



(19) INSTITUTO NACIONAL
DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
PORTUGAL

(11) Número de Publicação: PT 515181 E

(51) Classificação Internacional: (Ed. 6)
H01L021/20 A H01L021/76 B

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

<p>(22) Data de depósito: 1992.05.21</p> <p>(30) Prioridade: 1991.05.22 JP 14528691 1991.05.24 JP 14816291 1991.05.27 JP 14930391</p> <p>(43) Data de publicação do pedido: 1992.11.25</p> <p>(45) Data e BPI da concessão: 2000.08.16</p>	<p>(73) Titular(es): CANON KABUSHIKI KAISHA 30-2, 3-CHOME, SHIMOMARUKO, OHTA-KU, TOKYO JAPÃO JP</p> <p>(72) Inventor(es): KIYOFUMI SAKAGUCHI JP TAKAO YONEHARA JP</p> <p>(74) Mandatário(s): ANTÓNIO JOÃO COIMBRA DA CUNHA FERREIRA RUA DAS FLORES 74 4/AND. 1294 LISBOA PT</p>
--	---

(54) Epígrafe: MÉTODO DE PREPARAÇÃO DE COMPONENTES SEMICONDUTORES

(57) Resumo:





DESCRIÇÃO

“Método de preparação de componentes semicondutores”

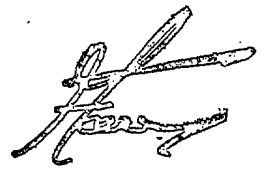
O presente invento refere-se a um método para produzir um componente semicondutor compreendendo uma camada semicondutora sobre um substrato isolador.

A já bem conhecida tecnologia do silício sobre isolante (SOI) implica a formação de uma camada monocristalina de silício semicondutora sobre um material isolante. Os dispositivos que usam uma estrutura SOI apresentam muitas vantagens na preparação dos circuitos integrados convencionais de Si, vantagens não apresentadas pelos substratos de Si a granel, e portanto têm sido intensamente investigados. Mais particularmente, quando se usa a estrutura SOI podem ser obtidas as seguintes vantagens:

1. Permite um alto grau de integração porque se pode facilmente obter o isolamento dieléctrico;
2. A resistência à radiação é excelente;
3. A capacidade de dispersão é reduzida, pelo que os dispositivos resultantes são de alta velocidade;
4. Permite um passo de formação de cavidades.
5. Pode evitar-se o bloqueamento.
6. Um transistor de efeito de campo FET (field effect transistor) completamente esvaziado pode ser preparado pela formação de uma película fina.

Durante os últimos dez anos aproximadamente realizaram-se estudos para obter as muitas características vantajosas, acima referidas, desses dispositivos. A seguinte publicação resume esses estudos; Número Especial: “Single-crystal silicon on non-single-crystal insulators”; editado por G.W. Cullen, *Journal of Crystal Growth*, Volume 63, No 3, pp. 429-590 (1983).

É também conhecido, já há algum tempo, um método de CVD (Chemical Vapour Deposition), em que o silício é depositado por heteroepitaxia sobre um substrato monocristalino de safira para formar um SOS (silício sobre safira). Ainda que esta seja a



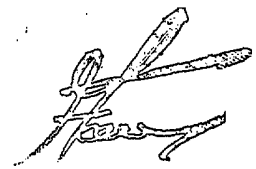
técnica de SOI mais amadurecida e que encontrou algum sucesso, não tem sido amplamente aplicada porque há desencontro nas matrizes da interface entre a camada de Si e o substrato de safira, do que resulta uma grande quantidade de defeitos nos cristais, devido ao alumínio do substrato de safira se introduzir na camada de Si e, acima de tudo, devido ao elevado custo do substrato e demoras na obtenção de bolachas de substrato de grande tamanho.

Em anos recentes fizeram-se tentativas de produção de uma estrutura SOI sem recorrer ao uso do substrato de safira. Estas tentativas caem em duas grandes classes:

(1) Um substrato monocristalino de Si é superficialmente oxidado, após o que se forma uma janela de modo a expor parcialmente o substrato de Si e a parte exposta é usada como semente para formar uma camada monocristalina de Si sobre SiO_2 por um processo de desenvolvimento lateral epitaxial. (Neste caso, a deposição é de uma camada de Si sobre SiO_2).

(2) Forma-se SiO_2 debaixo de um substrato monocristalino de Si que é ele próprio usado como camada activa. Este método não envolve a deposição de uma camada de Si.

O processo (1) acima pode ser realizado por CVD, o que produz uma camada monocristalina de Si directamente por desenvolvimento lateral epitaxial, por um método em que o Si amorfo é depositado e submetido a tratamento térmico para provocar um desenvolvimento lateral epitaxial em fase sólida, por um método em que uma camada amorfa ou policristalina de Si é irradiada por um feixe de energia convergente como seja um feixe de electrões, um feixe laser, etc., formando SiO_2 e em que se desenvolve uma camada monocristalina sobre o SiO_2 por fusão e recristalização, e por um método em que a região de fusão é pesquisada por zonas por um aquecedor em forma de vareta (recristalização por fusão de zonas). Estes métodos têm vantagens e desvantagens. Apresentam vários problemas no que se refere ao controlo, à velocidade de produção, à uniformidade e qualidade, e até agora nenhum deles foi aplicado industrialmente. Por exemplo na formação de uma película fina plana, o método CVD exige oxidação de sacrifício, enquanto que no método de desenvolvimento em fase sólida a cristalinidade é fraca. No método de têmpera por feixes, o que envolve pesquisa com feixes convergentes, levanta-se o problema do controlo, por exemplo no que se refere ao tempo de tratamento, ao modo de sobrepor os feixes, ao ajustamento do foco, etc. A recristalização por fusão de zonas é o mais amadurecido destes métodos e têm sido preparados, a título experimental e em escala relativamente grande, circuitos integrados mas subsiste um elevado número de defeitos nos cristais como os de sub-fronteira e a não foi preparado nenhum dispositivo orientado por portadores



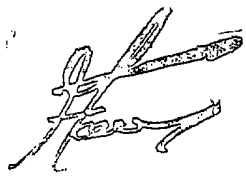
minoritários.

Os métodos em que se utiliza um substrato que não de Si como sementeira para o desenvolvimento epitaxial incluem os seguintes:

(1) Um substrato monocristalino é gravado anisotropicamente de modo a criar sulcos em V e forma-se depois uma película de óxido sobre o substrato, uma camada policristalina de Si, de espessura comparável à do substrato, é depositada sobre a película de óxido e depois polida na superfície posterior do substrato de Si de modo a formar sobre a camada espessa de Si policristalino, regiões monocristalinas de Si que ficam dielectricamente separadas em resultado dos sulcos em V circundantes. Neste método ainda que se obtenha uma boa cristalinidade, surgem problemas no que se refere ao controlo e velocidade de produção durante o passo de deposição do Si policristalino que deve atingir cerca de 100 micra em espessura, e também durante o passo em que o substrato de Si monocristalino é polido na superfície posterior para deixar apenas a camada activa de Si, separada.

(2) O método denominado SIMOX (separação por ião implantado de oxigénio) envolve a implantação iónica de oxigénio num substrato monocristalino de Si de modo a constituir uma camada de SiO₂, e é um dos métodos mais amadurecidos devido à boa compatibilidade com o processo Si-IC (Circuito Integrado). Contudo, a formação da camada de SiO₂ exige a implantação de 10¹⁸ iões/cm² ou mais, o que requer tempos de implantação prolongados e portanto baixa velocidade de produção. Além disso, o custo de cada "bolacha" é elevado, permanecem muitos defeitos nos cristais e, sob o ponto de vista industrial, tem sido impossível produzir, com nível suficiente de qualidade, dispositivos orientados por portadores minoritários.

(3) É conhecido o método em que se forma uma estrutura SOI dielectricamente isolada por oxidação de Si poroso. Neste método formam-se ilhas de uma camada de Si tipo-N por implantação iónica de protões sobre a superfície de um substrato monocristalino de Si tipo P (IMAI *et al.*, *J. Crystal Growth*, Vol. 63, 547 (1983). Em vez da implantação de ião protão pode ser usado o desenvolvimento epitaxial e padronização; o substrato de Si tipo-P só é tornado poroso por anodização em solução de HF, de modo a rodear as ilhas de Si da superfície, sendo depois as ilhas de Si tipo-N dielectricamente isoladas por oxidação acelerada. Neste método, a região de Si separada é determinada antes dos passos para o dispositivo de modo que há a desvantagem de, nalguns casos, os graus de liberdade no desenho do circuito dispositivo estarem limitados.



Na formação de um sensor de contacto que sirva como dispositivo receptor de luz e como um ecrã do tipo de projecção em cristal líquido, é importante um substrato transparente à luz. É necessário um dispositivo orientador de alta qualidade a fim de aumentar adicionalmente a densidade, resolução e definição em pixels (elementos da imagem) do sensor ou ecrã. Consequentemente é necessário que seja produzido um dispositivo sobre um substrato transparente à luz que use uma camada monocristalina com excelente cristalinidade.

Contudo, é produzida uma camada amorfa ou pelo menos uma camada policristalina como resultado da deposição de Si num substrato amorfo como vidro. A razão é que a camada de Si reflecte a estrutura cristalina desordenada do substrato, e usando esta camada de Si, não se formam dispositivos de alta qualidade. Depositando simplesmente uma camada de Si, é difícil obter uma camada monocristalina de alta qualidade.

Em JP-A-55016464 revela-se um método para produzir uma boa camada SOI. Um substrato monocristalino SOI está ligado a outro substrato de Si monocristalino. Este outro substrato monocristalino de silício é submetido a um tratamento para formar uma estrutura porosa e o substrato poroso é então retirado depois de convertido em óxido. Takao Yonehara, um dos inventores do presente pedido revelou, no pedido de patente japonesa JP-A-5-021338, um método para formar um substrato semiconductor capaz de resolver os problemas acima. No método revelado neste pedido de patente, forma-se um substrato que tem uma camada monocristalina semicondutora não porosa e uma camada semicondutora porosa. Outro substrato com uma superfície de material isolante é ligado à superfície da camada monocristalina, depois do que a camada porosa semicondutora é retirada por ataque químico. O método revelado neste pedido de patente permite que seja produzida uma camada semicondutora com uma cristalinidade semelhante à da bolacha monocristalina a ser produzida sobre um substrato isolante com velocidade de produção, uniformidade e controlabilidade excelentes. Contudo, neste método onde a ligação é feita a altas temperaturas e os substratos a serem interligados têm diferentes coeficientes de expansão térmica, pode ocorrer esfoliação nas superfícies de contacto por causa dos diferentes coeficientes de expansão das superfícies em contacto. Mesmo que uma ligação satisfatória se forme inicialmente, ambos os substratos estão sujeitos a estalar devido a uma flexibilidade reduzida. É particularmente difícil formar uma ligação entre substâncias de diferentes espécies.

Uma publicação de G.Bomchil *et al.*, *Materials Letters*, Setembro 1988, vol. 7, No. 3, pp 94-98, revela a deposição por epitaxia em fase de vapor de baixa pressão sobre silício



poroso a temperaturas mais baixas do que na deposição por epitaxia convencional por vapor químico. Foram obtidas camadas por epitaxia de boa qualidade cristalina e a microestrutura original do silício poroso foi apenas ligeiramente modificada durante o processo epitaxial. Foi subseqüentemente possível a oxidação completa da parte embutida da camada porosa de silício.

Com qualquer dos métodos acima é difícil obter, num substrato de vidro transparente à luz, uma camada reproduzível de SOI que tenha uma cristalinidade igual à de uma bolacha de Si.

Uma publicação de Tsuneo Hamaguchi *et al.*, "Device Layer Transfer Technique Using Chemi-Mechanical Polishing", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol 23, Nº 10, pp. L815-L817(1984) revela uma nova técnica para transferir um dispositivo de camada fina fabricado sobre uma bolacha de Si num substrato isolante. Os processos fundamentais usados nesta técnica são o adelgaçamento da bolacha por meio de polimento químico mecânico e ligação da bolacha usando um adesivo de polímero isolante. Forma-se um dispositivo de camada com a espessura de 2 μm e diâmetro de 5 cm (2 polegadas) num substrato de vidro de quartzo sem degradação significativa nas características do transistor.

Um artigo por J. Haisma *et al.*, "Silicon on Insulator Wafer Bonding-Wafer Thinning Technological Evaluations", *Japanese Journal of Applied Physics*, 28, 1989. Nº 8, páginas 1426-1443 revela um método para produzir um componente semiconductor com as características especificadas no preâmbulo da reivindicação 1.

O presente invento proporciona um método como o acima mencionado, tendo o dito método as características especificadas na reivindicação 1.

Uma concretização do método acima permite a produção de componentes semicondutores onde haja uma estrutura SOI que não tenda a esfoliar ou a rachar. Concretizações do invento permitem que o componente semiconductor seja produzido a uma velocidade de produção relativamente elevada de modo uniforme e controlável e com rendimento e custo bons, e produz uma camada cristalina de Si cuja cristalinidade é semelhante ao de uma bolacha monocristalina. O substrato isolante pode ser vidro. Concretizações do componente semiconductor produzido pelo processo acima apresentam as vantagens dos dispositivos SOI convencionais, e podem ser usados em vários campos em substituição de componentes semicondutores preparados pelos dispendiosos processos SOS ou SIMOX para a produção de circuitos integrados em grande escala.

Breve descrição dos desenhos

A fig. 1 é uma vista esquemática para explicar um exemplo do método para produzir um componente semiconductor do presente invento;

A fig. 2 é uma vista esquemática para explicar um exemplo do método para produzir um componente semiconductor do presente invento;

A fig. 3 é uma vista esquemática para explicar um exemplo do método para produzir um componente semiconductor do presente invento;

A fig. 4 é uma vista esquemática para explicar um exemplo do método para produzir um componente semiconductor do presente invento;

A fig. 5 é uma representação gráfica mostrando as características de gravação de uma solução de gravação aplicável ao presente invento;

A fig. 6 é uma representação gráfica mostrando as características de gravação de uma solução de gravação aplicável ao presente invento;

A fig. 7 é uma representação gráfica mostrando as características de gravação de uma solução de gravação aplicável ao presente invento;

A fig. 8 é uma representação gráfica mostrando as características de gravação de uma solução de gravação aplicável ao presente invento;

A fig. 9 é uma representação gráfica mostrando as características de gravação de uma solução de gravação aplicável ao presente invento;

A fig. 10 é uma representação gráfica mostrando as características de gravação de uma solução de gravação aplicável ao presente invento;

A fig. 11 é uma representação gráfica mostrando as características de gravação de uma solução de gravação aplicável ao presente invento;

A fig. 12 é uma representação gráfica mostrando as características de gravação de



uma solução de gravação aplicável ao presente invento.

Descrição detalhada das concretizações preferidas

Descreve-se em seguida uma primeira concretização do método de preparação de um componente semiconductor deste invento.

Assim, é caracterizada por compreender,

um processo para preparar um substrato de Si poroso e depois formar uma camada monocristalina de Si não poroso sobre o substrato de Si poroso,

um processo de ligação primária do substrato de Si poroso e de um substrato isolante por meio da camada monocristalina de Si não poroso,

um processo de ataque de gravação de Si poroso para remover o Si poroso por ataque químico depois do processo de ligação primária, e

um processo de ligação secundária para reforçar a ligação primária depois do processo de gravação.

