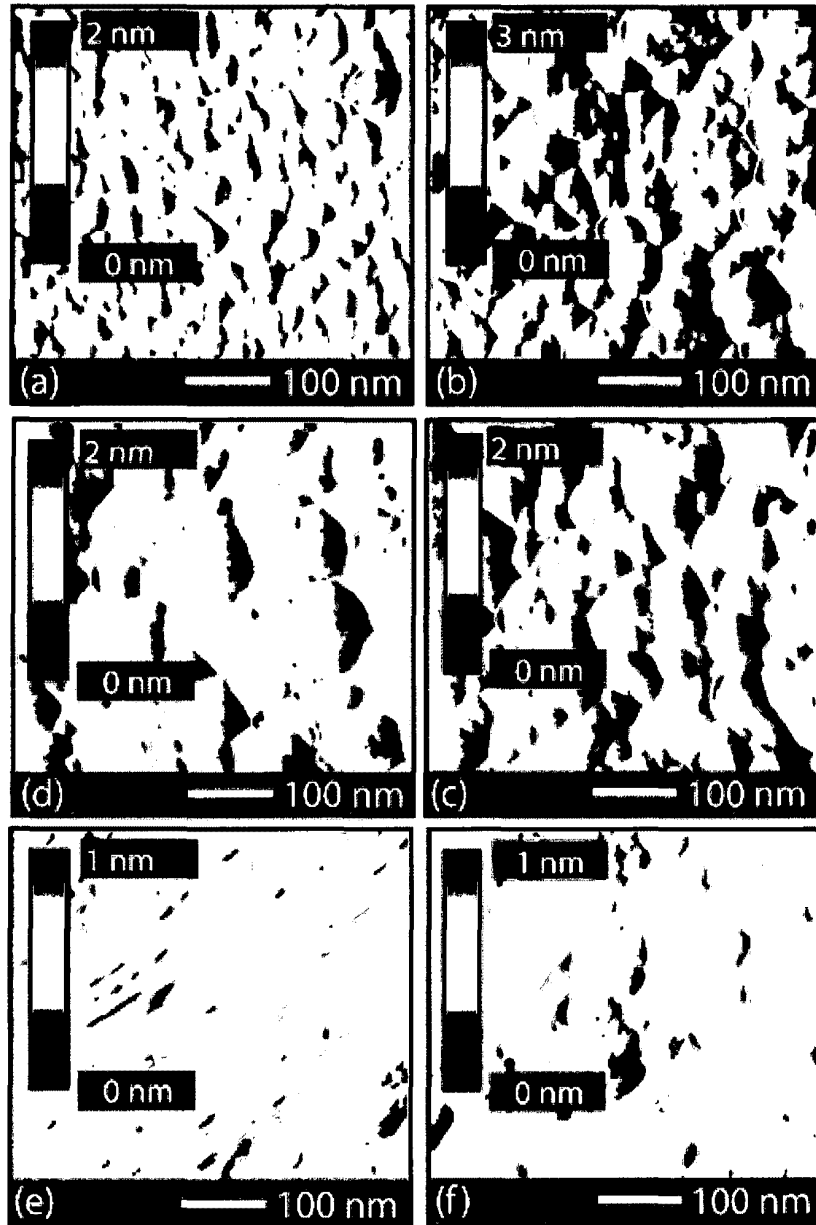


Figura 2

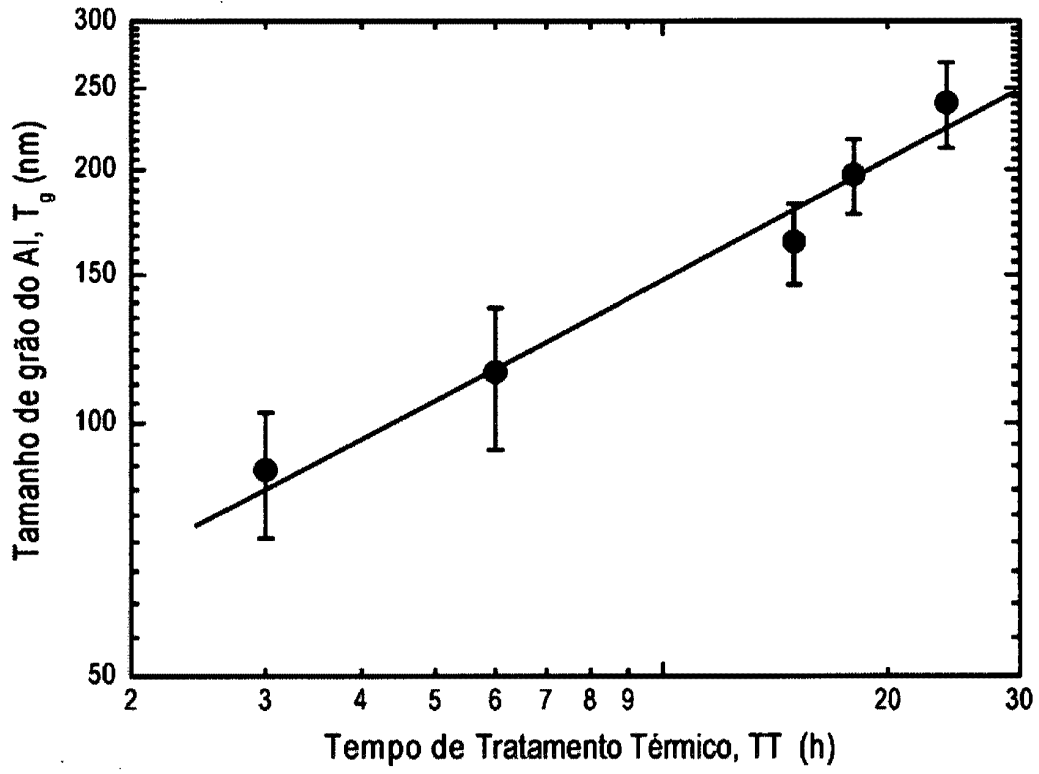


Figura 3

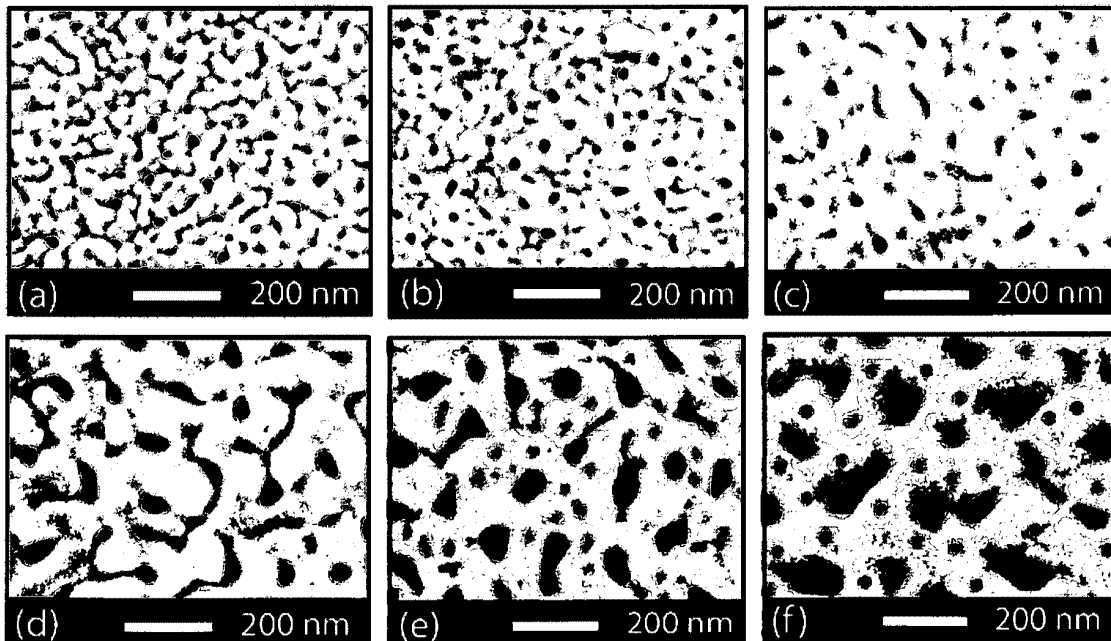


Figura 4

