



**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

**CARTA PATENTE N° PI 0900537-4**

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

**(21) Número do Depósito:** PI 0900537-4

**(22) Data do Depósito:** 26/03/2009

**(43) Data da Publicação do Pedido:** 23/08/2011

**(51) Classificação Internacional:** H01L 21/00.

**(54) Título:** PROCESSOS DE OBTENÇÃO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS A BASE DE NANOELETRODOS E DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS OBTIDOS A PARTIR DOS MESMOS

**(73) Titular:** UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP. CGC/CPF: 46068425000133. Endereço: Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Distrito de Barão Geraldo, Campinas, SP, BRASIL(BR), 13083-970

**(72) Inventor:** LAURO TATSUO KUBOTA; ALEXANDRE KISNER; JOSÉ ALEXANDRE DINIZ; FÁBIO APARECIDO CAVARSDAN.

**Prazo de Validade:** 20 (vinte) anos contados a partir de 26/03/2009, observadas as condições legais

**Expedida em:** 21/11/2018

Assinado digitalmente por:  
**Alexandre Gomes Ciancio**

Diretor Substituto de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

**PROCESSOS DE OBTENÇÃO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS A BASE  
DE NANOELETRODOS E DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS OBTIDOS A  
PARTIR DOS MESMOS**

5    **CAMPO DA INVENÇÃO**

A presente invenção refere-se a um processo de desenvolvimento de obtenção de dispositivos eletrônicos, os quais podem ser configurados para detectar espécies de natureza química e/ou biológicas. Mais especificamente, referidos dispositivos eletrônicos compreendem sensores do tipo transistores de efeito de campo sensíveis a íons (ISFETs).

Adicionalmente, um segundo objeto da presente invenção consiste no dispositivo eletrônico ora obtido pelo referido processo, provido de características configuracionais que proporcionam o aumento da área da porta, assim como, a sensibilidade ao efeito de campo, possibilitando a detecção de espécies químicas e/ou biológicas em reduzidos níveis de concentração.

15    **FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO**

Recentemente, a combinação de células vivas com a eletrônica tem sido uma ferramenta para estudo e desenvolvimento de tecnologias nas mais diversas áreas do conhecimento.

20    A necessidade de se conhecer os procedimentos analíticos de preparação das amostras com significante redução dos custos e aumento do número de análises a se realizar, justifica o grande interesse no desenvolvimento e aplicação da análise analíticas automatizadas nestes últimos 40 anos.

25    Nesse intuito, se faz necessário à disponibilidade de processos de fabricação de microsistemas capazes de integrar diferentes tecnologias, como por exemplo, tecnologias utilizadas para a fabricação de sensores químicos, mais especificamente, transistores de efeito de campo seletivo para íons (ISFET), estruturas tridimensionais microusinadas e microeletrodos metálicos.

30    O uso de transistores do tipo ISFETs como elementos de sensoriamento para determinação em um meio líquido da concentração de íons

específicos, ou mesmo, para determinação do pH de um meio líquido qualquer, assim como, medições de células vivas, apresenta como característica vantajosa à miniaturização do dispositivo sensor devido à integração com outros microsensores do mesmo chip.

5 Sabe-se que atualmente a maior referência de uso dos detectores do tipo ISFET referem-se a pH-ISFET, utilizados na monitorização do pH, ou a eletrodos sensíveis a potássio.

10 Ao se tratar de análises analíticas quanto a materiais biológicos, sabem os especialistas na técnica que tem havido um crescente interesse na utilização das propriedades catalíticas dos mesmos, tais como as enzimas, em áreas de análises de âmbito industrial, médico, farmacêutico e alimentar, porém existe um grande fator limitante quanto à utilização de enzimas para fins analíticos, o qual relaciona-se com a perda da atividade catalítica, como resultado da sua instabilidade em soluções aquosas.

15 De maneira a superar tal limitação, surgiu como proposta a imobilização em matrizes inertes, proporcionando uma atividade enzimática mais prolongada. Essa nova tecnologia contribuiu para o aparecimento de ESI recobertos com um filme enzimático, cuja resposta se baseia na reação da enzima com um substrato orgânico ou inorgânico, produzindo-se uma espécie 20 à qual o eletrodo é sensível.

A técnica relacionada ao assunto discorre amplamente, conforme se mostra a título ilustrativo.

25 O documento TW273225 descreve o uso de uma camada fina de titanato de chumbo na porta de um transistor (ISFET). Referida camada é formada por meio de um processo que define a configuração geométrica da mesma em planar, bidimensional. O referido transistor é sensível a soluções aquosas e aquosas ácidas, porém, a sensibilidade do material da porta do transistor depende da área ocupada como um todo pela camada de titanato.

30 Encontra-se revelado no documento EP1445601, um sensor provido de uma camada de alumina porosa com partículas metálicas inseridas em seus poros. Contudo, a detecção feita pelo referido sensor ora

desenvolvido, não ocorre por meio do uso de um transistor (ISFET) e sim por meio do índice de refração do material. Ainda pode-se citar que as medidas ora realizadas são feitas por meio de medidas ópticas, o que dificulta por exemplo, a realização de medidas do tipo *in vivo*. Adicionalmente, o sensor comprehende uma pluralidade de outros instrumentos que não possibilitam a detecção de mais de uma espécie ao mesmo tempo (detecção múltipla).

A técnica ainda comprehende o documento US 2002027074, no qual encontra-se descrito um sensor bidimensional para mensuração dos íons H<sup>+</sup> (pH) especificamente em substâncias sólidas, sem a necessidade de dissolução da mesma. Embora o referido sensor utilize um transistor ISFET para tal mensuração, este não é provido de uma camada porosa em sua porta nem tão pouco de nanoeletrodos metálicos.

O documento GB 2332278, revela um sensor para mensuração da concentração de íons, a qual é realizada por meio de um eletrodo sensível (ISE) aos íons. Referido sensor é do tipo potenciométrico e a sua sensibilidade é inferior a sensibilidade de sensores baseados em dispositivos de efeito de campo (ISFET). A detecção de espécies no sensor ora revelado no documento GB2332278, depende da difusão das moléculas através de uma membrana, a qual serve como barreira a contaminação no interior dos eletrodos, tornando assim, um tempo maior de análise.

Um sensor químico provido de uma camada porosa obtida por meio de um ataque químico que funciona como um transistor de efeito de campo é descrito no documento DE4427921. Contudo, não se trata efetivamente de um transistor nem tão pouco este apresenta nanoeletrodos alojados em suas portas.

O documento US5,364,797 mostra um sensor provido de uma camada metálica porosa capaz de detectar alterações no pH de uma substância e presença de uma grande variedade de outros íons. Referido sensor não é baseado em um ISFET e possui uma sensibilidade muito menor que este.

A técnica ainda revela um ISFET para medidas de diferenciação de íons. Na porta do transistor nota-se a presença de uma camada de PVC, baseada em um filme de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  de configuração geométrica bidimensional.

Um ISFET provido de uma camada de alumina anódica é revelado no documento US 4, 824, 768. A referida camada de alumina anodica é sintetizada por meio de um processo complexo contemplando várias etapas de desenvolvimento. Não é possível notar no referido documento a presença de nanoeletrodos inseridos ou depositados sobre a referida camada, nem tão pouco, se a mesma é provida de poros ou se é constituída apenas de um filme de configuração bidimensional não poroso.