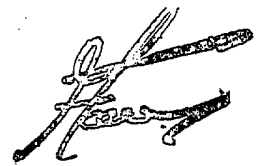
Uma segunda concretização do presente invento é um método de preparação de um componente semiconductor caracterizado por compreender

um processo para preparar um substrato de Si poroso e depois formar uma camada monocristalina de Si não poroso sobre o substrato de Si poroso,

um processo de ligação primária para ligação do substrato de Si poroso e de um substrato isolante por meio de uma camada monocristalina de Si não poroso,

um processo de ataque de gravação de Si poroso para remover Si poroso por ataque químico imergindo o substrato em ácido fluorídrico depois do processo de ligação primária, e

um processo de ligação secundária para reforçar a ligação primária depois do processo de gravação.



Uma terceira concretização do presente invento é um método de preparar um componente semiconductor caracterizado por compreender

um processo para preparar um substrato de Si poroso e depois formar uma camada monocristalina de Si não poroso sobre o substrato de Si poroso.

um processo de ligação primária para fixar o substrato de Si poroso e um substrato isolante por meio da camada monocristalina de Si não poroso,

um processo de ataque de gravação de Si poroso para remover o Si poroso por ataque químico, imergindo o substrato numa mistura contendo ácido fluorídrico e álcool depois do processo de ligação primária, e

um processo de ligação secundária para reforçar a ligação primária depois do processo de gravação.

Uma quarta concretização do presente invento é um método para preparar um componente semiconductor caracterizado por compreender

um processo para preparar um substrato de Si poroso e depois formar uma camada monocristalina de Si não poroso sobre o substrato de Si poroso.

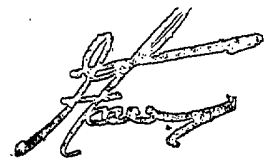
um processo de ligação primária do substrato de Si poroso e de um substrato isolante por meio da camada monocristalina de Si não poroso,

um processo de ataque de gravação de Si poroso para remover Si poroso por ataque químico, imergindo o substrato numa mistura contendo ácido fluorídrico e peróxido de hidrogénio depois do processo da ligação primária, e

um processo de ligação secundária para reforçar a ligação primária depois do processo de gravação.

Uma quinta concretização do presente invento é um método para preparar um componente semiconductor caracterizado por compreender,

um processo para preparar um substrato de Si poroso e depois formar uma camada monocristalina de Si não poroso sobre o substrato de Si poroso,



um processo de ligação primária para fixar o substrato de Si poroso e um substrato isolante por meio de uma camada monocristalina de Si não poroso,

um processo de ataque de Si poroso gravação para remover Si poroso por ataque químico imergindo o substrato numa mistura contendo ácido fluorídrico, álcool e peróxido de hidrogénio depois do processo de ligação primária, e

um processo de ligação secundária para reforço da ligação primária depois do processo de gravação.

Uma sexta concretização do presente invento é um método para preparar um componente semiconductor caracterizado por compreender

um processo para preparar um substrato de Si poroso e depois formar uma camada monocristalina de Si não poroso sobre o substrato de Si poroso,

um processo de ligação primária para fixar o substrato de Si e um substrato isolante por meio da camada monocristalina de Si não poroso,

um processo de ataque de gravação de Si poroso para remover Si poroso por ataque químico imergindo o substrato numa mistura contendo ácido fluorídrico tamponado (uma solução mista aquosa de ácido fluorídrico e fluoreto de amónio) depois do processo de ligação primária, e

um processo de ligação secundária para reforçar a ligação primária depois do processo de gravação.

Uma sétima concretização do presente invento é um método para preparar um componente semiconductor caracterizado por compreender

um processo para preparar um substrato de Si poroso e depois formar uma camada monocristalina de Si não poroso sobre o substrato de Si poroso,

um processo de ligação primária para fixar o substrato de Si poroso e um substrato isolante por meio da camada monocristalina de Si não poroso,

um processo de ataque de gravação de Si poroso para remover o Si poroso por ataque



químico imergindo o substrato numa mistura contendo ácido fluorídrico tamponado (uma solução aquosa mista de ácido fluorídrico e fluoreto de amónio) e álcool depois do processo de ligação primária, e

um processo de ligação secundária para reforçar a ligação primária depois do processo de gravação.

Uma oitava concretização do presente invento é um método para preparar um componente semiconductor caracterizado por compreender

um processo para preparar um substrato de Si poroso e depois formar uma camada monocristalina de Si não poroso sobre o substrato de Si poroso,

um processo de ligação primária para fixar o substrato de Si poroso e um substrato isolante por meio da camada monocristalina de Si não poroso,

um processo de ataque de gravação de Si poroso para remover o Si poroso por ataque químico, imergindo o substrato numa mistura contendo ácido fluorídrico tamponado (uma solução aquosa mista de ácido fluorídrico e fluoreto de amónio) e peróxido de hidrogénio depois do processo de ligação primária, e

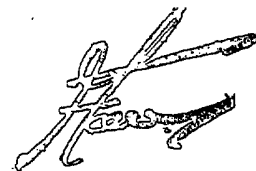
um processo de ligação secundária para reforçar a ligação primária depois do processo de gravação.

Uma nona concretização do presente invento é um método de preparar um componente semiconductor caracterizado por compreender

um processo para preparar um substrato de Si poroso e depois formar uma camada monocristalina de substrato de Si não poroso sobre o substrato de Si poroso,

um processo de ligação primária para fixar o substrato de Si poroso e um substrato isolante por meio da camada monocristalina de Si não poroso,

um processo de ataque de gravação do Si poroso para remover o Si poroso por ataque químico, imergindo o substrato numa mistura contendo ácido fluorídrico tamponado (uma solução aquosa mista de ácido fluorídrico e fluoreto de amónio), álcool e peróxido de hidrogénio depois do processo de ligação primária. e



um processo de ligação secundária para reforço da ligação primária depois do processo de gravação.

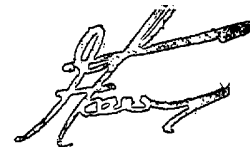
De acordo com o presente invento, o processo de ligação secundária para fixar mais fortemente a camada de Si/SiO₂ e um substrato isolante, tal como um substrato transparente à luz, é executado depois do substrato de Si poroso ser gravado para se obter uma película fina, de modo a que o substrato e a película fina fiquem ligados. Portanto, torna-se possível evitar esfoliações ou rachas, causadas pela diferença entre os coeficientes de expansão térmica do substrato e da película fina no processo de ligação, mesmo que sejam sujeitos a tratamento pelo calor a alta temperatura para proporcionar uma ligação mais forte entre eles, pois que a película fina está fixada em alinhamento com o substrato devido à boa flexibilidade da película fina. É deste modo possível formar a camada em película fina de Si com uma excelente estrutura monocristalina, uniformemente sobre o substrato isolante, representado pelo substrato transparente à luz.

Para o método de preparação de um substrato semiconductor de acordo com o presente invento, quando aquele se torna poroso com apenas uma camada de superfície do substrato de Si deixada no lado posterior, é possível obter Si monocristalino com significativamente menos defeitos no substrato isolante a baixos custos de forma a deixar na superfície uma camada de Si activo, usando o Si monocristalino epitaxial com uma cristalinidade uniformemente plana e muito boa sobre uma grande área e remover a camada activa da sua única superfície.

De acordo com o presente invento, para obter uma camada cristalina de Si com a cristalinidade excelente igual à da bolacha monocristalina sobre o substrato isolante, é possível ligar mais fortemente a camada monocristalina de Si ao substrato transparente à luz com um coeficiente de expansão térmica diferente do coeficiente do Si, sem produzir esfoliação ou rachas, proporcionando assim um método de produtividade, uniformidade, controlabilidade e economia superiores.

Além disso, de acordo com o presente invento, é possível proporcionar um método para fabricar um substrato semiconductor tomando em consideração as vantagens dos dispositivos convencionais SOI e que pode ser aplicado.

De acordo com o presente invento, é também possível proporcionar um método para fabricar um substrato semiconductor que pode ser usado em lugar dos muito dispendiosos SOS ou SIMOX para produzir um circuito integrado em larga escala com uma estrutura SOI.



O presente invento vai usar um substrato monocristalino de Si como matéria-prima originalmente excelente, removendo quimicamente uma porção inferior do substrato de Si, deixando apenas uma camada monocristalina na sua superfície, para o transferir para o substrato transparente à luz, estabelecendo desse modo um método de ligação de materiais com diferentes coeficientes térmicos e permitindo que muitos tratamentos sejam realizados num curto espaço de tempo.

Em particular, o invento conforme descrito da segunda à nona concretização proporciona um método para fabricar um componente semiconductor usando uma solução química recente para gravação que não tenha efeitos nocivos no processo semiconductor ao gravar o Si poroso, exibindo desse modo um valor de proporção de selecção de gravação entre Si poroso e Si não poroso, de cinco ou mais dígitos, nesta solução de gravação e excelente controlabilidade e produtividade.

O presente invento será descrito abaixo em detalhe.

(Concretização 1-1)

As figs. 1, de (a) a (e), são ilustrações de processos para explicar um exemplo do método para preparar um substrato semiconductor do presente invento, cada uma apresentada como uma vista esquemática em corte de cada processo.

De acordo com o resultado de uma observação com microscópio electrónico de transmissão, formam-se micro-poros com um diâmetro médio de cerca de 60 nm (600 Å) na camada de Si poroso, pelo que a densidade da camada foi reduzida para metade ou menos da do Si monocristalino. De qualquer maneira, a monocristalinidade mantém-se ainda, pelo que é possível formar uma camada monocristalina de Si sobre a camada porosa por desenvolvimento epitaxial. Quando a temperatura excede 1000°C, ocorre um rearranjo dos poros internos, o que impede a aceleração da gravação. Por esta razão, o desenvolvimento epitaxial da camada de Si é preferivelmente efectuado por um método de desenvolvimento a baixa temperatura como, por exemplo, um método de desenvolvimento epitaxial por feixe molecular, um método CVD como seja o método CVD de plasma, CVD de baixa pressão ou método foto-CVD, um método de tendência para dispersão, ou um método de desenvolvimento em fase líquida.

Será agora dada uma descrição do método pelo qual se obtém o desenvolvimento



epitaxial de uma camada monocristalina, depois de preparar um substrato de Si inteiramente poroso do Tipo P ou do Tipo N portador de alta densidade (de densidade suficientemente elevada para realizar a estrutura porosa).

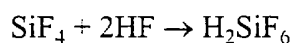
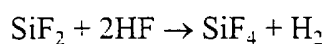
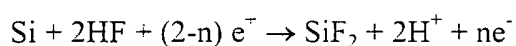
Primeiro, é preparado e tornado inteiramente poroso um substrato de Si monocristalino do tipo P, como se mostra na Fig. 1(a) em 11.

A seguir, faz-se o desenvolvimento epitaxial sobre a superfície de um substrato poroso 12, por um dos vários métodos de desenvolvimento, como se mostra na Fig. 1(b), para formar uma camada monocristalina em película fina 13. O substrato de Si do tipo P é tornado poroso por anodização usando uma solução de HF. A densidade da camada de Si poroso pode ser levada até à gama de 1,1 a 0,6 g/cm³ em comparação com a densidade de 2,55 g/cm³ do Si monocristalino, alterando a concentração da solução de HF de 50 para 20%.

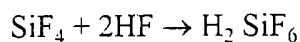
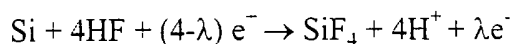
Esta camada porosa não se forma na camada de Si do tipo N, mas apenas no substrato de Si do tipo P pelas seguintes razões. A camada de Si poroso tem poros com um tamanho médio de cerca de 60 nm (600 Å) que foi medido por observação com um microscópio electrónico de transmissão.

O Si poroso foi descoberto no decurso de investigações sobre o polimento electrolítico de um semiconductor segundo Uhler *et al.*, em 1956 (A.Uhler, *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 35, 333 (1956)).

Unagami *et al.* investigaram a reacção de dissolução do Si durante a anodização e relataram que a reacção anódica do Si numa solução de HF requer partes positivas, e que a reacção é expressa como segue (T.Unagami, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 127, 476 (1980)).



ou



onde e^+ e e^- denotam respectivamente uma parte positiva e um electrão, e n e λ , cada um, denota o número de partes positivas requeridas para dissolver um átomo de silício. O Si poroso pode ser formado quando a condição, $n > 2$ ou $\lambda > 4$, é satisfeita.

Como acima descrito, tendo o Si tipo P partes positivas pode tornar-se poroso, ao passo que o Si tipo N não pode ser tornado poroso. A selectividade para produzir uma estrutura porosa foi demonstrada por Nagano *et al.* e Imai (Nagano, Nakajima, Yasumo, Oonaka, Kajiwara, *Electronic Communications Institute Technical Studies Report*, vol. 79, SSD79-9549 (1979)), (K. Imai, *Solid State Electronics*, vol. 24, 159 (1981)).

Contudo, também é relatado que o Si tipo N, portador de alta densidade, pode ser tornado poroso (R.P. Holmstrom e J.K. Chi, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 42, 386 (1983)), pelo que é importante seleccionar um substrato que possa ser tornado poroso independentemente de ser do tipo P ou do tipo N.

A camada porosa é internamente constituída por uma grande quantidade de espaços, daí resultando o decréscimo da densidade para metade ou menos. Consequentemente, a área superficial aumenta drasticamente em comparação com a área após deposição, pelo que a velocidade de ataque químico é notavelmente mais alta do que na camada normal monocristalina.

Referindo-nos agora à Fig. 1(c), um substrato 14 transparente à luz, que é normalmente uma chapa de vidro, é preparado como um substrato isolante, e fixado sobre a superfície da camada de Si monocristalino, 13, com um grau de adesão mútua por forças de Van der Waals (ligação primária). Pode verificar-se que após formação de uma camada de óxido sobre a superfície da camada monocristalina 13 de Si, a camada de óxido e o substrato 14 transparente à luz, podem ser ligados. Também pode verificar-se que em lugar do substrato 14 transparente à luz, pode usar-se um substrato com uma camada de óxido formada sobre a superfície do Si monocristalino. A força de ligação da ligação primária deve ser suficientemente forte para reter o estado de ligação primária, sem causar esfoliação no decurso da ligação secundária a ser executada mais tarde. A ligação primária pode ser executada à temperatura ambiente, ou por aquecimento mas, se for usado o aquecimento, a temperatura de aquecimento deve ser inferior à temperatura usada para a ligação secundária.



A temperatura para a ligação secundária encontra-se adequadamente numa gama de 200° a 800°C, dependendo do material do substrato isolante.

Em seguida, o substrato de Si poroso 12 é inteiramente gravado, pelo que uma camada delgada de Si monocristalino diluída 13 é deixada sobre o substrato transparente à luz 14, como se mostra na Fig. 1(d). Se a solução de gravação puder também atacar o substrato de vidro transparente à luz 14 durante a gravação, deve utilizar-se uma película anti-ataque na superfície posterior do substrato de vidro transparente à luz 14, excepto no caso em que o substrato em vidro transparente à luz 14 é mais ou menos atacado, mas a superfície atacada não é diferente da superfície opticamente polida, e no caso do substrato de vidro transparente à luz 14 não ser de todo atacado. Forma-se uma camada de Si_3N_4 por deposição como película anti-ataque para cobrir completamente os dois substratos colocados adjacientemente, e a camada de Si_3N_4 sobre o substrato de Si poroso é então removida. É possível usar outros materiais como cera Apiezon, em vez de Si_3N_4 , como material da camada anti-ataque.