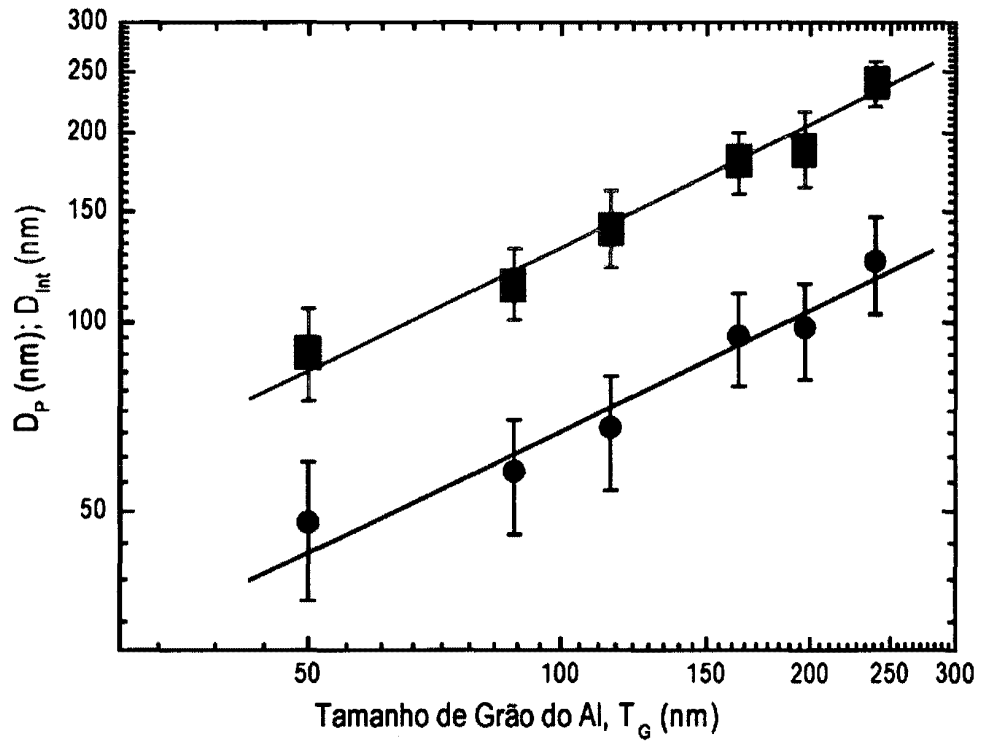


Figura 5

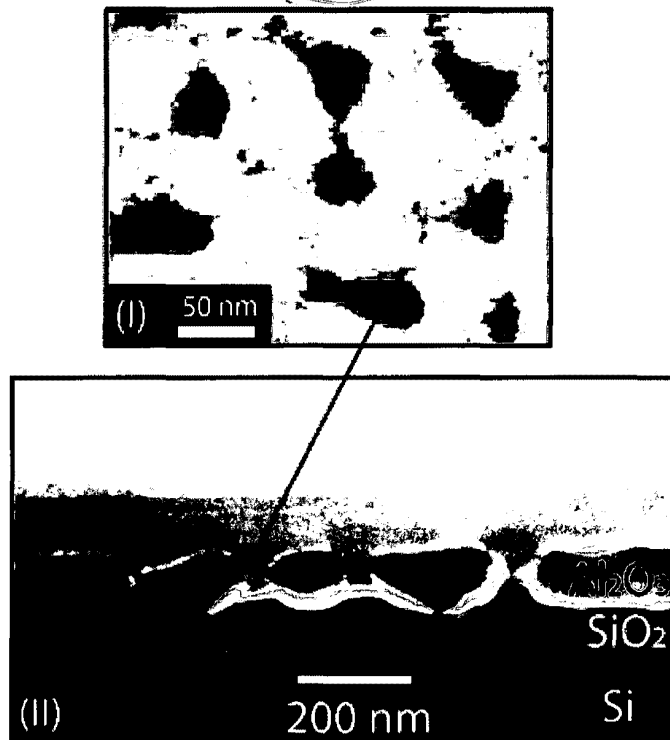


Figura 6

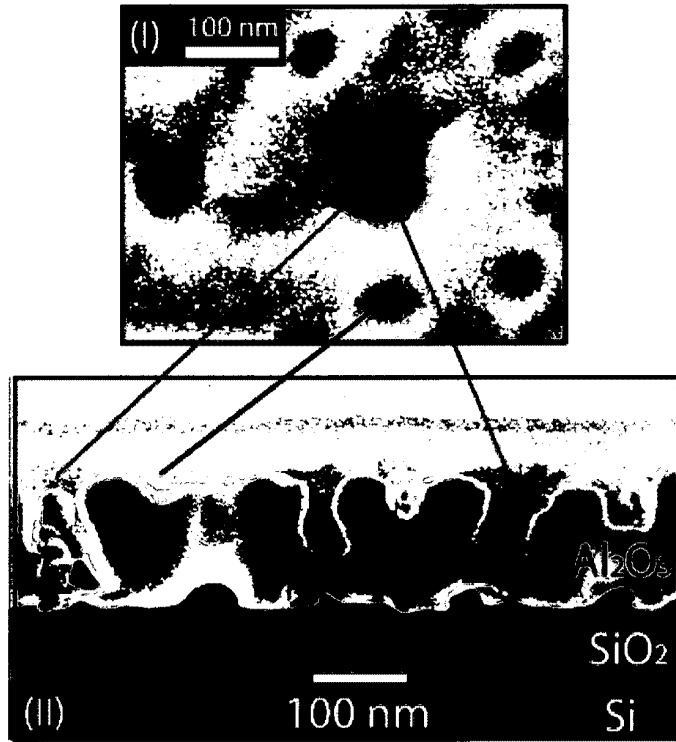


Figura 7

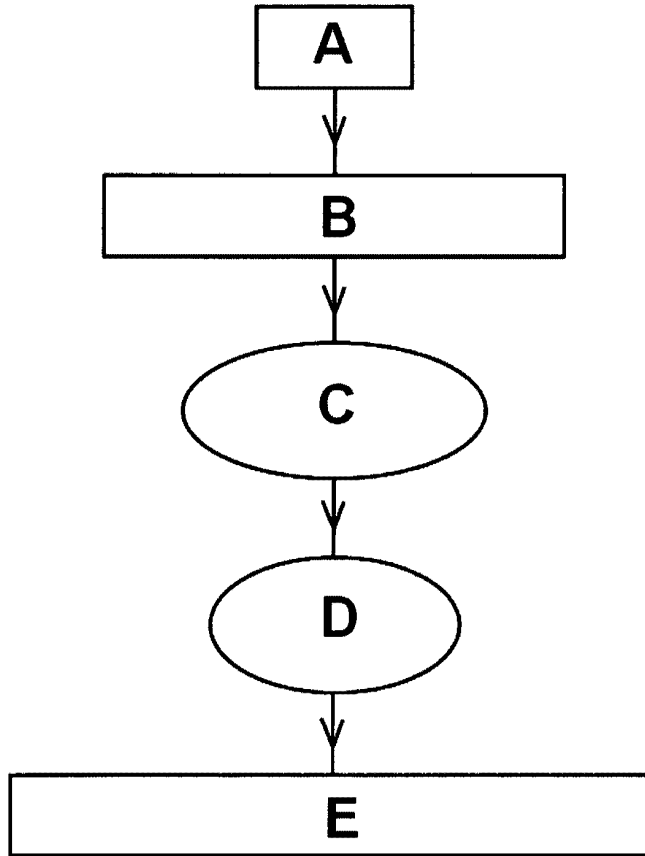