O documento JP 63165747 provê a técnica com um sensor do tipo transistor para íons que utiliza uma camada amorfa na porta do seu transistor de um semicondutor. O material de porta do transistor possui configuração bidimensional e a área de contato é relativamente pequena. A natureza semicondutora do material de porta apresenta alta razão de sinal/ruído quando exposto em soluções com vários íons de diferentes naturezas químicas, comprometendo assim a detecção separada de cada íon.

Ainda encontra-se de domínio da técnica um sensor químico semicondutor provido com alumina anódica em suas portas, documento JP95117524. Entretanto, a sensibilidade elétrica da alumina é inferior a sensibilidade elétrica de alguns metais, tais como ouro e a prata, logo o sensor analisado é provido de uma sensibilidade reduzida quando comparado com os sensores providos especificamente com esses metais.

Adicionalmente, o documento JP62245956, apresenta um transistor do tipo ISFET que utiliza uma película de pentóxido de tântalo. Tal película confere ao transistor uma maior resistência à água. Referido transistor é ainda provido de alta constante dielétrica porém a configuração do material na porta do transistor é bidimensional, implicando em uma limitação da sensibilidade do mesmo.

O documento EP235470 descreve um sensor de mensuração de pH através de um ISFET com seletividade a alguns íons. Todavia, não se

encontra previsto a definição de sua sensibilidade elétrica para detecção de baixas concentrações iônicas. Adicionalmente, sabe-se que a configuração geométrica é planar e que referido transistor não é provido de eletrodos de porta com dimensões comparáveis a de moléculas biológica.

5 O documento EP 155726 revela um sensor químico através do seu de um transistor de efeito de campo (FET) para medição do índice de pH do sangue. Embora seja utilizado um transistor, esse não constitui um ISFET e não é provido de eletrodos metálicos. A porta do referido transistor não é porosa e nem tão pouco é sua configuração geométrica apresenta tridimensionalidade. O sensor químico baseia-se em medidas potenciométricas e faz uso de eletrodos de referência para as suas medições.

10 Um sensor químico baseado em um transistor de efeito de campo para medições de pH e provido de um eletrodo de referência miniaturizado é descrito no documento DE3417137. Contudo, as medidas potenciometrás e a sensibilidade do referido sensor são dependentes da sensibilidade do eletrodo de referência, ou seja, tal fato implica em mais um parâmetro para controle durante as medições.

15 O documento nacional PI 8406314-9 descreve um processo e um dispositivo para fornecer uma sonda ISFET provida de contatos protegidos conservando uma superfície frontal planar que é mecanicamente forte. Mais especificamente, o processo refere-se a produção de contatos traseiros (back contacts) para as regiões de fonte e dreno de uma sonda ISFET estabelecido através de orifícios individuais gravados por agente(s) químico(s) (etched) e partir da parte traseira até as regiões de fonte e dreno com isolamento da parede lateral sendo promovida nos referido orifícios a metalização recobrindo a superfície das paredes laterais e se estendendo para as almofadas (pads) de contato sobre a parte traseira do ISFET.

20 Conforme amplamente discorrido na técnica apresentada, atualmente, a porta dos transistores é recoberta com materiais isolantes de configuração bi-dimensional (2D) e não porosos como óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) ou mesmo nitreto de silício ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).

Todavia, estes materiais apresentam menor área e reduzida sensibilidade à variação de campo elétrico em sua superfície do que materiais porosos e de maior área superficial. Ou seja, a geometria 2D e a baixa constante dielétrica dos atuais materiais ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) utilizados em ISFETs 5 restringe seus limites de detecção a uma escala de micromols/Litro.

Adicionalmente, materiais poliméricos são também utilizados com o intuito de melhorar-se a sensibilidade elétrica da porta do ISFET, o inconveniente destes está relacionado a sua espessura, a qual normalmente é acima de 10 200 nm, o que acarreta numa diminuição da capacidade de porta do dispositivo e, portanto reduz sua sensibilidade ao efeito de campo elétrico.

O uso de materiais de alta constante dielétrica como a alumina, por exemplo, permite com que finas camadas (< 100 nm) deste óxido sejam utilizadas na portas dos transistores, sem que a capacidade nestas últimas 15 seja diminuída, o que implica assim numa maior sensibilidade elétrica para a detecção dos íons ou moléculas.

Nota-se que as metodologias tradicionais incluem com freqüência longas incubações e extensas etapas manuais.

O progresso nos campos da biologia molecular e metabolismo 20 celular resultou em um aumento da demanda para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras que permitem o estudo estrutural detalhado e a identificação de biomoléculas para ser realizado automaticamente com uma alta sensibilidade. É nesse intuito que a presente tecnologia foi desenvolvida.

### **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

A presente invenção refere-se a um processo de desenvolvimento 25 de obtenção de um conjunto de dispositivos eletrônicos, os quais podem ser configurados para detectar espécies de natureza química e/ou biológicas. Mais especificamente, referidos dispositivos eletrônicos compreendem sensores do tipo transistores de efeito de campo sensíveis a íons (ISFETs), nos quais por 30 meio de deposição química foram implementados nanocristais de ouro (Au) e prata (Ag) para formação de nanoeletrodos de porta de um conjunto de ISFETs

ligados em paralelo. O crescimento separado dos nanocristais de Ag e Au na porta dos transistores é assistenciado pela formação de uma fina camada de alumina anódica, a qual é altamente porosa sobre a porta dos dispositivos. A presença desta camada de alumina contendo metais em escala nanométrica sobre os ISFETs, proporciona não só um aumento significativo na área de contato da porta dos dispositivos, uma vez que agora estes apresentam uma configuração tri-dimensional, como também uma maior sensibilidade ao efeito de campo sobre estes devido à densidade de elétrons livres sobre os metais em escala nanométrica, possibilitando assim a detecção de espécies tanto químicas (ex.:  $H^+$ ,  $OH^-$ ) como biológicas (Ex.: proteínas, ácidos nucléicos) em baixos níveis de concentração. Adicionalmente, um segundo objeto da presente invenção consiste no dispositivo eletrônico ora obtido pelo referido processo, provido de características configuracionais que proporcionam o aumento da área da porta, assim como, a sensibilidade ao efeito de campo, possibilitando a detecção de espécies químicas e/ou biológicas em reduzidos níveis de concentração. O desenvolvimento em escala miniaturizada destes dispositivos permitem com que análises de tais espécies possam ser realizadas em *in situ* ou mesmo *in vivo*, caso que não ocorre com outros sistemas de detecção, como por exemplo, os espectrofotômetros.

## 20 BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A Figura 1 é uma representação esquemática das etapas de fabricação dos ISFETs tipo NPN.

A Figura 2 ilustra o processo de anodização das lâminas de Si.

A Figura 3 mostra a representação gráfica durante uma modalidade preferida da presente concretização, a qual consiste na detecção de uma molécula de proteína utilizando-se os ISFET's objeto da presente invenção, as quais foram obtidas pelo processo ora revelado. A referida Figura mostra a representação gráfica da condutância versus tempo e tem-se a condutância identificada pelo símbolo G. Adicionalmente, os outros elementos gráficos mostrados são: A, condutância quando nenhuma molécula de proteína

esta sobre a superfície da porta e B representa a condutância quando uma molécula é adsorvida sobre esta última.