Finalmente, com o tratamento térmico a camada de Si/ SiO_2 e o substrato transparente à luz, 14, são ligados mais fortemente na ligação secundária. Como a película fina e o substrato transparente à luz são ligados como acima se descreveu, a película fina é fixada em alinhamento com o substrato, de modo a ser possível evitar esfoliações e fracturas do substrato causadas pela diferença entre os seus coeficientes de expansão térmica.

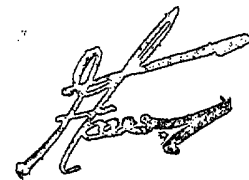
A Fig. 1(e) mostra o substrato semiconductor obtido por esta concretização, onde se forma, sobre o substrato transparente à luz, 14, uma camada monocristalina de Si, 13, com uma cristalinidade equivalente à de uma bolacha de silício, com elevado grau de suavidade e uniformidade, e com uma pequena espessura, por sobre uma larga área cobrindo a superfície inteira da bolacha.

O substrato semiconductor assim obtido é vantajoso do ponto de vista de produção de um dispositivo electrónico isolado por isolamento.

(Concretização 1-2)

Outra concretização para o método de fabrico de um substrato semiconductor de acordo com o presente invento será descrito em detalhe com referência aos desenhos.

As Figs. 2, de (a) a (e), são ilustrações do processo para explicar outro exemplo do



método para preparar um substrato semiconductor do presente invento, cada uma apresentada em vista esquemática em corte para cada processo.

Primeiro, forma-se uma camada portadora de baixa densidade, 22, por desenvolvimento epitaxial segundo um dos vários métodos de desenvolvimento de películas finas ou por contra-dopagem da superfície de um substrato de Si portador de alta densidade, 21, como ilustrado na Fig. 2(a). Alternativamente, pode formar-se uma camada monocristalina 22 do tipo N na superfície de um substrato de Si monocristalino, 21, do tipo P, por implantação iónica de protões.

Então, conforme ilustrado na Fig. 2(b), o substrato monocristalino de Si, 21, do tipo P ou do tipo N portador de alta densidade, é transformado num substrato de Si poroso, 23, executando, no seu lado contrário, anodização usando uma solução de HF. O Si monocristalino inicial, com uma densidade de 2.33 g/cm^3 pode ser transformado num componente poroso cuja densidade pode variar dentro da zona entre $1,1$ e $0,6 \text{ g/cm}^3$, variando a concentração de HF da solução de gravação entre 50% e 20%. Este componente poroso é formado num substrato de Si do tipo P ou no tipo N de alta densidade, como acima descrito.

Referindo agora a Fig. 2(c), um substrato transparente à luz, 24, que é normalmente uma chapa de vidro, é preparado como um substrato isolante, e fixado sobre a superfície da camada monocristalina de Si, 22, a um grau de adesão mútua com forças de Van der Waals (ligação primária). Note-se que depois de se ter formado a camada de óxido sobre a superfície da camada monocristalina de Si, 22, a camada de óxido e o substrato transparente à luz, 24, podem ser ligados entre si. Note-se também que em vez do substrato transparente à luz, 24, pode ser usado um substrato com uma camada de óxido formada sobre a superfície do Si monocristalino.

A força de ligação da ligação primária deve ser suficientemente intensa para manter o estado da ligação primária, sem ocorrerem esfoliações no decurso da ligação secundária a ser executada mais tarde.

Em seguida, o substrato de Si poroso 23 é inteiramente gravado, pelo que uma camada delgada de Si monocristalino, 22, é deixada no substrato transparente à luz, 24, como ilustrado na Fig. 2(d). Se durante a gravação a solução de gravação puder também atacar o substrato transparente à luz, 24, como ilustrado na Fig. 2(d), deve ser aplicada uma película anti-ataque sobre a superfície posterior do substrato de vidro transparente à luz, 24,



excepto no caso em que o substrato de vidro transparente à luz, 24, é mais ou menos atacado mas a superfície atacada não é diferente da superfície original opticamente polida, e no caso em que o substrato transparente à luz, 24, não é de forma alguma atacado. Forma-se uma camada de Si_3N_4 por deposição como película anti-ataque para cobrir totalmente o componente constituído pelos dois substratos ligados entre si, e remove-se a camada de Si_3N_4 da superfície do substrato de Si poroso. É possível utilizar outros materiais como a cera Apiezon, em vez de Si_3N_4 , como material da camada anti-ataque.

Finalmente, com o tratamento térmico, a camada de Si/SiO₂ e o substrato transparente à luz, 14, são ligados mais fortemente na ligação secundária, como ilustrado na Fig. 2(e). Uma vez que a película fina e o substrato transparente à luz estão ligados como acima descrito, a película fina é fixada em alinhamento com o substrato, de modo a ser possível evitar a esfoliação e fracturas do substrato causadas pela diferença entre os seus coeficientes de expansão térmica.

A Fig. 2(e) mostra o substrato semiconductor obtido por esta concretização, onde a camada monocristalina 22 de Si, com uma cristalinidade equivalente à de uma bolacha de silício, está formada sobre o substrato 24 transparente à luz, com elevado grau de suavidade e uniformidade, e com pequena espessura, por sobre uma larga área cobrindo a superfície total da bolacha. O substrato semiconductor assim obtido é vantajoso do ponto de vista de produção de um dispositivo electrónico isolado por isolamento.

O método acima é tal que se forma uma camada epitaxial antes de se formar uma estrutura porosa, e então as regiões que não a camada epitaxial são tornadas porosas selectivamente por anodização.

(Concretização 2-1)

As Figs. 3, de (a) a (d), são ilustrações do processo para explicar esta concretização, mostrando, cada uma, uma vista esquemática em corte de cada processo.

O que segue refere-se a um método em que todo o substrato de Si, do tipo P ou N portador de alta densidade, é transformado numa estrutura porosa e depois é formada uma camada monocristalina de Si não poroso sobre a estrutura porosa, por desenvolvimento epitaxial.

Referindo a Fig. 3(a), como primeiro passo, prepara-se um componente 31



semicondutor monocristalino de Si do tipo P e transforma-se completamente na estrutura porosa 32.

Então, conforme ilustrado na Fig. 3(b), realiza-se um desenvolvimento epitaxial, por um método adequado, sobre a superfície do componente poroso 32, formando assim uma camada monocristalina de Si, 33.

Então, conforme ilustrado na Fig. 3(c), a superfície da camada monocristalina de Si, 33, sobre o substrato de Si poroso, 32, é oxidada para formar uma película de óxido, 35. Forma-se esta película de óxido, 35, para reduzir o nível da interface da camada monocristalina 33 que é uma camada activa final.

Então, fixa-se sobre a superfície da película de óxido 35 um substrato isolante 34 tal como um substrato de vidro transparente à luz, a um grau de adesão mútua com forças de Van der Waals, ou até um ponto em que as interfaces ligadas não possam esfoliar devido à diferença entre os coeficientes de expansão térmica de ambos os componentes (ligação primária). Note-se que este substrato isolante 34 pode ser, em vez do substrato em vidro, um substrato com uma camada de óxido formada na superfície de Si monocristalino. A força de ligação da ligação primária deve ser suficientemente forte para reter o estado de ligação primária, sem produzir esfoliação no decurso da ligação secundária para a ligação completa ser realizada depois.

Por conseguinte, uma película anti-ataque, 36, é aplicada sobre a superfície posterior do substrato de vidro transparente à luz, 34. Forma-se uma camada de Si_3N_4 por deposição como película anti-ataque, 36, para cobrir completamente o componente constituído por dois substratos ligados entre si, e remove-se a camada de Si_3N_4 da superfície do substrato de Si poroso. É possível usar outros materiais como a cera Apiezon, em vez de Si_3N_4 , como material da camada anti-ataque.

Então, conforme ilustrado na Fig. 3(d), o substrato de Si poroso, 32, é totalmente imerso em ácido fluorídrico com agitação de maneira a que apenas o Si poroso seja removido por ataque químico húmido não eléctrico, pelo que uma camada delgada monocristalina de silício, 13, é deixada sobre o substrato transparente à luz, 34.

Finalmente, com o tratamento térmico, a camada de Si/SiO₂ e o substrato transparente à luz, 14, são ligados mais fortemente na ligação secundária a qual é uma ligação completa, como ilustrado na Fig. 1(e), de modo a que um componente semiconductor

desta concretização possa ser obtido removendo a película anti-ataque, 36.

Segue-se uma descrição do método selectivo de gravação do Si poroso com ácido fluorídrico usado nesta concretização.

A Fig. 5 mostra a dependência do tempo de gravação da espessura gravada do Si poroso e do Si monocristalino quando o Si poroso e o Si monocristalino forem gravados por imersão em ácido fluorídrico a 49% com agitação.

O Si poroso foi formado por anodização de Si monocristalino. As condições para a anodização são indicadas abaixo. Deve notar-se, contudo, que a matéria-prima para produzir Si poroso por anodização não se limita ao Si monocristalino e pode ser usado Si de outra estrutura cristalina como matéria-prima.

Voltagem aplicada:	2,6 (V)
Densidade de corrente:	30 (mA.cm ⁻²)
Solução de anodização:	HF:H ₂ O:C ₂ H ₅ OH = 1:1:1
Tempo :	2,4 horas
Espessura do Si poroso:	300 (µm)
Porosidade:	56 (%)

Foram imersas peças de ensaio do Si poroso assim preparado, em solução de ácido fluorídrico a 49% (círculos brancos) à temperatura ambiente sob agitação. A redução em espessura do Si poroso foi então medida. O Si poroso foi rapidamente gravado: nomeadamente, para uma espessura de 90 µm da camada em 40 minutos, e para mais 205 µm em 80 minutos, com um elevado grau de qualidade e uniformidade da superfície.

A velocidade de gravação depende da concentração da solução de gravação e da temperatura.

Peças de ensaio de Si não poroso com uma espessura de 500 µm foram imersas numa solução de ácido fluorídrico a 49% (círculos negros) à temperatura ambiente sob agitação. A redução da espessura do Si não poroso foi então medida. O Si não poroso foi apenas atacado até 5 nm (50 Å) ou menos depois de passados 120 minutos.

As peças de ensaio gravadas de Si poroso e Si não poroso foram então enxaguadas e as superfícies depois de enxaguadas foram examinadas por microanálise usando iões



secundários não tendo sido notadas impurezas.

As condições para a concentração da solução e para a temperatura foram ajustadas na gama onde a velocidade de gravação do Si poroso e a proporção de selecção da gravação entre o Si poroso e o Si não poroso não têm efeito prático no processo de fabrico.

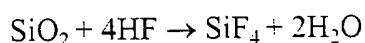
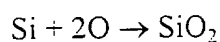
Será feita uma descrição da solução de gravação onde o Si poroso é atacado.

Métodos conhecidos de gravação do Si poroso são os dois métodos seguintes.

1. Método para gravar Si poroso com uma solução aquosa de NaOH (G.Bonchil, R.Herino, K. Barla, e J.C. Pfister, *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 130, No. 7, 1611 (1983).

2. Método para gravar Si poroso com uma solução de gravação capaz de gravar Si monocristalino.

No método 2 acima, é geralmente usada uma solução de gravação do tipo ácido fluoronítrico, e a gravação do Si decorre como segue:

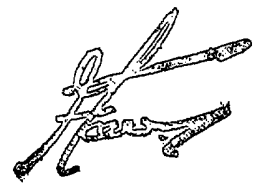


Assim, o Si é oxidado pelo ácido nítrico até SiO_2 , e o SiO_2 produzido é gravado com ácido fluorídrico.

Exemplos de soluções para gravação do Si não poroso incluem a solução para gravação tipo ácido fluoronítrico acima referida assim como soluções de gravação do tipo etilenodiamina, tipo KOH e tipo hidrazina e outras similares.

Compreender-se-á que é desejável, na gravação selectiva de Si poroso, seleccionar uma solução de ataque capaz de gravar Si poroso, diferente das acima indicadas soluções de ataque usadas para a gravação do Si cristalino. O Si poroso é convencional e selectivamente gravado pelo método que usa uma solução aquosa de NaOH como solução de gravação.

Conforme acima descrito, o Si poroso é gravado com uma solução de ataque do tipo ácido fluoronítrico, mas o Si monocristalino pode ser atacado.



No método convencional de gravar selectivamente Si poroso com uma solução aquosa de NaOH, os iões Na serão inevitavelmente adsorvidos na superfície gravada. Como os iões Na causam contaminação de impurezas, são móveis e têm efeitos adversos tais como a formação de estados interfaciais, é desejável que os iões não sejam introduzidos no processo semiconductor.

Nesta concretização, a solução de gravação é o ácido fluorídrico, que não tem acção de gravação sobre o Si não poroso mas é usado num processo comum semiconductor, com muito menor contaminação durante a gravação.

Assim, nesta concretização, é possível gravar selectivamente o Si poroso, mas não o Si não poroso, por gravação química com elevado grau de eficiência e uniformidade, sem ter efeitos adversos no processo.

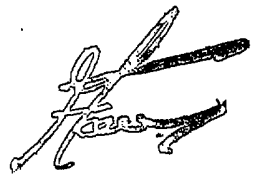
(Concretização 2-2)

As Figs. 4, de (a) até (e), são ilustrações do processo para explicar esta concretização, cada uma apresentada como uma vista esquemática em corte para cada processo.

Primeiro, forma-se uma camada portadora de baixa densidade, 42, por desenvolvimento epitaxial por um dos vários métodos de desenvolvimento da película fina, ou por contra-dopagem da superfície de um substrato de Si portador de alta densidade, 41, como ilustrado na Fig. 4(a). Alternativamente, pode ser formada uma camada monocristalina de Si do tipo N, 42, sobre a superfície de um substrato monocristalino de Si do tipo P, 41, por implantação iónica de protões.

Então, como ilustrado na Fig. 4(b), o substrato monocristalino de Si do tipo P ou do tipo N portador de alta densidade, 41, é transformado num substrato de Si poroso, 43, realizando, no seu lado contrário, uma anodização usando uma solução de HF. O Si monocristalino inicial, com a densidade de $2,33 \text{ g/cm}^3$, pode ser transformado num componente poroso cuja densidade pode variar dentro da zona de $1,1$ a $0,6 \text{ g/cm}^3$, situando a concentração de HF da solução de ataque entre 50% e 20%. Este componente poroso é formado num substrato de Si do tipo P ou do tipo N portador de alta densidade, como acima descrito.

Fazendo referência à Fig. 4(c), prepara-se um substrato transparente à luz, 44, normalmente uma chapa de vidro, como substrato isolante, e depois de oxidar a superfície da



camada monocristalina de Si sobre um substrato de Si poroso, ligado à superfície oxidada à temperatura ambiente ou por aquecimento, a um grau de adesão mútua com forças de Van der Waals ou até ao ponto em que as interfaces ligadas não se esfoliem devido à diferença entre os coeficientes de expansão térmica de ambos os componentes (ligação primária). Note-se que em vez do substrato transparente à luz, 34, pode ser usado um substrato com uma camada de óxido formada sobre a superfície do Si monocristalino. A força de ligação da ligação primária deve ser suficientemente forte para reter o estado da ligação primária, sem produzir esfoliações até à ligação secundária a ser executada mais tarde para completa ligação. Forma-se a camada de óxido, 45, sobre a superfície da camada monocristalina para reduzir o nível da interface da camada monocristalina 42 que é uma camada final activa.