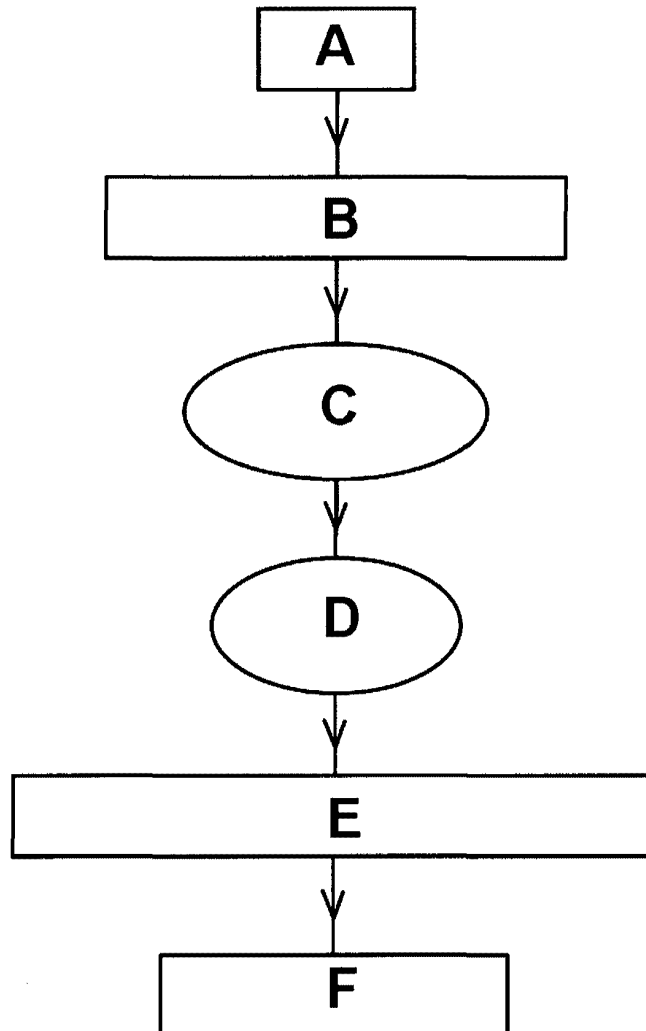


Figura 8



Processo - 0

Resumo

**PROCESSO DE PRODUÇÃO DE NANOPOROS DE ALUMINA E PRODUTO
OBTIDO PELO MESMO**

- 5 A presente invenção descreve um processo de produção de nanoporos de alumina compreendendo método de controlar o diâmetro e a distância dos nanoporos de alumina e o produto obtido pelo mesmo.