### **DESCRÍÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

A presente invenção refere-se a um processo de desenvolvimento  
5 de obtenção de um conjunto de dispositivos eletrônicos, os quais podem ser configurados para detectar espécies de natureza química e/ou biológicas. Mais especificamente, referidos dispositivos eletrônicos compreendem sensores do tipo transistores de efeito de campo sensíveis a íons (ISFETs), capazes de realizarem a detecção de mais de uma espécie ao mesmo tempo (detecção 10 múltipla).

O processo ora desenvolvido, compreende uma etapa adicional de anodização, na qual há a formação em uma única etapa de uma fina camada de alumina de aproximadamente 60nm, provida de uma alta densidade de poros ( $\sim 10^{11}$  poros/cm<sup>2</sup>), diâmetro médio de cerca de  $30 \pm 6$ nm e distribuídos de maneira regular sobre as portas dos ISFETs. Referida camada de alumina porosa serve como dielétrico e molde para o crescimento de nanocristais.  
15

Os nanocristais são selecionados dentre os nanocristais de metais nobres. Mais especificamente, os nanocristais foram selecionados 20 dentre os nanocristais dos metais de ouro (Au) e de prata (Ag), os quais foram implementados por meio de deposição química para formação de nanoeletrodos de porta de um conjunto de ISFETs ligados em paralelo. Os referidos nanoeletrodos são providos de uma maior capacidade, o que minimiza os efeitos das correntes de ligação entre a fonte e a porta.  
25

A presença desta camada de alumina contendo metais em escala nanométrica sobre os ISFETs, proporciona não só um aumento significativo na área de contato da porta dos dispositivos, uma vez que agora estes apresentam uma configuração tri-dimensional e disposição vertical; como uma maior sensibilidade ao efeito de campo sobre estes devido à densidade de elétrons livres sobre os metais em escala nanométrica, possibilitando assim a 30

detecção de espécies tanto químicas (ex.: H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>) como biológicas (Ex.: proteínas, ácidos nucléicos) em baixos níveis de concentração.

As características são ainda devidas a constante dielétrica relativamente alta (~9.0) da alumina e aos nanoeletrodos de ouro e prata, os quais devido as suas pequenas dimensões também apresentam alta constante dielétrica. Ditas constantes, de caráter superior a constante dielétrica do Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> usualmente utilizado pela técnica propiciam assim uma maior sensibilidade elétrica ao dispositivo e evitam com que correntes indesejáveis de fuga possam ocorrer através da porta do transistor.

Ainda apresentando as características vantajosas da presente concretização, tem-se que a presença dos nanoeletrodos de metal nobre possibilita uma imobilização mais efetiva das moléculas na superfície dos transistores, o que representa uma grande vantagem, tendo em vista que, a imobilização de moléculas na superfície dos transistores propicia também a seletividade do sensor.

Adicionalmente, um segundo objeto da presente invenção consiste no dispositivo eletrônico ora obtido pelo referido processo, provido de características configuracionais que proporcionam o aumento da área da porta, assim como, a sensibilidade ao efeito de campo, possibilitando a detecção de espécies químicas e/ou biológicas em reduzidos níveis de concentração.

Mais especificamente, no dispositivo ora obtido, cada eletrodo comporta -se de forma individual, de modo que a sensibilidade do dispositivo não depende mais da área como um todo, mas sim dos eletrodos individualmente, ou seja, para a detecção de uma molécula não é necessário que esta sensibilize a porta do transistor como um todo, como feito nos dispositivos usuais da técnica que compreendem uma porta bidimensional. Para a presente concretização, a configuração tri-dimensional com disposição vertical, possibilita a detecção de uma molécula sensibilizando-se apenas uma pequena área do transistor.

O dispositivo ora desenvolvido é aplicado em análise de materiais líquidos e não demanda o uso de um eletrodo de referência, conforme prática usual da técnica.

Uma vez que as medidas são elétricas, baseadas na mudança de campo elétrico na porta dos transistores, o desenvolvimento em escala miniaturizada destes dispositivos, ocorre sem que a área da porta do transistor seja reduzida, além de permitir que as espécies sejam analisadas *in situ* ou mesmo  
5 *in vivo*, caso que não ocorre com outros sistemas de detecção, como por exemplo, os espectrofotômetros.  
10

Referida capacidade ainda se deve ao fato de que tais nanoeletrodos apresentam dimensões comparáveis à de moléculas biológicas como proteínas, o que os faz serem muito mais eletricamente sensíveis a variações de carga em sua superfície.

15 A detecção das espécies não é realizada por meio da difusão das moléculas através de uma membrana. As medidas são baseadas na variação de um parâmetro físico (função do trabalho) na superfície dos nanoeletrodos.

20 A variação na magnitude deste parâmetro físico, implica numa variação da corrente entre fonte e dreno. Esta variação possibilita então a detecção de espécies mensurando-se apenas a variação de condutância entre fonte e dreno, sem a necessidade do uso de um eletrodo de referência.

25 O contato elétrico com as regiões de fonte e dreno é promovido pela seção frontal do chip (transistor), logo, o dispositivo da presente invenção não demanda a necessidade de realização de uma etapa adicional de "etching" na seção posterior da lâmina de silício para promover tal contato.

30 O processo de fabricação dos transistores segue um roteiro convencional e já bem estabelecido pela indústria da microeletrônica para a fabricação deste tipo de dispositivo, ou seja, em termos gerais os principais métodos empregados na fabricação dos respectivos transistores foram à oxidação térmica, processos de fotolitografia, a dopagem do substrato e a metalização. Por se tratar de métodos descritos na literatura e usuais pelos

técnicos com habilidade no assunto, estes métodos serão descritos sucintamente e meramente por caráter ilustrativo.

Inicialmente lâminas de silício (Si) selecionadas preferencialmente do tipo p, as quais são disponíveis comercialmente, com orientação cristalográfica preferencial de <100> e com resistividade entre 1 e 10 Ω.cm, ora ilustrada pela Figura 1A, são submetidas ao processo de oxidação para criação do óxido de campo.

A oxidação das lâminas é desenvolvida em um forno convencional com atmosfera úmida ( $H_2O + O_2$ ) onde são expostas seqüencialmente a diferentes tipos de gases em diferentes tempos. A lâmina ora oxidada é mostrada na Figura 1B. Procedimento ora não detalhado por ser usual da técnica.

Por meio da etapa anteriormente comentada, obtém-se os dispositivos isolados entre si e forma-se um anteparo para os processos seguintes, tais como a implantação iônica para a formação das regiões de fonte e dreno, uma vez que a superfície das referidas lâminas já está prontamente oxidada.

Seguidamente, a fins de se formar as áreas para a implantação iônica de íons de fósforo ( $^{31}P^+$  - dopante tipo N) nas consequentes regiões de fonte e dreno, realiza-se o primeiro dos cinco processos previstos de fotolitografia para gravação dos padrões de uma máscara para o substrato onde será fabricado o transistor. A lâmina de silício ora submetida a primeira etapa de litografia é mostrada na Figura 1C.

Para o procedimento de fotolitografia, mais especificamente, aplicação de um fotoresiste sobre a lâmina e exposição à luz ultravioleta para a fotogravação de fonte e dreno, a primeira etapa compreende a seleção das máscaras a serem utilizadas para definição das dimensões da porta dos transistores.

Para uma modalidade preferida da presente concretização as máscaras selecionadas para uso são providas de estruturas com dimensões para se fabricar transistores de  $2 \times 50 \mu m$ ,  $10 \times 50 \mu m$  e  $50 \times 50 \mu m$ , largura e

comprimento, respectivamente. Entretanto, a presente invenção não está limitada ao uso das dimensões apresentadas, outras máscaras para obtenção de transistores providos de outras dimensões podem ser facilmente utilizadas na presente concretização.