Em seguida, aplica-se uma película anti-ataque, 46, sobre a superfície posterior do substrato de vidro transparente à luz, 44. Forma-se uma camada de Si_3N_4 por deposição como película anti-ataque cobrindo todo o componente completo constituído pelos dois substratos ligados entre si, e remove-se a camada de Si_3N_4 da superfície do substrato de Si poroso. É possível usar outros materiais tal como cera Apiezon, em vez de Si_3N_4 , como material da camada anti-ataque.

Então, como se ilustra na Fig. 4(d), o substrato de Si poroso 43 é inteiramente imerso em ácido fluorídrico, com agitação de forma a que só o Si poroso seja gravado por ataque químico húmido não eléctrico, pelo que uma camada delgada monocristalina de Si, 42, é deixada no substrato transparente à luz, 44.

Finalmente, com o tratamento térmico, a camada de Si/SiO₂ e o substrato transparente à luz, 44, são ligados completamente na ligação secundária.

Como a película fina e o substrato transparente à luz são ligados como acima se descreveu, a película fina é ligada em alinhamento com o substrato, de modo a ser possível evitar esfoliações e fracturas do substrato causadas pela diferença entre os seus coeficientes de expansão térmica.

A Fig. 4(e) mostra o substrato semiconductor obtido por esta concretização, onde uma camada monocristalina de Si, 42, com uma cristalinidade equivalente à de uma bolacha de silício se forma no substrato transparente à luz, 44, com um elevado grau de suavidade e uniformidade, e com uma pequena espessura, por sobre uma larga área cobrindo toda a superfície da bolacha. O substrato semiconductor assim obtido é vantajoso sob o ponto de vista de produção de um dispositivo electrónico isolado por isolamento.



As condições para a concentração da solução e a temperatura foram ajustadas na zona onde a velocidade de gravação do Si poroso e a proporção de selecção de gravação entre o Si poroso e o Si não poroso não têm efeito prático num processo de fabrico.

No método acima forma-se uma camada epitaxial antes de se obter uma estrutura porosa, e depois as regiões que não as da camada epitaxial são tornadas porosas selectivamente por anodização.

As concretizações 2-1 e 2-2 anteriores incluem camadas de óxido 35, 45 e películas anti-ataque 36, 46, mas podem ser realizadas sem elas, com os mesmos efeitos que o presente invento.

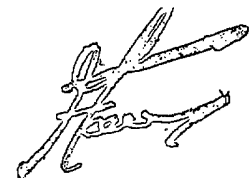
A velocidade de gravação depende da concentração da solução de ataque e da temperatura. A concentração da solução de ataque e a temperatura são adequadamente determinadas em zonas práticas. Nas concretizações 2-1 e 2-2, são usados o ácido fluorídrico a 49% e temperatura ambiente, mas o presente invento não está limitado a estas condições. Preferivelmente, a concentração do ácido fluorídrico é de 5 a 95%, e a temperatura é ajustada para um nível que é habitualmente adoptado.

(Concretização 3-1)

A gravação pode ser feita usando uma mistura líquida de ácido fluorídrico e álcool, em vez do ácido fluorídrico usado para uma solução de ataque nas concretizações 2-1 e 2-2. Neste caso, o Si poroso pode ser selectivamente gravado com elevado grau de eficiência e uniformidade, sem atacar o Si não poroso, como nas concretizações 2-1 e 2-2.

A Fig. 6 mostra que a espessura de ataque do Si poroso e do Si monocristalino depende do tempo como observado quando o Si poroso e o Si monocristalino são atacados por imersão na mistura líquida (10:1) de ácido fluorídrico a 49% e de álcool sem agitação do líquido.

O Si poroso foi formado por anodização do Si monocristalino. As condições de anodização estão indicadas abaixo. Deve notar-se, contudo, que a matéria-prima para produzir Si poroso por anodização não está limitada a Si monocristalino e pode ser usado Si de outras estruturas cristalinas como matéria-prima.



Voltagem aplicada:	2,6 (V)
Densidade de corrente:	30 (mA.cm ⁻²)
Solução de anodização:	HF:H ₂ O:C ₂ H ₅ OH = 1:1:1
Tempo:	2,4 horas
Espessura do Si poroso:	300 (µm)
Porosidade:	56 (%)

Peças de ensaio de Si poroso, preparadas como acima descrito, foram imersas, sem agitação, numa solução de mistura (10:1) de ácido fluorídrico a 49% e álcool (círculos brancos). A redução na espessura do Si poroso foi então medida. O Si poroso foi rapidamente atacado: nomeadamente, para uma camada de 85 µm em 40 minutos, e para mais 195 µm em 80 minutos, com elevado grau de qualidade e uniformidade de superfície. A velocidade da gravação depende da concentração da solução de ataque e da temperatura.

Peças de ensaio de Si não poroso com uma espessura de 500 µm foram imersas numa mistura líquida (10:1) de ácido fluorídrico a 49% e álcool (círculos negros) à temperatura ambiente e sem agitação. A redução na espessura do Si não poroso foi então medida. O Si não poroso foi apenas atacado até 5 nm (50 Å) ou menos depois de decorridos 120 minutos.

Em particular, a adição de álcool serve para retirar sem demora as bolhas de gases do produto de reacção resultantes da gravação da superfície a ser atacada, sem necessidade de agitação, assegurando assim uma alta eficiência e uniformidade da gravação.

As peças de ensaio gravadas de Si poroso e Si não poroso foram então passadas por água e as superfícies depois de passadas por água foram examinadas por micro análise usando iões secundários mas nenhuma impureza foi detectada.

As condições para a concentração da solução de ataque e temperatura foram ajustadas na zona onde a velocidade de gravação não tem efeito prático num processo de fabrico, e o álcool pode apresentar os seus efeitos. Ainda que sejam mencionadas a mistura da solução (10:1) de ácido fluorídrico e álcool etílico, bem como a temperatura ambiente como temperatura da solução, o presente invento não está limitado a estas condições.

A concentração de HF com respeito à solução da gravação encontra-se preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 5 e 90% e ainda com maior preferência entre 5 e 80%. A concentração do álcool com respeito à solução de gravação é preferivelmente 80% ou menos, mais preferivelmente 60% ou menos, e ainda com maior



preferência 40% ou menos, e é determinada de forma a produzir um efeito apreciável do álcool. A temperatura é ajustada na gama de preferivelmente 0 a 100° C, mais preferivelmente 5 a 80°C, e ainda com maior preferência de 5 a 60°C.

Ainda que tenha sido usado álcool etílico neste invento, podem ser usados como álcool outros álcoois como o álcool isopropílico, que não causa qualquer inconveniente na produção comercial e que pode proporcionar um efeito apreciável de adição deste álcool.

(Concretização 3-2)

A gravação pode ser feita usando uma mistura líquida de ácido fluorídrico e peróxido de hidrogénio, em vez do ácido fluorídrico usado na solução de gravação nas concretizações 2-1 e 2-2. Neste caso, o Si poroso pode ser selectivamente gravado com elevado grau de eficiência e uniformidade, sem atacar o Si não poroso, como nas concretizações 2-1 e 2-2.

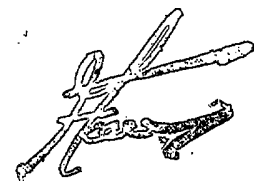
Será abaixo descrita a gravação selectiva de Si poroso com uma solução de mistura de ácido fluorídrico e peróxido de hidrogénio para uso nesta concretização.

A Fig. 7 mostra a dependência do tempo para gravar a espessura do Si poroso e do Si monocristalino como observado quando o Si poroso e o Si monocristalino são atacados por imersão numa mistura líquida (1:5) de ácido fluorídrico a 49% e de peróxido de hidrogénio a 30%, com agitação.

O Si poroso foi formado por anodização do Si monocristalino. As condições de anodização estão indicadas abaixo. Deve notar-se, contudo, que a matéria-prima para produzir Si poroso por anodização não está limitada ao Si monocristalino e pode ser usado Si de outras estruturas cristalinas como matéria-prima.

Voltagem aplicada:	2,6 (V)
Densidade de corrente:	30 (mA.cm ⁻²)
Solução de anodização:	HF:H ₂ O:C ₂ H ₅ OH = 1:1:1
Tempo:	2,4 horas
Espessura do Si poroso:	300 (µm)
Porosidade:	56 (%)

Peças de ensaio do Si poroso, preparadas como acima descrito, foram imersas sem agitação, na solução de mistura (1:5) de ácido fluorídrico a 49% e peróxido de hidrogénio a



30% (círculos brancos) à temperatura ambiente. A redução na espessura do Si poroso foi então medida. O Si poroso foi rapidamente gravado: nomeadamente, para uma espessura de camada de 112 μm em 40 minutos, e para mais 256 μm em 80 minutos, com um elevado grau de qualidade e uniformidade de superfície. A velocidade de gravação depende da concentração da solução de ataque e da temperatura.

Peças de ensaio de Si não poroso, com uma espessura de 500 μm , foram imersas na mistura líquida (1:5) de ácido fluorídrico a 49% e de peróxido de hidrogénio a 30% (círculos negros) à temperatura ambiente sob agitação. A redução da espessura do Si não poroso foi então medida. O Si não poroso foi apenas atacado até 5 nm (50Å) ou menos depois de decorridos 120 minutos.

Em especial, a adição de peróxido de hidrogénio serve para acelerar a oxidação do silício, fazendo intensificar a velocidade de reacção comparada com o caso em que se não adiciona peróxido de hidrogénio. Além disso, a velocidade de reacção pode ser controlada seleccionando adequadamente o teor do peróxido de hidrogénio.

As peças de ensaio gravadas de Si poroso e Si não poroso foram então passadas por água e as superfícies depois de enxaguadas foram examinadas por micro análise usando iões secundários mas não foram detectadas impurezas.

Ainda que a concentração da solução de peróxido de hidrogénio fosse aqui de 30%, pode ajustar-se para ficar dentro de limites que não prejudiquem o efeito da adição de peróxido de hidrogénio nem causem qualquer inconveniente prático na produção comercial.

A velocidade de gravação depende das concentrações das soluções de ácido fluorídrico e de peróxido de hidrogénio, bem como da temperatura. A adição de solução de peróxido de hidrogénio possibilita acelerar a oxidação do silício, e a velocidade de reacção quando se compara com o caso em que não é adicionada. Além disso, a velocidade de reacção pode ser controlada pela selecção adequada do teor do peróxido de hidrogénio.

As condições para a concentração da solução de gravação e para a temperatura podem ser ajustadas para cair dentro dos limites onde os efeitos do ácido fluorídrico e da solução de peróxido de hidrogénio se podem manifestar e onde a velocidade de gravação não provoque qualquer inconveniente prático na produção comercial. Ainda que a solução de mistura (1:5) de ácido fluorídrico a 49% e de peróxido de hidrogénio, bem como a temperatura ambiente como temperatura da solução, sejam mencionadas para exemplo, o



presente invento não está limitado a estas condições.

A concentração de HF relativa à solução de gravação de preferência varia entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 5 e 90%, e ainda com maior preferência entre 5 e 80%. A concentração de H_2O_2 relativa à solução de gravação fica preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 5 e 90%, e ainda com maior preferência entre 10 e 80%, e é determinada de modo a produzir um efeito apreciável do peróxido de hidrogénio. A temperatura é ajustada preferivelmente numa zona de 0 a $100^\circ C$, mais preferivelmente de 5 a $80^\circ C$, e ainda com maior preferência de 5 a $60^\circ C$.

(Concretização 3-3)

A gravação pode ser feita usando uma mistura líquida de ácido fluorídrico, álcool e peróxido de hidrogénio, em vez do ácido fluorídrico usado na solução de ataque nas concretizações 2-1 e 2-2. Neste caso, o Si poroso pode ser selectivamente gravado com elevado grau de eficiência e uniformidade, sem atacar o Si não poroso, tal como nas concretizações 2-1 e 2-2.

A gravação selectiva de Si poroso vai ser descrita abaixo com uma solução de mistura de ácido fluorídrico, álcool e peróxido de hidrogénio para uso nesta concretização.

A Fig. 8 mostra a dependência do tempo da espessura de gravação do Si poroso e do Si monocristalino como observado quando o Si poroso e o Si monocristalino são atacados por imersão numa mistura líquida (10:6:50) de ácido fluorídrico a 49%, álcool e peróxido de hidrogénio a 30%, sem agitação.

O Si poroso foi formado por anodização do Si monocristalino. As condições para a anodização estão indicadas abaixo. Deve notar-se, contudo, que a matéria-prima para produzir Si poroso por anodização não está limitada ao Si monocristalino e pode ser usado Si de outras estruturas cristalinas como matéria-prima.

Voltagem aplicada:	2,6 (V)
Densidade de corrente:	30 ($mA \cdot cm^{-2}$)
Solução de anodização:	HF:H ₂ O:C ₂ H ₅ OH = 1:1:1
Tempo:	2,4 horas
Espessura do Si:	300 (μm)
Porosidade:	56 (%)



Peças de ensaio de Si poroso, preparadas como descrito acima, foram imersas, sem agitação, na solução de mistura (10:6:5) de ácido fluorídrico a 49%, álcool e peróxido de hidrogénio a 30% (círculos brancos) à temperatura ambiente. A redução da espessura do Si poroso foi então medida. O Si poroso foi rapidamente gravado: nomeadamente, para uma camada com a espessura de 107 μm em 40 minutos, e para mais 244 μm em 80 minutos, com um elevado grau de qualidade e uniformidade de superfície. A velocidade de gravação depende da concentração da solução de gravação e da temperatura.

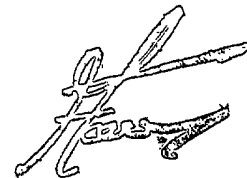
Peças para ensaio de Si não poroso com uma espessura de 500 μm foram imersas na mistura líquida (10:6:5) de ácido fluorídrico a 49%, álcool e peróxido de hidrogénio a 30% (círculos negros) à temperatura ambiente sem agitação. A redução na espessura do Si não poroso foi então medida. O Si não poroso foi apenas atacado até 5 nm (50 Å) ou menos depois de transcorrerem 120 minutos.

As peças de ensaio gravadas de Si poroso e Si não poroso foram então passadas por água e as superfícies após enxaguamento foram examinadas por micro análise usando iões secundários mas nenhuma impureza foram detectadas.

Ainda que a concentração da solução de peróxido de hidrogénio fosse aqui de 30%, pode ser ajustada para ficar dentro duma zona que não prejudique o efeito da adição do peróxido de hidrogénio nem provoque qualquer inconveniente prático na produção comercial.

A velocidade de gravação depende das concentrações da solução de ácido fluorídrico e peróxido de hidrogénio bem como da temperatura. A adição da solução de peróxido de hidrogénio torna possível acelerar a oxidação do silício, e a velocidade de reacção em comparação com o caso em que não é adicionado. Além disso, a velocidade da reacção pode ser controlada seleccionando adequadamente o teor de peróxido de hidrogénio. Em especial, a adição do álcool serve para remover da superfície a ser gravada as bolhas dos gases do produto da reacção resultantes da gravação, sem necessidade de agitação, assegurando assim uma alta eficiência e uniformidade de gravação para o Si poroso.

As condições de concentração da solução de gravação e da temperatura podem ser ajustadas para ficarem na zona em que se manifestam os efeitos do ácido fluorídrico, da solução de peróxido de hidrogénio e do álcool e em que a velocidade de gravação não provoque qualquer inconveniente prático na produção comercial. Ainda que a solução de mistura (10:6:5) de ácido fluorídrico a 49%, álcool etílico e peróxido de hidrogénio, bem



como a temperatura ambiente como temperatura da solução, sejam mencionadas como exemplo, o presente invento não está limitado a essas condições.

A concentração de HF relativa à solução de gravação encontra-se preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 5 e 90%, e ainda com maior preferência entre 5 e 80%. A concentração de H₂O₂ relativa à solução de gravação encontra-se preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 5 e 90%, e ainda com maior preferência entre 10 e 80%, e é determinada de modo a proporcionar um efeito apreciável do peróxido de hidrogénio. A concentração do álcool relativa à solução de gravação é preferivelmente 80% ou menos, mais preferivelmente de 60% ou menos, e ainda com maior preferência de 40% ou menos, e é determinada de forma a proporcionar um efeito apreciável do álcool. A temperatura é ajustada preferivelmente entre 0 a 100°C, mais preferivelmente entre 5 e 80°C, e ainda com maior preferência entre 5 e 60°C.

Ainda que tenha sido usado especificamente álcool etílico neste invento, podem ser usados outros álcoois como o álcool isopropílico, que não provoca qualquer inconveniente prático na produção comercial e que pode proporcionar um apreciável efeito de adição desse álcool.

(Concretização 3-4)

A gravação pode ser feita usando ácido fluorídrico tamponado, em vez do ácido fluorídrico usado como solução de ataque nas concretizações 2-1 e 2-2. Neste caso, o Si poroso pode ser selectivamente gravado com elevado grau de eficiência e uniformidade, sem atacar o Si não poroso, como nas concretizações 2-1 e 2-2.

A gravação selectiva do Si poroso vai ser descrita abaixo usando o ácido fluorídrico tamponado nesta concretização.

A Fig. 9 ilustra a dependência do tempo da espessura de gravação do Si poroso e do Si monocristalino como observado quando o Si poroso e o Si monocristalino são atacados por imersão em ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) sob agitação.

O Si poroso foi formado por anodização do Si monocristalino. As condições de anodização são indicadas abaixo. Deve notar-se, contudo, que a matéria-prima para produzir



Si poroso por anodização não está limitada ao Si monocristalino e pode ser usado Si de outra estrutura cristalina como matéria-prima.

Voltagem aplicada:	2,6 (V)
Densidade de corrente:	30 (mA.cm ⁻²)
Solução de anodização:	HF:H ₂ O:C ₂ H ₅ OH = 1:1:1
Tempo:	2,4 horas
Espessura do Si poroso:	300 (μm)
Porosidade:	56 (%)

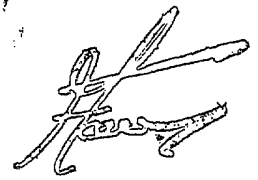
Peças de ensaio de Si poroso preparadas como acima descrito foram imersas, sem agitação, no ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) (círculos brancos) à temperatura ambiente. A redução da espessura do Si poroso foi então medida. O Si poroso foi rapidamente atacado: nomeadamente, para uma espessura de camada de 70 μm em 40 minutos, e para mais 118 μm em 120 minutos, com um elevado grau de qualidade e uniformidade da superfície. A velocidade de gravação depende da concentração da solução de ataque e da temperatura.

Peças de ensaio do Si não poroso com uma espessura de 500 μm foram imersas em ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) (círculos negros) à temperatura ambiente, sob agitação. A redução na espessura do Si não poroso foi então medida. O Si não poroso foi atacado apenas até 5 nm (50 Å) ou menos, depois de transcorridos 120 minutos.

Peças de ensaio de Si poroso e Si não poroso, gravadas, foram então enxaguadas e as superfícies depois do enxaguamento foram examinadas por microanálise usando iões secundários mas não foi detectada qualquer impureza.

O ácido fluorídrico tamponado é uma solução de mistura de fluoreto de amónio (NH₄F) a 36% e de fluoreto de hidrogénio a 4,5%.

A velocidade de gravação depende das concentrações da solução, bem como da temperatura. As condições de concentração da solução para gravação e de temperatura podem ser ajustadas para ficarem dentro de zonas onde não provoquem nenhum inconveniente prático na produção comercial. Ainda que o ácido fluorídrico tamponado contendo uma solução de fluoreto de amónio (NH₄F) a 36% e de fluoreto de hidrogénio (HF) a 4,5%, bem como a temperatura ambiente como temperatura da solução, sejam



mencionadas como exemplo, o presente invento não está limitado a estas condições.

A concentração do HF no ácido fluorídrico tamponado relativa à solução de gravação varia preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 1 e 85%, e ainda com maior preferência entre 1 e 70%. A concentração de NH_4F no ácido fluorídrico tamponado relativa à solução de gravação varia preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 5 e 90%, e ainda com maior preferência entre 5 e 80%. A temperatura é ajustada preferivelmente entre 0 e 100°C , mais preferivelmente entre 5 e 80°C , e ainda com maior preferência entre 5 e 60°C .

(Concretização 3-5)

A gravação pode ser feita usando uma solução de mistura de ácido fluorídrico tamponado e álcool, em vez do ácido fluorídrico usado para uma solução de gravação nas concretizações 2-1 e 2-2. Neste caso, o Si poroso pode ser selectivamente atacado com elevado grau de eficiência e uniformidade, sem atacar o Si não poroso, como nas concretizações 2-1 e 2-2.

A gravação selectiva do Si poroso será descrita abaixo usando nesta concretização a solução de mistura de ácido fluorídrico tamponado e álcool para uso nesta concretização.

A Fig. 10 mostra a dependência do tempo da espessura de gravação do Si poroso e do Si monocristalino como observado quando o Si poroso e o Si monocristalino são atacados por imersão na solução de mistura (10:1) de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) e álcool, sem agitação.

O Si poroso foi formado por anodização do Si monocristalino. As condições de anodização são indicadas abaixo. Deve, contudo, notar-se que a matéria-prima para produzir Si poroso por anodização não se limita ao Si monocristalino e pode ser usado Si de outra estrutura cristalina como matéria-prima.

Voltagem aplicada:	2,6 (V)
Densidade de corrente:	30 ($\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$)
Solução de anodização:	$\text{HF}:\text{H}_2\text{O}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 1:1:1$
Tempo:	2,4 horas
Espessura do Si poroso:	300 (μm)
Porosidade:	56 (%)



Peças de ensaio de Si poroso preparadas como acima descrito foram imersas, sem agitação, num solução de mistura (10:1) de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) e álcool (círculos brancos) à temperatura ambiente. A redução da espessura do Si poroso foi então medida. O Si poroso foi rapidamente atacado: nomeadamente, para uma espessura de camada de 83 μm em 40 minutos, e para mais 140 μm em 120 minutos, com elevado grau de qualidade e uniformidade de superfície. A velocidade de gravação depende da concentração da solução de gravação e da temperatura.

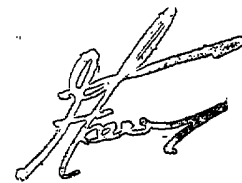
Peças de ensaio de Si não poroso com uma espessura de 500 μm foram imersos numa solução de mistura de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) e álcool (círculos negros) à temperatura ambiente sem agitação. A redução da espessura do Si não poroso foi então medida. O Si não poroso foi atacado apenas até 5 nm (50 Å) ou menos, depois de decorrerem 120 minutos.

As peças de ensaio gravadas de Si poroso e de Si não poroso foram então enxaguadas e as superfícies após enxaguamento foram examinadas por microanálise usando iões secundários, mas não foram detectadas quaisquer impurezas.

A velocidade de gravação depende das concentrações da solução do ácido fluorídrico tamponado, bem como da temperatura. A adição de álcool serve para remover sem demora bolhas de gases do produto da reacção resultantes da gravação da superfície que está a ser gravada, sem necessitar de agitação, assegurando assim uma alta eficiência e uniformidade da gravação do Si poroso.

As condições de concentração da solução de gravação e da temperatura podem ser ajustadas para a zona onde a velocidade de ataque não provoque nenhum inconveniente prático na produção comercial, com um apreciável efeito do álcool. Ainda que a solução de mistura (10:1) de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de fluoreto de hidrogénio a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) e álcool etílico, bem como a temperatura ambiente como temperatura da solução, sejam mencionadas como exemplo, o presente invento não está limitado a estas condições.

A concentração de HF no ácido fluorídrico tamponado relativa à solução de gravação varia preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 1 e 85%, e ainda com maior preferência entre 1 e 70%. A concentração do fluoreto de amónio (NH_4F) no ácido



fluorídrico tamponado relativa à solução de gravação varia preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 5 e 90%, e ainda com maior preferência entre 5 e 80%.

A concentração do álcool relativa à solução de gravação é preferivelmente 80% ou menos, mais preferivelmente 60% ou menos, e ainda com maior preferência 40% ou menos, e é determinada de forma a proporcionar um apreciável efeito do álcool.

A temperatura é ajustada preferivelmente entre 0 e 100°C, mais preferivelmente entre 5 e 80°C, e ainda com maior preferência entre 5 e 60°C.

Ainda que tenha sido especificamente usado álcool etílico neste invento, podem ser usados outros álcoois como o álcool isopropilo, que não provoca qualquer inconveniente na produção comercial e que pode proporcionar um apreciável efeito.

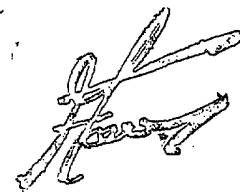
(Concretização 3-6)

A gravação pode ser feita usando uma solução de mistura de ácido fluorídrico tamponado e peróxido de hidrogénio, em vez do ácido fluorídrico usado como solução de gravação nas concretizações 2-1 e 2-2. Neste caso, o Si poroso pode ser selectivamente gravado com elevado grau de eficiência e uniformidade, sem atacar o Si não poroso, como nas concretizações 2-1 e 2-2.

A gravação selectiva do Si poroso vai ser descrita abaixo usando nesta concretização a solução de mistura de ácido fluorídrico tamponado e peróxido de hidrogénio.

A Fig. 11 mostra a dependência do tempo da espessura de gravação do Si poroso e do Si monocristalino como observado quando o Si poroso e o Si monocristalino são atacados por imersão na solução de mistura (1:5) de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) e peróxido de hidrogénio a 30%, sob agitação.

O Si poroso foi formado por anodização do Si monocristalino. As condições para a anodização estão indicadas abaixo. Deve contudo, notar-se que a matéria-prima para produzir Si poroso por anodização não está limitada ao Si monocristalino e pode ser usado Si de outra estrutura cristalina como matéria-prima.



Voltagem aplicada:	2,6 (V)
Densidade de corrente:	30 (mA.cm ⁻²)
Solução de anodização:	HF:H ₂ O:C ₂ H ₅ OH = 1:1:1
Tempo:	2.4 horas
Espessura do Si poroso:	300 (μm)
Porosidade:	56 (%)

Peças de ensaio do Si poroso preparado como descrito acima foram imersas, com agitação, na solução de mistura (1:5) de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e fluoreto de amónio a 36%) e peróxido de hidrogénio a 30% (círculos brancos) à temperatura ambiente. A redução da espessura do Si poroso foi então medida. O Si poroso foi rapidamente atacado: nomeadamente, para uma camada com a espessura de 88 μm em 40 minutos, e para mais 147 μm em 120 minutos, com elevado grau de qualidade e uniformidade de superfície. A velocidade de gravação depende da concentração da solução de gravação e da temperatura.

Peças de ensaio de Si não poroso com uma espessura de 500 μm foram imersas na solução de mistura (1:5) de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) e peróxido de hidrogénio a 30% (círculos negros) à temperatura ambiente e sob agitação. A redução da espessura do Si não poroso foi então medida. O Si não poroso foi atacado apenas até 5 nm (50 Å) ou menos depois de decorridos 120 minutos.

As peças de ensaio gravadas de Si poroso e de Si não poroso foram então enxaguadas e as superfícies depois do enxaguamento foram examinadas por microanálise usando iões secundários mas não foram encontradas quaisquer impurezas.

Ainda que a concentração da solução de peróxido de hidrogénio fosse aqui de 30%, pode ser ajustada para valores que proporcionem um apreciável efeito da adição de peróxido de hidrogénio e que não tenham inconveniente prático na produção comercial.

A velocidade de gravação depende das concentrações da solução de ácido fluorídrico tamponado e de peróxido de hidrogénio, bem como da temperatura. A adição da solução de peróxido de hidrogénio torna possível acelerar a oxidação do silício e a velocidade de reacção, quando se compara com o caso em que não é adicionada. Além disso, a velocidade de reacção pode ser controlada seleccionando adequadamente o teor do peróxido de hidrogénio .



As condições de concentração da solução de gravação e da temperatura podem ser ajustadas para ficarem dentro das zonas em que proporcionem um efeito apreciável do ácido fluorídrico tamponado e do peróxido de hidrogénio e a velocidade de gravação não provoque inconveniente prático na produção comercial. Ainda que a solução de mistura (1:5) de ácido fluorídrico tamponado e de peróxido de hidrogénio, bem como a temperatura ambiente como temperatura da solução, sejam mencionadas como exemplo, o presente invento não é limitado a estas condições.

A concentração do HF no ácido fluorídrico tamponado relativa à solução de gravação varia preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 1 e 85%, e ainda com maior preferência entre 1 e 70%.

A concentração de H_2O_2 relativa à solução de gravação varia preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 5 e 90%. e ainda com maior preferência entre 5 e 80% e é determinada de modo a proporcionar um efeito apreciável do peróxido de hidrogénio.

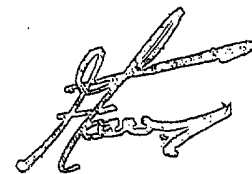
A temperatura é ajustada preferivelmente entre 0 e 100°C, mais preferivelmente entre 5 e 80°C, e ainda com maior preferência entre 5 e 60°C.

(Concretização 3-7)

A gravação pode ser efectuada usando uma solução de mistura de ácido fluorídrico tamponado, álcool e peróxido de hidrogénio, em vez do ácido fluorídrico usado na solução de gravação das concretizações 2-1 e 2-2. Neste caso, o Si poroso pode ser selectivamente atacado com elevado grau de eficiência e uniformidade, sem atacar o Si não poroso, como nas concretizações 2-1 e 2-2.

A gravação selectiva do Si poroso será descrita abaixo usando nesta concretização a solução de mistura de ácido fluorídrico tamponado, álcool e peróxido de hidrogénio.

A Fig. 12 mostra a dependência do tempo da espessura de gravação do Si poroso e do Si monocristalino, como observado quando o Si poroso e o Si monocristalino são atacados por imersão na solução de mistura (10:6:50) de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%), álcool e peróxido de hidrogénio a 30%, sem agitação.



O Si poroso formou-se por anodização do Si monocristalino. As condições para a anodização estão indicadas abaixo. Deve notar-se, contudo, que a matéria-prima para produzir o Si poroso por anodização não está limitado ao Si monocristalino e pode ser usado Si de outras estruturas cristalinas como matéria-prima.