5 Feita a litografia, a lâmina ora mostrada na Figura 1D e detalhadamente mostrada na Figura 1E, é promovida a corrosão do óxido das regiões de fonte e dreno para o implante de  $^{31}\text{P}^+$  e, portanto, formação das ilhas. Tal promoção ocorre por meio da abertura de janelas (etch) e uso de uma solução mista de ácido fluorídrico (HF) e fluoreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{F}$ ), usualmente conhecida pelos especialistas como solução tampão (buffer).

10 A lâmina deve ser retirada da solução para se verificar se esta está seca ou sem gotículas da solução corrosiva espalhada ainda pela lâmina, o que indica que o óxido foi removido da região onde ficou exposto ao ataque químico. A resina fotosensível à luz ultravioleta, o fotoresiste, é removida com etapas de acetona fria, isopropanol frio, acetona quente e posterior enxágüe com água deionizada.

15 A etapa seguinte consiste então na implantação iônica de  $^{31}\text{P}^+$  nas regiões corroídas para formação das regiões  $n^+$  nas áreas de fonte e dreno, alterando-se a dopagem nas referidas regiões, assim como, posterior realização de uma nova oxidação para ativação dos íons dopantes, conforme 20 lâmina mostrada na Figura 1F e aumento da espessura do óxido de isolamento entre dispositivos.

25 Após a implantação iônica, o procedimento de fotolitografia é novamente realizado, porém para as regiões de canal e contato, conforme mostra a Figura 1H. Para tal etapa, uma segunda máscara semelhante a primeira ora utilizada é aplicada.

Abertas as regiões de porta, fonte e dreno, a próxima etapa consiste no crescimento de uma fina camada de óxido sobre estas.

30 Para tanto, as lâminas são novamente submetidas a um processo de oxidação, neste agora, utilizando-se apenas  $\text{O}_2$ . O crescimento de uma fina

camada de óxido sobre as lâminas será promovido ao passo que referidas lâminas são submetidas ao aquecimento.

O terceiro processo de fotolitografia para a definição de canal (porta) e contatos (fonte e dreno) seguido da remoção do óxido e do fotorresiste é então realizado. Para tal, uma nova máscara ora semelhante às anteriormente utilizadas é aplicada.

Finalmente, é feita a deposição por evaporação térmica do alumínio para formação de contatos metálicos de porta, fonte e dreno, conforme mostra a Figura 1J. A evaporação é feita por meio de feixe de elétrons e a espessura do alumínio depositado é preferencialmente de cerca de 80nm. Contudo, tal valor de espessura não é limitante para a presente invenção.

Em seguida, realiza-se a quarta etapa de litografia, a qual consiste na fotogravação das interconexões e remoção do alumínio. Mais especificamente, nesta etapa de litografia apenas as regiões ativas (portas) dos transistores ficam expostas para na seqüência realizar-se então a anodização com ácido sulfúrico diluído e com tensão constante das regiões de porta dos transistores.

Esta etapa do processo de litografia é conduzida utilizando-se preferencialmente uma fotoresina positiva tal como a AZ-4620. A seleção desse tipo de resina permite com que maiores espessuras do polímero possam ser alcançadas após sua deposição e ainda assegurar assim que durante a anodização apenas as regiões expostas sejam anodizadas.

Eventualmente, outras fotoresinas que propiciam a formação de paredes com até 10 µm de altura e resolução de 2 µm podem ser aplicadas à presente concretização.

O procedimento operacional desta etapa comprehende a deposição preferencial de cerca de 6 gotas da fotoresina sobre as lâminas em ambiente controlado com ar continuamente filtrado, mais especificamente, sala limpa (classe 100) com umidade relativa de 53 %.

Após a deposição da fotoresina nas lâminas, estas são rotacionadas em dispositivo adequado, tal como "spinner" para aplicação do fotoresiste sobre a superfície da amostra. O período e a velocidade de rotação irão determinar a espessura final da camada depositada. Para a presente concretização o período de rotação preferencial foi de 40 segundos a velocidade de rotação de 4000 rpm.

Nesta velocidade rotacional, uma camada de aproximadamente 8 µm de espessura do polímero é gerada e prontamente depositada na seção posterior da lâmina.

O processo de pré-cura dos contatos de alumínio é realizado por meio da técnica de sinterização, o qual ocorre em chapa de aquecimento à temperatura preferencial de cerca de 105 °C por um período preferencial de 20 minutos. Assim, a secagem do material e o endurecimento serão promovidos por meio da evaporação de solventes ainda presentes no filme e água ora adsorvida à superfície.

E em seqüência as etapas que compreendem o processo de obtenção do transistor, têm-se a exposição do material na fotoalinhadora, para a realização do alinhamento preciso entre a máscara e o material. A exposição do material a fotoalinhadora é realizada pelo controle do grau de contato, conduzida por cerca de 70 segundos e utilizando-se a quarta máscara projetada.

A revelação é feita utilizando-se uma solução reveladora, mais especificamente, um solvente capaz de retirar as partes sensibilizadas ou as partes não sensibilizadas dependendo do fotoresiste. Para a presente concretização o solvente selecionado para uso foi o revelador AZ 312 MIF diluído em água na proporção de 3:1, respectivamente.

Durante a etapa anterior de anodização, as lâminas foram recobertas com o fotoresiste e apenas a região correspondente a porta dos transistores ficou em exposição e, portanto somente o alumínio desta região estará em contato com a solução de anodização, ou seja, somente essa parte do dispositivo será anodizada.

Previamente à anodização, as lâminas são submetidas a um processo de pós-cura, o qual é realizado em uma chapa de aquecimento a temperatura aproximada de 110 °C por um período preferencial de 20 minutos.

Após a etapa de pós-cura, o procedimento de anodização das 5 regiões de porta dos transistores é executado. Para tal, remove-se com uma solução solvente adequada, por exemplo, acetona, apenas uma pequena porção do fotoresistor em uma das extremidades da lâmina. A remoção do fotoresistor dessa extremidade, permite que uma das regiões de contato elétrico seja aberta. A anodização é desta maneira realizada utilizando-se 10 como cátodo uma placa de platina (Pt).

O procedimento de anodização é mostrado na Figura 2. Para a anodização o cátodo (placa de Pt) e o ânodo (lâmina de Si) foram polarizados com uma fonte de corrente contínua construída especificamente para tal procedimento.

Para a presente concretização, a anodização é realizada, 15 submetendo-se o cátodo e o ânodo preferencialmente a uma tensão DC de aproximadamente 25 V entre os eletrodos durante um período aproximado de 55 segundos com uma solução de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) de concentração preferencial de 0.5 mol/L ora utilizada como eletrólito. Adicionalmente, durante esta etapa, a 20 temperatura de anodização é controlada em cerca de 2 °C por meio de um banho termostático. Referidas condições de polarização, resultam em uma camada de óxido de alumínio sobre o  $SiO_2$ .

Após o procedimento de anodização, os transistores são 25 submetidos a uma etapa de lavagem excessiva com água deionizada e secos ao ar. Em seguida, referidos transistores são submetidos a um procedimento para abertura dos poros da alumina formada.

Referido procedimento de abertura dos poros da alumina formada, compreende a imersão dos transistores, em uma solução de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), na concentração preferencial de 0.1 mol/L, sob uma 30 temperatura aproximada de 26 °C por um período de cerca de 24 min.