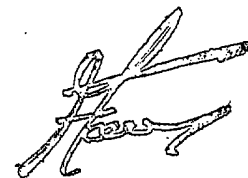
Voltagem aplicada:	2,6 (V)
Densidade de corrente:	30 (mA.cm ⁻²)
Solução de anodização:	HF:H ₂ O:C ₂ H ₅ OH = 1:1:1
Tempo:	2,4 horas
Espessura do Si poroso:	300 (µm)
Porosidade:	56 (%)

Peças de ensaio de Si poroso, preparado como descrito acima, foram imersas, sem agitação, na solução de mistura (10:6:50) de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%), álcool e peróxido de hidrogénio a 30% (círculos brancos) à temperatura ambiente. A redução da espessura do Si poroso foi então medida. O Si poroso foi rapidamente atacado: nomeadamente, para uma camada com a espessura de 83 µm em 40 minutos, e para mais 140 µm em 120 minutos, com elevado grau de qualidade e uniformidade de superfície. A velocidade de gravação depende da concentração da solução de gravação e da temperatura.

Peças de ensaio de Si não poroso com uma espessura de 500 µm foram imersas na solução de mistura (10:6:50) de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%), álcool e peróxido de hidrogénio (círculos negros) à temperatura ambiente sem agitação. A redução da espessura do Si não poroso foi então medida. O Si não poroso foi atacado apenas até 5 nm (50 Å) ou menos, depois de transcorridos 120 minutos.

As peças de ensaio gravadas de Si poroso e Si não poroso foram então enxaguadas e as superfícies depois do enxaguamento foram examinadas por microanálise usando iões secundários, mas não foi detectada qualquer impureza.

Ainda que a concentração da solução de peróxido de hidrogénio fosse aqui 30%, pode ser ajustada para uma zona em que proporcione um efeito apreciável da adição de peróxido de hidrogénio e que não tenha qualquer inconveniente prático na produção comercial.



A velocidade de gravação depende da concentração da solução de ácido fluorídrico e peróxido de hidrogénio, bem como da temperatura. A adição da solução de peróxido de hidrogénio torna possível acelerar a oxidação do silício, e a velocidade de reacção quando comparada com o caso em que não foi adicionada. Além disso, a velocidade de reacção pode ser controlada seleccionando adequadamente o teor do peróxido de hidrogénio.

A adição do álcool serve para remover sem demora, da superfície que está a ser gravada, bolhas produzidas pelos gases resultantes do produto da reacção, sem necessitar de agitação, assegurando assim uma elevada eficiência e uniformidade de gravação do Si poroso.

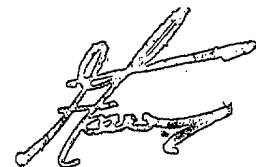
As condições de concentração da solução de gravação e de temperatura podem ser ajustadas para uma zona em que podem proporcionar um efeito apreciável do ácido fluorídrico tamponado, do peróxido de hidrogénio e do álcool, e em que a velocidade de gravação não provoque nenhum inconveniente prático na produção comercial. Ainda que a solução de mistura (10:6:50) de ácido fluorídrico tamponado, álcool etílico e peróxido de hidrogénio, bem como a temperatura ambiente como temperatura da solução, sejam mencionadas como exemplo, o presente invento não se limita a estas condições.

A concentração de HF no ácido fluorídrico tamponado relativa à solução de gravação varia preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 5 e 90%, e ainda com maior preferência entre 5 e 80%. A concentração de H_2O_2 relativa à solução de gravação varia preferivelmente entre 1 e 95%, mais preferivelmente entre 5 e 90%, e ainda com maior preferência entre 10 e 80%, e é determinada para proporcionar um apreciável efeito do peróxido de hidrogénio.

A concentração do álcool relativa à solução de gravação é preferivelmente 80% ou menos, mais preferivelmente 60% ou menos, e ainda com maior preferência 40% ou menos, e é determinada para proporcionar um apreciável efeito do álcool.

A temperatura é ajustada preferivelmente entre 0 e 100°C, mais preferivelmente entre 5 e 80°C, e ainda com maior preferência entre 5 e 60°C.

Ainda que o álcool etílico tenha sido especificamente usado neste invento, podem usar-se como álcool outros álcoois, como o álcool isopropílico que não causa qualquer inconveniente na produção comercial e que pode proporcionar um apreciável efeito de adição.



Os exemplos específicos do presente invento vão ser descritos em detalhe abaixo, mas o presente invento não está limitado a esses exemplos.

(Exemplo 1) (Exemplo sem formação de uma camada de óxido)

Este exemplo vai ser explicado de acordo com o processo da Fig. 1.

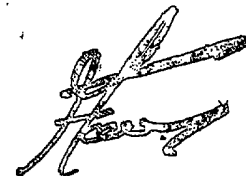
Primeiro, a anodização foi executada num substrato de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N (100) com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de 0,01 $\Omega\cdot\text{cm}$ numa solução de HF a 50%. Nessa altura, a densidade de corrente era de 100 mA/cm^2 . Também, a velocidade de formação da estrutura porosa foi de 8,4 $\mu\text{m}/\text{min}$, e portanto levou vinte e quatro minutos para o substrato (100) de Si com uma espessura de 200 μm se tornar inteiramente poroso (Fig. (1a)).

Uma camada epitaxial de Si, 13, com 0,5 μm de espessura e de 0,063 $\Omega\cdot\text{cm}$ foi desenvolvida a baixa temperatura no substrato de Si poroso (100) pelo método MBE (Epitaxia de Feixe Molecular). A deposição foi conduzida nas seguintes condições (Fig.1(b)).

Temperatura:	700°C
Pressão:	$1,33 \times 10^{-7}$ Pa (1×10^{-9} Torr)
Velocidade de desenvolvimento:	0,1 nm/seg.

A seguir, foi colocado um substrato 14 de vidro de sílica fundida polido opticamente sobre a superfície desta camada epitaxial e ligado a ela (Fig. 1(c)),

A velocidade de gravação do Si monocristalino com uma resistência específica de 0,01 $\Omega\cdot\text{cm}$ por uma solução ácida fluorídrico-nitroacética (ácido fluorídrico a 49% : ácido nítrico a 70% : ácido acético a 99,5% = 1:3:8) é de cerca de 1 μm ou menos por minuto, mas o Si monocristalino 13 de 0,063 $\Omega\cdot\text{cm}$ quase não pode ser gravado nesta solução de gravação. A velocidade de gravação da camada porosa é aumentada cerca de 100 vezes, como previamente descrito. Assim, o substrato de Si poroso com uma espessura de 200 μm foi removido em 2 minutos tendo como resultado a camada de Si monocristalino 13 com uma espessura de 0,5 μm permanecer sobre o substrato 14 de vidro de sílica fundida. Não houve mudança na camada epitaxial 13. A superfície posterior do substrato de vidro de sílica



fundida 14 foi gravado a $0,1\mu\text{m}$, mas a sua superfície anterior não apresente qualquer diferença da sua face original com polimento óptico (Fig. 1(d)).

Depois, a camada em película fina SOI 13 e o substrato 14 de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (Fig. 1(e)).

Observando um corte com microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tenham sido recentemente introduzidos nenhuns defeitos nos cristais da camada de Si, e se mantinha uma cristalinidade excelente.

(Exemplo 2)

Primeiro, realizou-se uma anodização num substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N, com uma espessura de $200\mu\text{m}$ e uma resistência específica de $0,01\Omega\cdot\text{cm}$ numa solução de HF a 50%. Nesta altura, a densidade de corrente era de $100\text{mA}/\text{cm}^2$. A velocidade de formação da estrutura porosa foi de $8,4\mu\text{m}/\text{min}$ e portanto decorreram vinte e quatro minutos para que o substrato de Si (100) com uma espessura de $200\mu\text{m}$ se tornasse inteiramente poroso. (Fig. 1(a)).

Uma camada epitaxial de Si, 13, com uma espessura de $0,5\mu\text{m}$ e $0,063\Omega\cdot\text{cm}$ de resistência específica, foi desenvolvida a baixa temperatura sobre o substrato (100) de Si poroso pelo método MBE (Epitaxia por Feixe Molecular). A deposição realizou-se nas seguintes condições (Fig. 1 (b)).

Temperatura:	700°C
Pressão:	$1,33 \times 10^{-7}\text{ Pa}$ ($1 \times 10^{-9}\text{ Torr}$)
Velocidade de desenvolvimento:	$0,1\text{ nm}/\text{sec}$

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada e depois foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida opticamente polido, 14, sobre a superfície da película oxidada, e a ela ligado (Fig. 1(c)).

A velocidade de gravação do Si monocristalino com uma resistência específica de $0,01\Omega\cdot\text{cm}$, por uma solução ácida fluorídrico-nitroacética (ácido fluorídrico a 49% : ácido nítrico a 70% : ácido acético a 99,5% = 1:3:8), é de cerca de $1\mu\text{m}$ ou menos por minuto, mas



o Si monocristalino 13 de $0,063 \Omega \cdot \text{cm}$ de resistência específica só é dificilmente atacado por esta solução de gravação. A velocidade de gravação da camada porosa é aumentada em cerca de 100 vezes, como anteriormente se descreveu. Assim, o substrato de Si poroso com uma espessura de $200 \mu\text{m}$ foi removido em 2 minutos, resultando que a camada de Si monocristalino com uma espessura de $0,5 \mu\text{m}$ permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida, 14. Não houve alteração da camada epitaxial 13. A superfície posterior do substrato de vidro de sílica fundida 14 foi atacada até $0,1 \mu\text{m}$, mas a sua superfície anterior não apresentou qualquer diferença da sua face original opticamente polida (Fig. 1(d)).

Depois, a camada em película fina SOI, 13, e o substrato de vidro de sílica fundida, 14, foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 hora em atmosfera de oxigénio (Fig. 1(e)).

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tinham sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

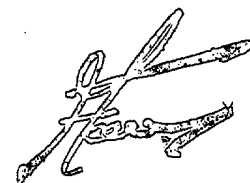
(Exemplo 3)

Este exemplo foi realizado de acordo com um processo da Fig. 1.

Primeiro, realizou-se uma anodização num substrato monocristalino de Si do tipo P ou do tipo N portador de alta densidade com uma espessura de $200 \mu\text{m}$ numa solução de HF a 50%. Nesta altura, a densidade de corrente era de 100 mA/cm^2 . Também, a velocidade de formação da estrutura porosa foi de $8,4 \mu\text{m/min}$ e portanto foram necessários vinte e quatro minutos para o substrato (100) de Si com uma espessura de $200 \mu\text{m}$ se tornar inteiramente poroso (Fig. 1(a)).

Desenvolveu-se uma camada epitaxial de Si com a espessura de $0,5 \mu\text{m}$, a baixa temperatura, sobre o substrato de Si poroso (100) com o método CVD de plasma. A deposição foi executada sob as seguintes condições (Fig. 1 (b)).

Gás:	SiH_4
Potência de alta frequência:	100 W
Temperatura:	800°C
Pressão:	$1,33 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ ($1 \times 10^{-9} \text{ Torr}$)
Velocidade de desenvolvimento:	2,5 nm/seg.



A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada, e depois foi colocado um substrato de vidro com polimento óptico com um ponto de amolecimento de cerca de 500°C sobre a superfície da película oxidada, e a ela ligado (Fig. 1(c)).

A velocidade de gravação do Si monocristalino normal com uma solução de KOH 6M é de cerca de 1µm ou menos por minuto, mas a velocidade de gravação da camada porosa é aumentada cerca de 100 vezes, como previamente descrito. Assim, o substrato de Si poroso com 200 µm de espessura foi removido em 2 minutos resultando que a camada de Si monocristalino de 0,5 µm de espessura permaneceu sobre o substrato de vidro com um ponto de amolecimento baixo. Não houve alteração na camada epitaxial. (Fig. 1(d)).

Então, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro possuindo um baixo ponto de amolecimento foram firmemente ligados por aquecimento a 450°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (Fig. 1 (e)).

Observando a secção transversal com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido introduzidos recentemente defeitos na camada de Si, tendo-se mantido uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 4)

Primeiro, realizou-se uma anodização no substrato de Si monocristalino do tipo P ou tipo N portador de alta densidade (100) com uma espessura de 200 µm numa solução de HF a 50%. Nesta altura, a densidade de corrente era de 100 mA/cm². Também, a velocidade de formação da estrutura porosa era de 8,4 µm/min e assim foram necessários vinte e quatro minutos para o substrato (100) de Si com uma espessura de 200 µm se tornar completamente poroso (Fig. 1(a)).

Desenvolveu-se uma camada epitaxial de Si com 1µm de espessura a baixa temperatura sobre o substrato de Si poroso (100) pelo método de tendência para dispersão. A deposição foi conduzida nas seguintes condições (Fig. 1(b)):

Frequência RF:	100 Mhz
Potência a alta frequência:	600 W
Temperatura:	300°C
Pressão do gás Ar:	1,06 Pa (8x10 ⁻³ Torr)



Tempo de desenvolvimento: 60 min.
Voltagem em c.c. para o alvo: -200 V
Voltagem em c.c. para o substrato: +5 V

A seguir, oxidou-se a superfície desta camada epitaxial, e depois foi colocado um substrato de vidro com polimento óptico com um ponto de amaciamento de cerca de 500°C sobre a superfície da película oxidada, e a ela ligado (Fig. 1(c)).

A velocidade de gravação do Si monocristalino normal, com uma solução de NaOH 7M, é de cerca de 1 μm ou menos por minuto, mas a velocidade de gravação da camada porosa é aumentada cerca de 100 vezes, como previamente descrito. Assim, o substrato de Si poroso com a espessura de 200 μm foi removido em 2 minutos resultando que uma camada de Si monocristalino de 1 μm de espessura permaneceu sobre o substrato de vidro com um ponto de amolecimento baixo. Não houve alteração da camada epitaxial (Fig. 1 (d)).

Então, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro que tem um ponto de amolecimento baixo foram firmemente ligados por aquecimento a 450°C durante 0,5 hora numa atmosfera de oxigénio (Fig. 1(e)).

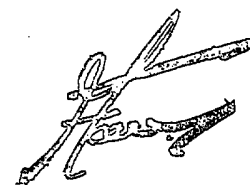
Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido introduzidos novos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se mantivera uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 5)

Este exemplo foi também executado de acordo com o processo da Fig. 1.

A anodização foi executada num substrato de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N (100) com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de 0,01 $\Omega\cdot\text{cm}$ numa solução de HF a 50%. Nesta altura, a densidade de corrente era de 100 mA/cm^2 . Também, a velocidade de formação da estrutura porosa foi de 8,4 $\mu\text{m}/\text{min}$ e assim decorreram vinte e quatro minutos até o substrato (100) de Si com uma espessura de 200 μm se tornar inteiramente poroso.

Desenvolveu-se uma camada epitaxial de Si, 13, com uma espessura de 0,5 μm e 0,063 $\Omega\cdot\text{cm}$, a baixa temperatura, sobre o substrato de Si poroso (100) pelo método de desenvolvimento em fase líquida.



A deposição foi conduzida nas seguintes condições:

Solvente:	Sn
Temperatura de desenvolvimento:	900°C
Atmosfera de desenvolvimento:	H ₂
Tempo de desenvolvimento:	10 min.

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada, e foi então colocado um substrato de vidro com polimento óptico com um ponto de amolecimento de cerca de 800°C sobre a superfície da película oxidada, e a ela ligado.

A velocidade de gravação do Si monocristalino com uma resistência específica de 0,01 Ω .cm com uma solução ácida fluorídrico-nitroacético (ácido fluorídrico a 49% : ácido nítrico a 70% : ácido acético a 99,5% = 1:3:8) é de cerca de 1 μ m ou menos por minuto, mas o Si monocristalino, 13, de 0,063 Ω .cm quase não pode ser gravado nesta solução de gravação. A velocidade de gravação da camada porosa é aumentada para cerca de 100 vezes mais como previamente descrito. Assim, o substrato de Si poroso com uma espessura de 200 μ m foi removido em 2 minutos, resultando que a camada de Si monocristalino, 13, com uma espessura de 0,5 μ m, permaneceu sobre o substrato de vidro. Não houve alteração na camada epitaxial. A superfície posterior do substrato de vidro de sílica fundida foi atacada 0,1 μ m, mas a sua superfície anterior não apresentou nenhuma diferença da sua face original com polimento óptico.

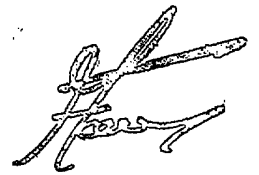
Então, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro foram firmemente ligados aquecendo-os a 750°C durante 0,5 hora numa atmosfera de oxigénio.

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que nenhuns defeitos haviam sido então introduzidos na camada de Si, tendo-se mantido uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 6)

Este exemplo foi também executado de acordo com um processo da Fig. 1.

A anodização foi conduzida num substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N com uma espessura de 200 μ m numa solução de HF a 50%. Nesta altura, a densidade de corrente era de 100 mA/cm². Também, a velocidade de formação da estrutura



porosa foi de 8,4 $\mu\text{m}/\text{min}$ e portanto foram necessários vinte e quatro minutos para o substrato (100) de Si com uma espessura de 200 μm se tornar inteiramente poroso.

Desenvolveu-se uma camada epitaxial de Si. de 0,5 μm de espessura, a baixa temperatura, sobre o substrato (100) de Si poroso pelo método CVD de baixa pressão. A deposição realizou-se nas seguintes condições.

Gás de alimentação:	SiH_4
Gás portador:	H_2
Temperatura:	850°C
Pressão:	1,33 Pa (1×10^{-2} Torr)
Velocidade de desenvolvimento:	3,3 nm/seg.

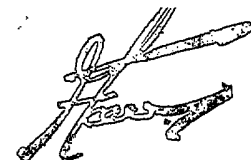
A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada e depois foi colocado, sobre a superfície da película oxidada, um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico a ela ligado.

A velocidade de gravação do Si monocristalino normal com uma solução ácida de ácido fluorídrico-nítrico (ácido fluorídrico a 40% : ácido nítrico a 65% : água = 6:100:40) é de cerca de 0,5 μm ou menos por minuto. A velocidade de gravação da camada porosa é aumentada cerca de 100 vezes, como previamente descrito. Assim, o substrato de Si poroso com uma espessura de 200 μm foi removido em 4 minutos resultando que a camada monocristalina de Si com uma espessura de 0,5 μm permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida. Não houve alteração na camada epitaxial. A superfície posterior do substrato de vidro de sílica fundida quase não foi atacada mas a sua superfície anterior não apresentava qualquer diferença da sua face original polida opticamente.

Quando SiH_2Cl_2 era o gás de alimentação, mantiveram-se as características de gravação a alta velocidade específicas do substrato poroso, ainda que a temperatura de desenvolvimento tivesse que ser elevada várias dezenas de graus.

Então, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C por 0,5 hora numa atmosfera de azoto.

Observando um corte transversal com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tinham sido recentemente introduzidos quaisquer defeitos nos cristais da camada de Si e que se mantinha uma excelente cristalinidade.



(Exemplo 7) (Exemplo em que se não forma uma camada de óxido)

Este exemplo foi também executado de acordo com um processo da Fig. 2.

Primeiro desenvolveu-se uma camada epitaxial de Si com a espessura de $1,0 \mu\text{m}$ sobre um substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N com uma espessura de $200 \mu\text{m}$ e uma resistência específica de $0,01 \Omega\cdot\text{cm}$ pelo método CVD. A deposição foi executada sob as seguintes condições:

Caudal do gás reactivo:	SiH ₂ Cl ₂ 1000 SCCM
	H ₂ 230 litros/min
Temperatura:	1080°C
Pressão:	$1,01 \times 10^5$ Pa (760 Torr)
Tempo:	2 min

A anodização foi executada neste substrato numa solução de HF a 50%. Nesta altura, a densidade de corrente era de 100 mA/cm^2 . A velocidade de formação da estrutura porosa foi de $8,4 \mu\text{m/min}$ e assim foram necessários vinte e quatro minutos para o substrato (100) de Si com uma espessura de $200 \mu\text{m}$ se tornar inteiramente poroso. Esta anodização tornou poroso o substrato (100) de Si, e não houve alteração na camada epitaxial de Si (Fig. 2(b)).

Depois foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida opticamente polido sobre a superfície da camada epitaxial e a ela ligado (Fig. 2(c)).

A velocidade de gravação do Si monocristalino com uma resistência específica de $0,01 \Omega\cdot\text{cm}$ numa solução de ácidos fluorídrico, nítrico e acético (ácido fluorídrico a 40% : ácido nítrico a 65% : ácido acético a 99,5% = 1:3:8) é de cerca de $1 \mu\text{m}$ ou menos por minuto, mas o Si monocristalino de $0,063 \Omega\cdot\text{cm}$ não é praticamente atacado com esta solução de gravação. A velocidade de gravação da camada porosa aumenta cerca de 100 vezes, como descrito anteriormente. Assim, o substrato de Si poroso com uma espessura de $200 \mu\text{m}$ foi removido em 2 minutos resultando que uma camada de Si monocristalino, com uma espessura de $1 \mu\text{m}$, permaneceu no substrato de vidro de sílica fundida. Não houve alteração na camada epitaxial. A superfície posterior do substrato de vidro de sílica fundida foi gravada até $0,1 \mu\text{m}$, mas a sua superfície anterior não apresentou qualquer diferença da sua face original com polimento óptico (Fig. 2(d)).



Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 hora numa atmosfera de oxigénio (Fig. 2 (e)).

Observando um corte transversal com um microscópio electrónico de transmissão, confirma-se que não foram introduzidos na camada de Si nenhuns defeitos nos cristais, tendo-se mantido uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 8)

Primeiro, uma camada epitaxial de Si com 1,0 μm de espessura foi desenvolvida sobre um substrato (100) de Si monocristalino tipo P ou tipo N com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de 0,01 $\Omega\cdot\text{cm}$ pelo método CVD. A deposição foi executada nas seguintes condições:

Caudal de gás reactivo:	SiH ₂ Cl ₂ 1000 SCCM H ₂ 230 litros/min PH ₃ (500 ppm) 72 SCCM
Temperatura:	1080°C
Pressão:	1,06x10 ⁴ Pa (80 Torr)
Tempo:	2 min

A anodização foi executada neste substrato numa solução de HF a 50%. Nesta altura a densidade de corrente era de 100 mA/cm². A velocidade de formação da estrutura porosa foi de 8,4 $\mu\text{m}/\text{min}$ e assim foram necessários vinte e quatro minutos para o substrato (100) de Si, com uma espessura de 200 μm , se tornar inteiramente poroso. Como acima mencionado, esta anodização apenas tornou poroso o substrato (100) de Si, e não houve alteração na camada epitaxial de Si (Fig. 2(b)).

A seguir, a superfície dessa camada epitaxial foi oxidada, e então um substrato de vidro de sílica fundida opticamente polido foi colocado sobre a superfície da película de óxido, e a ela ligado (Fig. 2(c)).

A velocidade de gravação do Si monocristalino, com uma resistência específica de 0,01 $\Omega\cdot\text{cm}$ por uma solução de ácidos fluorídrico, nítrico e acético (ácido fluorídrico a 49% : ácido nítrico a 70% : ácido acético a 99,5% = 1:3:8) é de cerca de 1 μm ou menos por minuto, mas o Si monocristalino de 0,063 $\Omega\cdot\text{cm}$ é dificilmente atacado nesta solução de



gravação. A velocidade de gravação da camada porosa é aumentada para cerca de 100 vezes, como previamente descrito. Assim, o substrato de Si poroso com uma espessura de 200 μm foi removido em 2 minutos, resultando que a camada de Si monocristalino, com uma espessura de 1 μm , permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida. Não houve alteração da camada epitaxial. A superfície posterior do substrato de vidro de sílica fundida foi gravada a 0,1 μm , mas a sua superfície anterior não apresentava qualquer diferença da sua face original opticamente polida (Fig. 2(d)).

Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (Fig. 2(e)).

Observando um corte transversal com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido introduzidos defeitos na camada de Si, e se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 9)

Este exemplo foi também executado de acordo com o processo da Fig.2.

Primeiro, uma camada epitaxial de Si, com 0,5 μm de espessura, foi desenvolvida sobre um substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N de alta densidade com uma espessura de 200 μm pelo método CVD. A deposição foi executada nas seguintes condições:

Caudal de gás reactivo:	SiH ₂ Cl ₂ 1000 SCCM H ₂ 230 litros/min PH ₃ (500 ppm) 72 SCCM
Temperatura:	1080°C
Pressão:	1,06x10 ⁴ Pa (80 Torr)
Tempo:	2 min

A anodização foi executada neste substrato numa solução de HF a 50%. Nesta altura, a densidade de corrente era 100 mA/cm². A velocidade de formação da estrutura porosa foi de 8,4 $\mu\text{m}/\text{min}$ e portanto foram necessários vinte e quatro minutos para o substrato (100) de Si, com uma espessura de 200 μm , se tornar completamente poroso. Como acima se mencionou, esta anodização apenas tornou poroso o substrato (100) de Si e não houve



alteração na camada epitaxial de Si.

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada, e depois foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida opticamente polido sobre a superfície da película de óxido, e a ela ligado.

A velocidade de gravação do Si monocristalino normal com uma solução dos ácidos fluorídrico e nítrico (ácido fluorídrico a 40% : ácido nítrico a 65% : água = 6:100:40) é de cerca de 0,5 μm ou menos por minuto. A velocidade de gravação da camada porosa é aumentada cerca de 100 vezes, como previamente descrito. Assim, o substrato poroso com uma espessura de 200 μm foi removido em 4 minutos, resultando que uma camada monocristalina de Si, com uma espessura de 0,5 μm , permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida. Não houve alteração na camada epitaxial. A superfície posterior do substrato de vidro de sílica fundida quase não foi atacada mas a superfície anterior não apresentou qualquer diferença da sua face original opticamente polida.

A seguir, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de azoto.

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se não terem sido introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e ter-se mantido uma excelente cristalinidade.

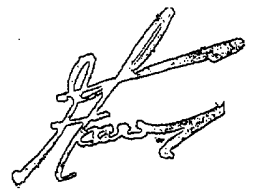
(Exemplo 10)

Este exemplo foi também executado de acordo com um processo da Fig. 2.

Uma camada epitaxial de Si, com a espessura de 0,5 μm , foi desenvolvida sobre um substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N portador de alta densidade e com a espessura de 200 μm , pelo método MBE. A deposição foi conduzida nas seguintes condições:

Temperatura:	700°C
Pressão:	$1,33 \times 10^{-7}$ Pa (1×10^{-9} Torr)
Velocidade de desenvolvimento:	0,1 nm/seg

A anodização foi executada neste substrato numa solução de HF a 50%. Nesta altura,



a densidade de corrente era 100 mA/cm^2 . A velocidade de formação da estrutura porosa foi de $8,4 \text{ } \mu\text{m/min}$ e assim foram necessários vinte e quatro minutos para que o substrato (100) de Si, com uma espessura de $200 \text{ } \mu\text{m}$, se tornasse totalmente poroso. Como acima mencionado, esta anodização apenas tornou poroso o substrato (100) de Si e não houve alteração na camada epitaxial de Si.

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada, e então um substrato de vidro com polimento óptico com um ponto de amolecimento de cerca de 800°C foi colocado sobre a superfície da película de óxido, e posto em contacto com ela.

A velocidade de gravação do Si monocristalino normal com uma solução de ácidos fluorídrico e nítrico (ácido fluorídrico a 40% : ácido nítrico a 65% : água = 6:100:40) é de cerca de $0,5 \text{ } \mu\text{m}$ ou menos por minuto. A velocidade de gravação da camada porosa é aumentada 100 vezes como previamente descrito. Assim, o substrato de Si poroso, com uma espessura de $200 \text{ } \mu\text{m}$, foi removido em 4 minutos resultando que uma camada de Si monocristalino, com uma espessura de $0,5 \text{ } \mu\text{m}$, se manteve sobre o substrato de vidro de sílica fundida. Não houve alteração na camada epitaxial. A superfície posterior do substrato de vidro quase não foi atacada mas a sua superfície anterior não mostrou qualquer diferença da face original opticamente polida.

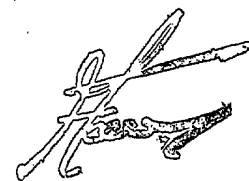
Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro foram firmemente ligados aquecendo-os a 750°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio.

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tinham sido recentemente introduzidos nenhuns defeitos nos cristais da camada de Si, e que se manteve excelente cristalinidade.

(Exemplo 11)

Este exemplo foi executado de acordo com um processo da Fig. 1.

Formou-se uma camada de Si do tipo N com $1 \text{ } \mu\text{m}$ de espessura sobre a superfície de um substrato (100) de Si monocristalino do tipo P, com uma espessura de $200 \text{ } \mu\text{m}$ e uma resistência específica de $0,01 \text{ } \Omega\cdot\text{cm}$, por implantação de protões. A velocidade de implantação de H^+ foi de $5 \times 10^{15} \text{ (iões/cm}^2\text{)}$. A anodização foi executada neste substrato numa solução de HF a 50%. Nesta altura, a densidade de corrente era de 100 mA/cm^2 . A velocidade de formação da estrutura porosa foi de $8,4 \text{ } \mu\text{m/min}$ e portanto foram necessários



vinte e quatro minutos para o substrato (100) de Si do tipo P, com uma espessura de 200 μm , se tornar inteiramente poroso. Como se menciona acima, esta anodização apenas tornou poroso o substrato (100) de Si do tipo P, e não houve alteração na camada de Si do tipo N.

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada, e então foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico sobre a superfície da película de óxido e a ela ligado.

A velocidade de gravação do Si monocristalino com uma resistência específica de 0,01 $\Omega\cdot\text{cm}$ por uma solução de ácido fluorídrico e ácido nítrico (ácido fluorídrico a 49% : ácido nítrico a 70% : ácido acético a 99,5% = 1:3:8) é de cerca de 1 μm ou menos por minuto, mas o Si monocristalino de 0,063 $\Omega\cdot\text{cm}$ é dificilmente atacado nesta solução de gravação. A velocidade de gravação da camada porosa é aumentada até cerca de 100 vezes, como previamente descrito. Assim, o substrato de Si poroso, com uma espessura de 200 μm , foi removido em 2 minutos, resultando uma camada monocristalina de Si com uma espessura de 1 μm que permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida. Não houve alteração na camada (epitaxial). A superfície posterior do substrato de vidro de sílica fundida foi atacada 0,1 μm mas a sua superfície anterior não apresentou quaisquer diferenças da sua face original com polimento óptico.