Após o período de imersão dos transistores, este é rinsado com quantidade suficiente de água deionizada e expostos ao ar para secagem e posterior análise microscópica.

A próxima etapa do processo de obtenção dos transistores da presente concretização, 5 compreende o crescimento dos eletrodos de ouro (Au) ou prata (Ag) no interior dos poros da alumina formada na porta dos transistores.

Para a síntese das nanoestruturas de Ag e Au, basicamente o processo empregado foi o método de redução galvânica.

10 Para tanto, soluções salinas, tais como, soluções de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) e de cloreto de ouro ( $\text{AuCl}$ ) em diferentes concentrações foram empregadas como material de partida.

Como agente redutor, 1,4-dihidroxibenzeno (hidroquinona) é utilizado. O crescimento dos respectivos metais no interior dos poros da 15 alumina que recobre a porta dos transistores é realizado separadamente.

Assim, para a síntese de cada tipo de metal os procedimentos empregados após otimização experimental compreendem:

O processo de redução da prata compreende a imersão das lâminas recobertas com AZ-4620, 20 porém com as regiões de porta agora anodizadas e expostas ao ar, em uma solução mista de solução salina com íons de prata, tal como o  $\text{AgNO}_3$  a uma concentração preferencial e aproximada de 100 mmol/L, embora uma ampla faixa de concentrações compreendendo desde 30 até 200 mmol/L possa ser empregada, e um composto orgânico aromático, tal como um fenol, mais especificamente uma hidroquinona na concentração preferencial e aproximada de 3 mmol/L. A mistura é preferencialmente feita na proporção de 5:1 respectivamente e pH final de aproximadamente 4,5, podendo este último ainda apresentar valores menores do que 4,5.

Lâminas de silício são imersas na solução previamente preparada 30 e em seqüência, são submetidas a uma freqüência de ondas por meio do ultrasom durante um período de aproximadamente 7 minutos. As demais condições

desta etapa são preferencialmente, potência a aproximadamente 54 W e freqüência de aproximadamente 25 kHz.

Após o período de sonificação as lâminas são submetidas a uma chapa térmica pré-aquecida a cerca de 90°C. As lâminas permanecem sobre a 5 referida chapa durante um período de aproximadamente 30 minutos.

Em uma segunda etapa, as lâminas são novamente imersas em uma mistura AgNO<sub>3</sub> na concentração de 50 mmol/L e hidroquinona na concentração de 3 mmol/L. Referida mistura esta preferencialmente na concentração de 5:1 respectivamente. Quando imersas, referidas lâminas são 10 deixadas em repouso ao abrigo da luz por pelo menos 1 minuto.

Em seguida, as amostras são transferidas para a chapa de aquecimento e submetidas à temperatura de 90 °C, por um período de cerca de 2 minutos.

Para o processo de formação de nanoestruturas de ouro (Au), o 15 procedimento empregado é similar ao adotado para a redução da prata (Ag), a saber:

O processo de redução do ouro (Au) consiste na imersão das lâminas recobertas com AZ-4620, porém com as regiões de porta agora anodizadas e expostas ao ar, em uma solução mista de solução salina com 20 íons de ouro, tal como o AuCl a uma concentração preferencial e aproximada de 50mmol/L e um composto orgânico aromático, tal como um fenol, mais especificamente uma hidroquinona na concentração preferencial e aproximada de 15 mmol/L. A mistura é preferencialmente feita na proporção de 5:1 respectivamente e pH final de aproximadamente 1. O pH é ajustado por meio 25 da adição de HCl concentrado à mistura.

Após a imersão das referidas lâminas na solução previamente preparada estas são submetidas a uma freqüência de ondas por meio do ultrassom durante um período de aproximadamente 1 minuto. As demais condições 30 desta etapa são preferencialmente, potencia a aproximadamente 54W e freqüência de aproximadamente 25 kHz.

Após o período de sonificação as lâminas são submetidas a uma chapa térmica pré-aquecida a cerca de 90°C. As lâminas permanecem sobre a referida chapa durante um período de aproximadamente 30 minutos.

Em uma segunda etapa, as lâminas são novamente imersas em 5 uma mistura AuCl na concentração de 10 mmol/L e hidroquinona na concentração de 15 mmol/L. Referida mistura esta preferencialmente na concentração de 5:1 respectivamente. Outras concentrações de AuCl variando desde 1 até 50 mmol/L podem ainda ser empregadas, ao passo que o pH das soluções deve ser sempre mantido abaixo de 3,5. Quando imersas, referidas 10 lâminas são deixadas em repouso ao abrigo da luz por pelo menos 1 minuto.

Em seguida, as lâminas são submetidas ao aquecimento por um período de cerca de 2 minutos, em placa aquecedora sob uma temperatura de aproximadamente 90 °C.

A membrana porosa de alumina, assim como, as estruturas de 15 ouro (Au) e prata (Ag) crescidas na porta dos transistores, foram submetidas a análise microscópica por meio do uso de um microscópio eletrônico de varredura de baixo vácuo equipado com um sistema EDS e um microscópio eletrônico de varredura por emissão de campo. Para a presente concretização, todas as análises foram conduzidas sem recobrimento das superfícies com 20 qualquer tipo de material condutor, procedimento usualmente utilizado pela técnica.

Adicionalmente, a cristalinidade das estruturas metálicas foi avaliada por meio da técnica de difração de raios-x utilizando-se um difratômetro DRX7000 provido com um tubo de raios catódicos com radiação 25 de Cu K $\alpha$  com  $\lambda = 0,1540\text{nm}$ . Medidas de refletância foram feitas utilizando-se um espectrofotômetro calibrado com um padrão de BaSO<sub>4</sub>.

Após o procedimento de anodização e deposição das nanopartículas de Ag e Au, no interior dos poros da alumina que recobre a porta dos transistores, a fotoresina foi removida por meio do processo de 30 limpeza orgânica, como anteriormente revelado.

A última etapa do processo ora revelado, compreende o quinto processo de litografia, o qual tem a finalidade de promover a abertura das regiões de contato para a corrosão do alumínio, de modo a formar assim os contatos metálicos de fonte, dreno, conforme mostra Figura 1M e 5 interconexões metálica entre os dispositivos.

Dessa forma, na etapa seguinte um isolante metálico, preferencialmente, nitreto de silício ( $Si_3N_4$ ) é depositado sobre toda a lâmina, exceto sobre as regiões protegidas pela litografia, como pode ser observado na Figura 1N.

Por fim, uma última litografia é ora realizada para definir os microcanais, os quais são preferencialmente providos com dimensões aproximadas de  $400 \times 2900 \mu m$ , largura e comprimento, respectivamente.

O referido procedimento de litografia é conduzido sobre as mesmas condições experimentais das anteriormente executadas, a única exceção, consiste na máscara utilizada, ou seja, para tal etapa, a quinta máscara projetada (máscara de campo claro).

Pelas etapas ora reveladas, obtém-se um dispositivo eletrônico que pode ser configurado para detectar espécies de natureza química e/ou biológica.

Para uma modalidade preferida da presente invenção, os dispositivos ora obtidos por meio do processo ora revelado, foram utilizados na realização de medidas elétricas e detecção de pH e/ou de alguma espécie biológica.

Para tal procedimento, faz-se necessário o uso de dispositivos capazes de detectar correntes da ordem de nanoampères, tais como os microamperímetros. Referidos microamperímetros são interligados a um programa de computador adequado, o qual permite a monitoração de, por exemplo, variações de corrente elétrica entre fonte e dreno em função do tempo.

Basicamente, os ISFETs produzidos pelo processo ora desenvolvido pela presente concretização, fornecem como informação da

amostra a sua concentração, ou seja, são dispositivos desenvolvidos para serem aplicados na quantificação de espécies.

A imobilização de receptores específicos na porta dos ISFETs permite ainda que análises seletivas sejam realizadas, isto é, é possível se 5 identificar ou não, a presença de determinadas espécies em uma dada amostra.

Entretanto, a identificação da presença de determinadas espécies não significa dizer que os ISFETs possam atuar como espectrômetros de massa, e serem aplicados na identificação estrutural de moléculas. Pelo 10 contrário, no caso dos ISFETs, esta identificação apenas assegura ao técnico habilitado para usar os biossensores que determinada espécie está ou não em determinada concentração em uma amostra.

Mais especificamente, a detecção de uma espécie significa que durante o procedimento de sua identificação, ocorrerá uma variação nos níveis 15 de corrente entre fonte e dreno, as quais são, dessa forma, associadas com um aumento ou diminuição da corrente elétrica, de maneira a permitir então ao técnico afirmar se houve ou não a detecção de uma determinada espécie.

A quantificação das espécies detectadas é feita então por meio de uma curva de calibração que é construída previamente com padrões de 20 concentrações e níveis de corrente já conhecidos. A interpolação dos valores obtidos nesta curva de calibração permite então a realização da quantificação da amostra detectada.

## REIVINDICAÇÕES

1. – Processo de obtenção de dispositivos eletrônicos a base de nanoeletrodos, CARACTERIZADO pelo fato de compreender as seguintes 5 etapas subseqüentes:

- submissão de lâminas de silício (Si) a um processo de oxidação em um forno convencional com atmosfera úmida ( $H_2O + O_2$ ) onde são expostas seqüencialmente a diferentes tipos de gases em diferentes tempos;

10 - submissão das placas resultante a um primeiro processo de fotolitografia, onde há a aplicação de um fotoresiste (resina fotossensível à luz ultravioleta) sobre as lâmina e exposição à luz ultravioleta para a fotogravação de contatos (fonte e dreno) com máscaras;

15 - abertura de janelas nas placas resultantes e subseqüente inserção das mesmas em solução tampão de ácido fluorídrico (HF) e fluoreto de amônio ( $NH_4F$ );

- remoção das lâminas da solução e secagem das mesmas de modo a estarem livres da solução corrosiva;

- remoção do fotoresiste com etapas de acetona fria, isopropanol frio, acetona quente e posterior enxágüe com água deionizada;

20 - implantação iônica de  $^{31}P^+$  nas regiões corroídas;

- submissão das placas a um processo de oxidação semelhante ao previamente definido;

- realização de uma segunda etapa de fotolitografia para as regiões de canal e contatos, com o uso de uma placa semelhante a primeiramente utilizada;

- submissão das lâminas a um processo de oxidação utilizando-se apenas  $O_2$ ;

- realização de uma terceira etapa de fotolitografia para as regiões de canal e contatos, com o uso de uma máscara semelhante a primeiramente utilizada, seguida de remoção do óxido e do fotoresiste;

5 - deposição por evaporação térmica do alumínio para formação de contatos metálicos de porta, fonte e dreno, feita por meio de feixe de elétrons;

- realização de uma quarta etapa de fotolitografia para as regiões ativas (portas) dos transistores, com deposição de fotoresina sobre as lâminas em ambiente controlado com ar continuamente filtrado, e posterior rotação

10 das mesmas em dispositivo adequado a uma velocidade de rotação de 4000 rpm para aplicação do fotoresiste sobre a superfície da amostra;

- sinterização em chapa de aquecimento;

- exposição do material na fotoalinhadora, para realização do alinhamento preciso entre a máscara e o material, conduzida por 15 cerca de 70 segundos e utilizando-se uma quarta máscara projetada;

- revelação do material com o solvente AZ 312 MIF diluído em água na proporção de 3:1, respectivamente;

- submissão a um processo de pós-cura, em uma chapa de aquecimento a uma temperatura aproximada de 110 °C por um período de 20 tempo de cerca de 20 minutos;

- remoção com uma solução solvente adequada de apenas uma pequena porção do fotoresistor em uma das extremidades da lâmina;

- anodização das mesmas utilizando-se como cátodo uma placa de platina (Pt) e como ânodo a lâmina de Si, polarizando-os com uma 25 fonte de corrente contínua e em uma solução diluída de ácido sulfúrico como eletrólito;

- lavagem excessiva dos transistores com água deionizada e posterior exposição dos mesmos ao ar para secagem e análise microscópica;

- crescimento dos eletrodos de prata (Ag) no interior dos poros da alumina formada na porta dos transistores, por meio do emprego de solução imersão das lâminas recobertas com a fotoresina em uma solução mista salina de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) a uma concentração de 30 a 200 mmol/L como material de partida, e 1,4-dihidroxibenzeno (hidroquinona) como agente redutor a uma concentração aproximada de 3 mmol/L, e aplicação de uma freqüência de ondas por meio de ultra-som durante um período de aproximadamente 7 minutos, a uma potência de aproximadamente 54 W e freqüência de aproximadamente 25 kHz;
  - 10 - submissão das lâminas resultantes a uma chapa térmica pré-aquecida de cerca de 90 °C, durante um período de aproximadamente 30 minutos;
  - 15 - imersão das lâminas em uma mistura de  $\text{AgNO}_3$  na concentração de 30 a 200 mmol/L e hidroquinona na concentração de 3 mmol/L e deixadas em repouso ao abrigo da luz por pelo menos 1 minuto;
  - 20 - transferência das amostras para uma chapa de aquecimento à temperatura de 90 °C por um período de aproximadamente 2 minutos;
  - remoção da fotoresina com etapas de acetona fria, isopropanol frio, acetona quente e posterior enxágüe com água deionizada;
  - realização de uma quinta etapa de fotolitografia com o uso de uma máscara projetada (máscara de campo claro); e
  - depósito de um isolante metálico sobre toda a lâmina, exceto sobre as regiões protegidas pela fotolitografia.
- 25 2.- Processo de obtenção de dispositivos eletrônicos a base de nanoeletrodos, CARACTERIZADO pelo fato de compreender as seguintes etapas subseqüentes:

- submissão de lâminas de silício (Si) a um processo de oxidação em um forno convencional com atmosfera úmida ( $H_2O + O_2$ ) onde são expostas seqüencialmente a diferentes tipos de gases em diferentes tempos;
- submissão das placas resultante a um primeiro processo de fotolitografia, onde há a aplicação de um fotoresiste (resina fotossensível à luz ultravioleta) sobre as lâmina e exposição à luz ultravioleta para a fotogravação de contatos (fonte e dreno) com máscaras;
  - abertura de janelas nas placas resultantes e subsequente inserção das mesmas em solução tampão de ácido fluorídrico (HF) e fluoreto de amônio ( $NH_4F$ );
    - remoção das lâminas da solução e secagem das mesmas de modo a estarem livres da solução corrosiva;
    - remoção do fotoresiste com etapas de acetona fria, isopropanol frio, acetona quente e posterior enxágüe com água deionizada;
  - implantação iônica de  $^{31}P^+$  nas regiões corroídas;
  - submissão das placas a um processo de oxidação semelhante ao previamente definido;
    - realização de uma segunda etapa de fotolitografia para as regiões de canal e contatos, com o uso de uma placa semelhante a primeiramente utilizada;
    - submissão das lâminas a um processo de oxidação utilizando-se apenas  $O_2$ ;
    - realização de uma terceira etapa de fotolitografia para as regiões de canal e contatos, com o uso de uma máscara semelhante a primeiramente utilizada, seguida de remoção do óxido e do fotoresiste;
    - deposição por evaporação térmica do alumínio para formação de contatos metálicos de porta, fonte e dreno, feita por meio de feixe de elétrons;

- realização de uma quarta etapa de fotolitografia para as regiões ativas (portas) dos transistores, com deposição de fotoresina sobre as lâminas em ambiente controlado com ar continuamente filtrado, e posterior rotação das mesmas em dispositivo adequado a uma velocidade de rotação de 4000 rpm
- 5 para aplicação do fotoresiste sobre a superfície da amostra;
- sinterização em chapa de aquecimento;
  - exposição do material na fotoalinhadora, para realização do alinhamento preciso entre a máscara e o material, conduzida por cerca de 70 segundos e utilizando-se uma quarta máscara projetada;
- 10 - revelação do material com o solvente AZ 312 MIF diluído em água na proporção de 3:1, respectivamente;
- submissão a um processo de pós-cura, em uma chapa de aquecimento a uma temperatura aproximada de 110 °C por um período de tempo de cerca de 20 minutos;
- 15 - remoção com uma solução solvente adequada de apenas uma pequena porção do fotoresistor em uma das extremidades da lâmina;
- anodização das mesmas utilizando-se como cátodo uma placa de platina (Pt) e como ânodo a lâmina de Si, polarizando-os com uma fonte de corrente contínua e em uma solução diluída de ácido sulfúrico como eletrólito;
- 20 - lavagem excessiva dos transistores com água deionizada e posterior exposição dos mesmos ao ar para secagem e análise microscópica;
- crescimento dos eletrodos de ouro (Au) no interior dos poros da alumina formada na porta dos transistores, por meio do emprego de solução imersão das lâminas recobertas com a fotoresina em uma solução mista salina de cloreto de ouro (AuCl) a uma concentração de aproximadamente 1 a 50 mmol/L como material de partida, e 1,4-dihidroxibenzeno (hidroquinona) como agente redutor a uma concentração aproximada de 15 mmol/L, e aplicação de

uma freqüência de ondas por meio de ultra-som durante um período de aproximadamente 1 minutos, a uma potência de aproximadamente 54 W e freqüência de aproximadamente 25 kHz;

5 - submissão das lâminas resultantes a uma chapa térmica pré-aquecida de cerca de 90 °C, durante um período de aproximadamente 30 minutos;

10 - imersão das lâminas em uma mistura uma mistura de AuCl na concentração de 10 mmol/L e hidroquinona na concentração de 15 mmol/L e deixadas em repouso ao abrigo da luz por pelo menos 1 minuto;

15 - transferência das amostras para uma chapa de aquecimento à temperatura de 90 °C por um período de aproximadamente 2 minutos;

20 - remoção da fotoresina com etapas de acetona fria, isopropanol frio, acetona quente e posterior enxágüe com água deionizada;

25 - realização de uma quinta etapa de fotolitografia com o uso de uma máscara projetada (máscara de campo claro); e

3.- Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, CARACTERIZADO pelo fato de que as lâminas de silício selecionadas são preferencialmente do tipo p, com orientação cristalográfica preferencial de <100> e com resistividade entre 1 e 10 Ω.cm.

4.- Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, CARACTERIZADO pelo fato de que as máscaras selecionadas para uso são providas de estruturas com dimensões para se fabricar transistores de 2 x 50 µm, 10 x 50 µm e 50 x 50 µm, largura e comprimento, respectivamente.

5.- Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, CARACTERIZADO pelo fato de que a foto resina positiva utilizada é preferencialmente a AZ-4620.

6.- Processo, de acordo com a reivindicação 1, 2 ou 6, 5 CARACTERIZADO pelo fato de que a fotoresina é aplicada sobre as laminas em uma dosagem de 6 gotas e em ambiente controlado com ar continuamente filtrado.

7.- Processo, de acordo com a reivindicação 6, 10 CARACTERIZADO pelo fato de que o ambiente é uma sala limpa (classe 100) com umidade relativa de 53%.

8.- Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, CARACTERIZADO pelo fato de que na quarta e tapa de fotolitografia o período de rotação é preferencialmente de 40 segundos.

9.- Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, 15 CARACTERIZADO pelo fato de que a sinterização é preferencialmente realizada a uma temperatura de 105 °C e por um período de tempo de 20 minutos.

10.- Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, 20 CARACTERIZADO pelo fato de que a anodização é preferencialmente realizada submetendo-se o cátodo e o ânodo preferencialmente uma tensão CD de aproximadamente 25 V entre os eletrodos durante um período de tempo aproximado de 55 segundos com uma solução de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) de concentração preferencial de 0,5 mol/L utilizada como eletrólito.

11.- Processo, de acordo com a reivindicação 10, 25 CARACTERIZADO pelo fato de que a temperatura é controlada em cerca de 2 °C por meio de um banho termostático.

12. - Processo, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO pelo fato de que na etapa de redução da prata, a solução salina com íons de prata apresenta uma concentração preferencial de aproximadamente 100 mmol/L de AgNO<sub>3</sub>.

13.- Processo, de acordo com a reivindicação 12, CARACTERIZADO pelo fato de que a solução mista de AgNO<sub>3</sub> e hidroquinona apresenta preferencialmente uma proporção de 5:1 respectivamente e pH final de aproximadamente 4,5 ou menos.

5 14.- Processo, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO pelo fato de que na segunda imersão a solução mista de AgNO<sub>3</sub> e hidroquinona apresenta preferencialmente uma proporção de 5:1 respectivamente.

10 15.- Processo, de acordo com a reivindicação 2, CARACTERIZADO pelo fato de que na etapa de redução do ouro, a solução salina com íons de ouro apresenta uma concentração preferencial de aproximadamente 50 mmol/L de AuCl.

15 16.- Processo, de acordo com a reivindicação 15, CARACTERIZADO pelo fato de que a solução mista de AuCl e hidroquinona apresenta preferencialmente uma proporção de 5:1 respectivamente e pH final de aproximadamente 1, ajustado por meio de adição de HCl concentrado à mistura.

20 16.- Processo, de acordo com a reivindicação 2, CARACTERIZADO pelo fato de que na segunda imersão a solução mista de AuCl e hidroquinona apresenta preferencialmente uma proporção de 5:1 respectivamente, e pH final de aproximadamente 4,5 ou menor.

17.- Processo, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, CARACTERIZADO pelo fato de que o isolante térmico empregado é preferencialmente nitreto de silício (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>).

25 18.- Dispositivo eletrônico a base de nanoeletrodos, CARACTERIZADO pelo fato de que é obtido a partir dos processos conforme definidos nas reivindicações 1 a 17.

19. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 18, CARACTERIZADO pelo fato de que pode ser configurado para detectar espécies de natureza química e/ou biológica.

20.- Dispositivo, de acordo com a reivindicação 18, CARACTERIZADO pelo fato de que pode ser utilizado na realização de medidas elétricas e detecção de pH.

5 21.- Dispositivo, de acordo com a reivindicação 18, CARACTERIZADO pelo fato de que pode ser utilizado para análises quantitativas.

22.- Dispositivo, de acordo com a reivindicação 18, CARACTERIZADO pelo fato de que pode ser utilizado para análises qualitativas.

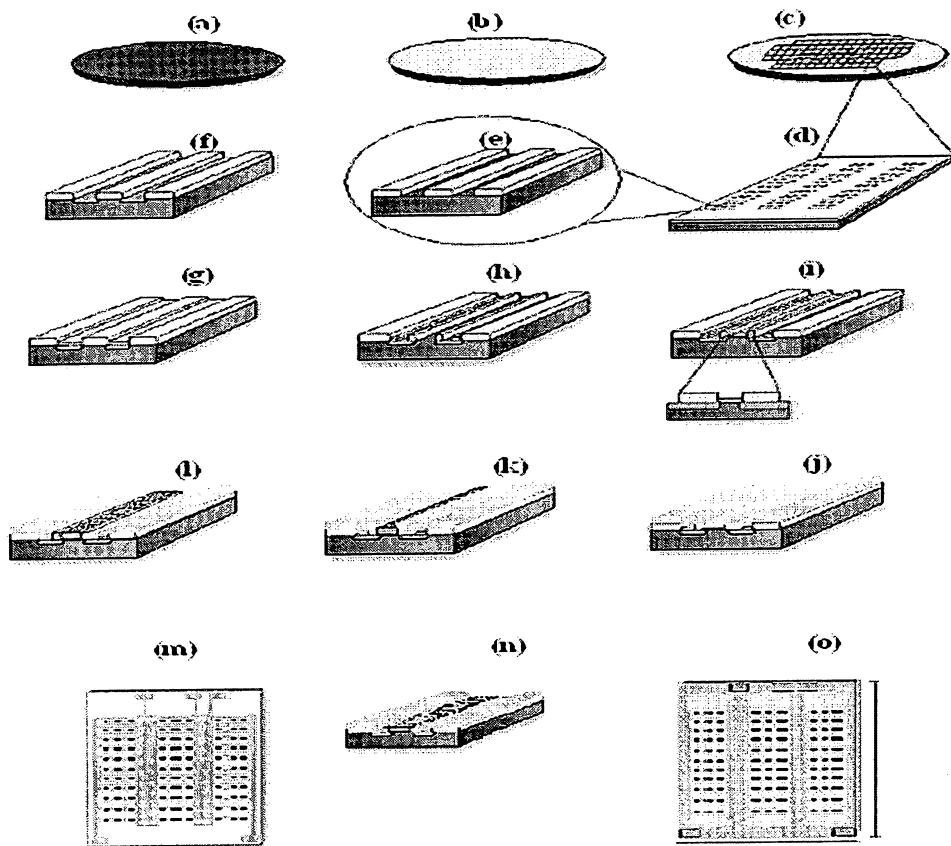


Figura 1

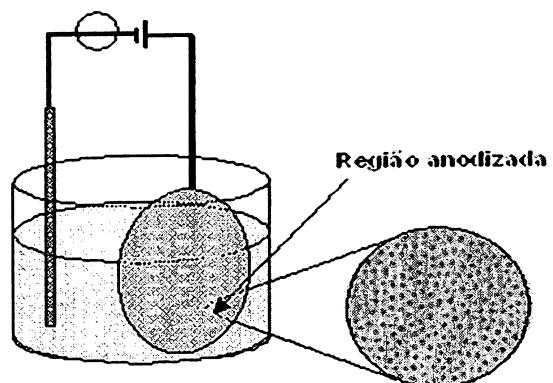


Figura 2

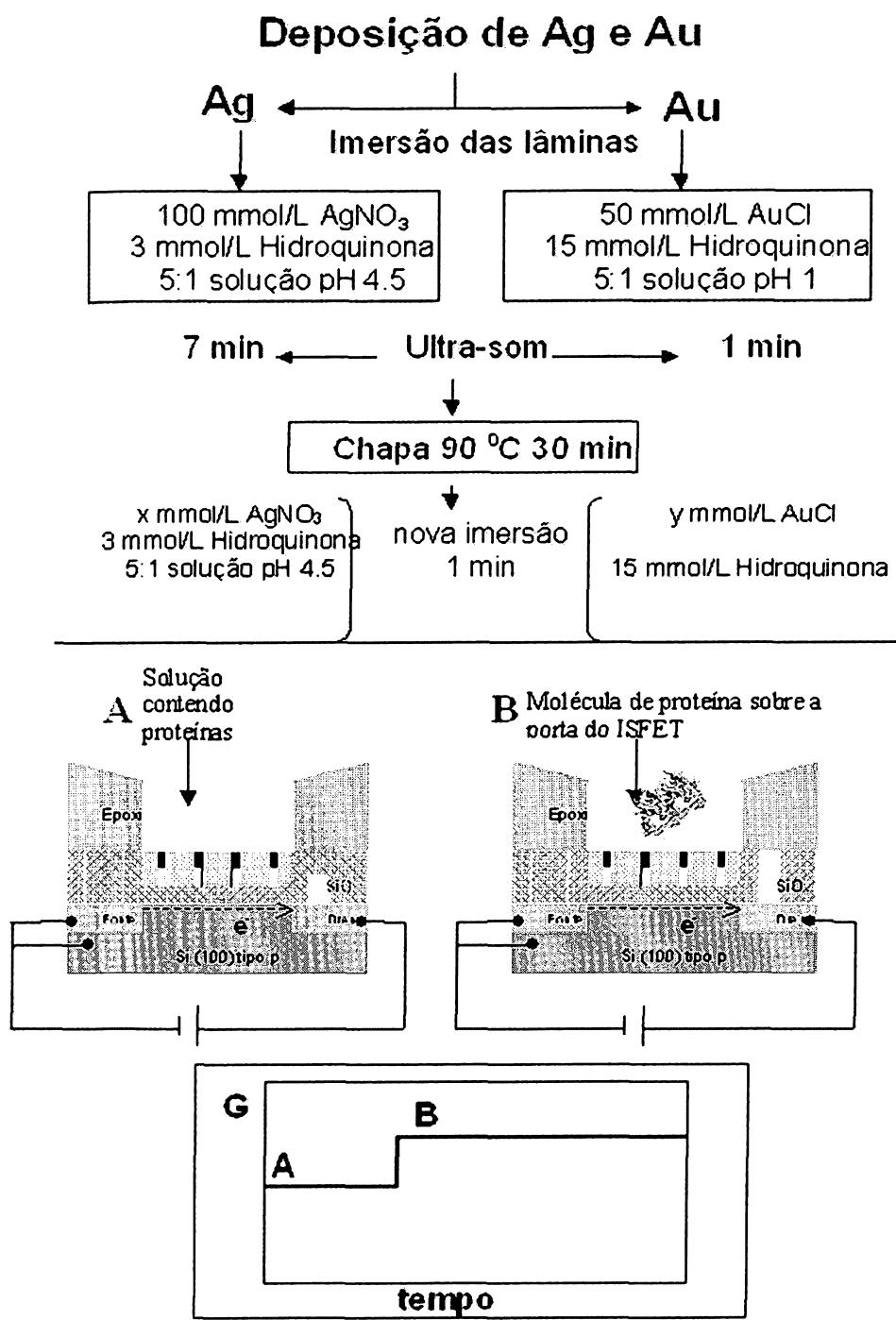


Figura 3