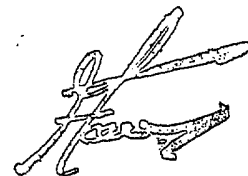
Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0.5 horas numa atmosfera de oxigénio.

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não havia defeitos nos cristais que tivessem sido agora introduzidos na camada de Si, e se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 12)

Este exemplo foi executado de acordo com um processo da Fig. 2.

Formou-se uma camada de Si de alta resistência com 1 μm de espessura, com uma resistência específica de 0,063 $\Omega\cdot\text{cm}$, sobre a superfície de um substrato (100) de Si monocristalino do tipo P com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de 0,01 $\Omega\cdot\text{cm}$ por implantação iónica de P⁺ (ião fósforo). A velocidade de implantação de P⁺ foi de 5x10¹⁵ (iões/cm²). A anodização foi executada neste substrato numa solução de HF a 50%.



Nesta altura, a densidade de corrente era de 100 mA/cm^2 . A velocidade de formação de estrutura porosa foi de $8,4 \text{ } \mu\text{m/min}$ e portanto foram necessários vinte e quatro minutos para o substrato (100) de Si do tipo P de baixa resistência, com uma espessura de $200 \text{ } \mu\text{m}$, se tornar inteiramente poroso. Como acima mencionado, esta anodização apenas tornou poroso o substrato (100) de Si do tipo P de baixa resistência, e não houve alteração na camada de Si de alta resistência.

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada, e então um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico foi colocado sobre a superfície da película de óxido, e a ela ligado.

A velocidade de gravação do Si monocristalino com uma resistência específica de $0,01 \Omega \cdot \text{cm}$ por uma solução de ácidos fluorídrico, nítrico e acético (ácido fluorídrico a 49% : ácido nítrico a 70% : ácido acético a 99,5% = 1:3:8) é de cerca de $1 \text{ } \mu\text{m}$ ou menos por minuto, mas o Si monocristalino de $0,063 \Omega \cdot \text{cm}$ não é praticamente atacado com esta solução de gravação. A velocidade de gravação da camada porosa é aumentada para cerca de 100 vezes, como previamente descrito. Assim, o substrato de Si poroso com uma espessura de $200 \text{ } \mu\text{m}$ foi removido em 2 minutos, resultando que uma camada de Si monocristalino com uma espessura de $1 \text{ } \mu\text{m}$ permaneceu no substrato de vidro de sílica fundida. Não houve alteração na camada epitaxial. A superfície posterior do substrato de vidro de sílica fundida foi atacada $0,1 \text{ } \mu\text{m}$ mas a sua superfície anterior não apresentou qualquer diferença da sua face original com polimento óptico.

Então, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0.5 horas numa atmosfera de oxigénio.

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido recentemente introduzidos na camada de Si defeitos nos cristais, mantendo-se assim uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 13)

Primeiro, a anodização foi executada num substrato de Si monocristalino (100) do tipo P ou do tipo N, com uma espessura de $200 \text{ } \mu\text{m}$ e uma resistência específica de $0,01 \Omega \cdot \text{cm}$ numa solução de HF para tornar o substrato poroso. As condições de anodização são as seguintes.



Voltagem aplicada:	2,6 (V)
Densidade de corrente:	30 (mA.cm ⁻²)
Solução de anodização:	HF:H ₂ O:C ₂ H ₅ OH = 1:1:1
Tempo:	1,6 (hora)
Espessura do Si poroso:	200 (μm)
Porosidade:	56 (%)

Uma camada epitaxial de Si com 0,5 μm de espessura (camada monocristalina de Si não poroso) de 0,063Ω.cm de resistência específica foi desenvolvida a baixa temperatura sobre o substrato (100) de Si poroso pelo método MBE (Epitaxia por Feixe Molecular). A deposição foi executada nas seguintes condições.

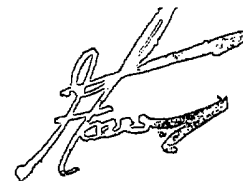
Temperatura:	700°C
Pressão:	1,33x10 ⁻⁷ Pa (1x10 ⁻⁹ Torr)
Velocidade de desenvolvimento:	0,1 nm/seg.

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada a 1000 Å, e então foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico sobre a superfície da película de óxido, e a ela ligado (ligação primária). O substrato de vidro de sílica fundida foi apenas coberto com Si₃N₄ que tem excelente resistência à gravação química.

Em seguida, foi realizada uma gravação selectiva nos substratos ligados com uma solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto a solução era agitada. Em setenta e oito minutos. o substrato poroso de Si poroso foi completamente removido por gravação selectiva, com o Si monocristalino não poroso actuando como interruptor de gravação, deixando ficar apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas se removeu um máximo de 5 nm (50 Å) do Si monocristalino não poroso em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de 1:10⁵, a quantidade de camada não porosa que é gravada (varias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato de Si poroso com a espessura de 200 μm foi removido, resultando que permaneceu uma camada monocristalina de Si de 0,5 μm de espessura, sobre o substrato



de vidro de sílica fundida depois de removida a película de revestimento Si_3N_4 . Não houve alteração na camada epitaxial.

Então, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, mantendo-se excelente cristalinidade.

Pode ser usado um revestimento com cera Apiezon em vez da película de revestimento Si_3N_4 .

(Exemplo 14)

Primeiro, a anodização foi executada num substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N portador de alta densidade com uma espessura de $200\ \mu\text{m}$ numa solução de HF para tornar o substrato poroso.

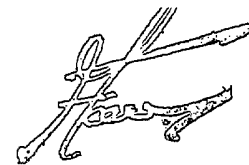
As condições para a anodização foram as mesmas que as indicadas no Exemplo 13.

Uma camada epitaxial de Si com $0,5\ \mu\text{m}$ de espessura (camada monocristalina de Si não poroso) foi desenvolvida a baixa temperatura sobre o substrato (100) de Si poroso por um método CVD de plasma.

A deposição foi executada nas seguintes condições.

Gás:	SiH_4
Potência de alta frequência:	100 W
Temperatura:	800°C
Pressão:	1,33 Pa (1×10^{-2} Torr)
Velocidade de desenvolvimento:	2,5 nm/seg

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada 100 nm ($1000\ \text{Å}$) e então foi colocado um substrato de vidro com polimento óptico com um ponto de amolecimento de 500°C , sobre a superfície da película de óxido, e a ela ligado (ligação primária). Então, o



substrato de vidro foi apenas coberto com Si_3N_4 excelente na sua resistência à gravação química.

Depois executou-se a gravação selectiva nos substratos ligados com uma solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto se agitava a solução. O substrato de Si poroso foi completamente removido em setenta e oito minutos pela gravação selectiva, com o Si monocristalino actuando como um interruptor de gravação, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato de Si poroso com a espessura de 200 μm foi removido, resultando que uma camada de Si monocristalino com 0,5 μm de espessura permaneceu sobre o substrato de vidro com um ponto de amolecimento baixo depois de retirar a película de revestimento Si_3N_4 . Não houve alteração na camada epitaxial.

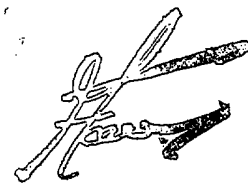
Então, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro com um baixo ponto de amolecimento foram firmemente ligados por aquecimento a 450°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que nenhuns defeitos tinham sido recentemente introduzidos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 15)

Primeiro, a anodização foi executada num substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N portador de alta densidade, com uma espessura de 200 μm , numa solução de HF para tornar o substrato poroso.

As condições de anodização foram as mesmas do exemplo 13.



Uma camada epitaxial de Si de 1 μm de espessura (camada monocristalina de Si não poroso) foi desenvolvida a baixa temperatura sobre o substrato (100) de Si poroso por tendência para dispersão. A deposição foi executada nas seguintes condições.

Frequência RF:	100 MHz
Potência da alta frequência:	600 W
Temperatura:	300°C
Pressão do gás Ar:	1.06 Pa (8×10^{-3} Torr)
Velocidade de desenvolvimento:	60 min.
Voltagem em c.c. para o alvo:	-200 V
Voltagem em c.c. para o substrato:	+5 V

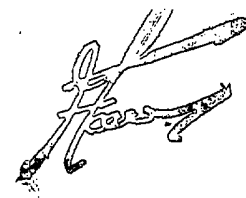
A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada a 100 nm (1000 Å), e depois foi colocado, sobre a superfície da película de óxido, um substrato de vidro com polimento óptico com um ponto de amolecimento de cerca de 500°C, e a ela ligado (ligação primária). O substrato de vidro foi apenas coberto com Si_3N_4 , excelente na resistência à gravação química.

Depois disso, executou-se a gravação selectiva nos substratos ligados usando uma solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto essa solução era agitada. O substrato de Si poroso foi completamente removido em setenta e oito minutos, por meio de gravação selectiva, com o Si monocristalino a actuar como interruptor de gravação, tendo apenas permanecido a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso foi removido em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato de Si poroso com 200 μm de espessura foi retirado, resultando que uma camada de Si monocristalino com 1 μm de espessura permaneceu no substrato de vidro com um ponto de amolecimento baixo, depois da remoção da película de revestimento Si_3N_4 . Não houve alteração na camada epitaxial.

Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro com um ponto baixo de amolecimento foram firmemente ligados aquecendo-os a 450°C durante 0,5 horas numa



atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 16)

Primeiro, a anodização foi executada num substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N, com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de 0,01 Ω .cm numa solução de HF para tornar poroso o substrato.

As condições de anodização foram as mesmas do exemplo 13.

Uma camada epitaxial de Si (camada monocristalina de Si não poroso) de 0,5 μm de espessura e de 0,063 Ω .cm foi desenvolvida a baixa temperatura sobre o substrato (100) de Si poroso por desenvolvimento em fase líquida. A deposição foi executada nas seguintes condições:

Solvente:	Sn
Temperatura de desenvolvimento:	900°C
Atmosfera de desenvolvimento:	H ₂
Velocidade de desenvolvimento:	10 min.

A seguir, a superfície da camada epitaxial foi oxidada em 100 nm (1000 Å) e depois foi colocado, sobre a superfície da película de óxido, um substrato de vidro opticamente polido com um ponto de amolecimento de cerca de 800°C, e a ela ligado (ligação primária). O substrato de vidro foi apenas coberto com Si₃N₄ excelente na resistência à gravação química.

Depois disso, uma gravação selectiva foi executada nos substratos ligados com uma solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto a solução estava a ser agitada. O substrato de Si poroso foi completamente removido em setenta e oito minutos por gravação selectiva, com o Si monocristalino actuando como um interruptor de gravação, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de

gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si não poroso monocristalino em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si não poroso monocristalino e a da camada porosa, é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato de Si poroso com a espessura de 200 μm foi removido, resultando que uma camada de Si monocristalino de 0,5 μm de espessura permaneceu sobre o substrato de vidro após remoção da película de revestimento Si_3N_4 . Não houve alteração na camada epitaxial.

Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro foram firmemente ligados aquecendo-os a 750°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 17)

Primeiro, a anodização foi executada num substrato de Si monocristalino (100) do tipo P ou do tipo N, com uma espessura de 200 μm , numa solução de HF para tornar poroso o substrato.

As condições de anodização foram as mesmas que para o exemplo 13.

Uma camada epitaxial de Si, de 0,5 μm de espessura (camada monocristalina de Si não poroso) foi desenvolvida a baixa temperatura sobre o substrato (100) de Si poroso, por desenvolvimento em fase líquida. A deposição foi executada nas seguintes condições.

Gás de alimentação:	SiH_4
Gás portador:	H_2
Temperatura:	850°C
Pressão:	1,33 Pa (1×10^{-2} Torr)
Velocidade de desenvolvimento:	3,3 nm/seg.

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada em 100 nm (1000 Å), e



depois foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico sobre a superfície da película de óxido e a ela ligado (ligação primária). O substrato de vidro de sílica fundida foi apenas coberto com Si_3N_4 que é excelente em resistência à gravação química.

Depois disso, foi executada uma gravação selectiva sobre os substratos ligados, com uma solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto a solução era agitada. O substrato de Si poroso foi completamente removido em setenta e oito minutos por gravação selectiva, com o Si monocristalino actuando como interruptor da gravação, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5nm (50 Å) de Si não poroso monocristalino em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa, é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato de Si poroso com 200 μm de espessura foi removido, resultando uma camada de 0,5 μm de espessura de Si monocristalino sobre o substrato de vidro de sílica fundida após remoção da película de revestimento Si_3N_4 . Não houve alteração na camada epitaxial.

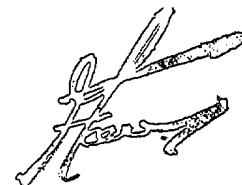
Quando o SiH_2Cl_2 foi usado como gás de alimentação, a temperatura de desenvolvimento teve que ser mais elevada umas dezenas de graus. Contudo, as características de gravação a alta velocidade do substrato poroso não se deterioraram.

Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de azoto (ligação secundária).

Observando um corte com o microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tinham sido introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 18)

Desenvolveu-se uma camada epitaxial de Si com 1 μm de espessura (camada



monocristalina de Si não poroso) do tipo P ou tipo N (100) sobre um substrato de Si monocristalino com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de $0,01\Omega\cdot\text{cm}$ pelo método CVD. A deposição foi executado nas seguintes condições.

Caudal do gás reactivo:	SiH ₂ Cl ₂ 1000 SCCM
	H ₂ 230 l/min
	PH ₃ (50 ppm) 72 SCCM
Temperatura:	1080°C
Pressão:	$1,06 \times 10^4$ Pa (80 Torr)
Tempo:	2 min

A anodização foi executada no substrato, por meio de uma solução de HF para tornar poroso o substrato.

As condições de anodização foram as mesmas do exemplo 13.

Como acima mencionado, a anodização apenas tornou poroso o substrato (100) de Si poroso, e não afectou a camada epitaxial de Si (a camada monocristalina de Si não poroso).

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada a 100 nm (1000 Å), e então foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico sobre a superfície da película de óxido, e a ela ligado (ligação primária). O substrato de vidro de sílica fundida foi apenas revestido com Si₃N₄, de excelente resistência à gravação química.

Depois disso, executou-se uma gravação selectiva sobre os substratos ligados, com uma solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto a solução ia sendo agitada. O substrato de Si poroso foi completamente removido por gravação selectiva, em setenta e oito minutos, com o Si monocristalino actuando como interruptor da gravação, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso, em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, removeu-se o substrato de Si poroso com a espessura de 200 μm , resultando que uma camada de Si monocristalino com 1 μm de espessura permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida depois de removida a película de revestimento de Si_3N_4 . Não houve alteração na camada epitaxial.

Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 19)

Uma camada epitaxial de Si com 0,5 μm de espessura (camada monocristalina de Si não poroso) foi desenvolvida sobre um substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N portador de alta densidade, com uma espessura de 200 μm pelo método CVD. A deposição foi executada nas seguintes condições.

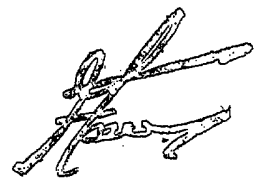
Caudal do gás reactivo:	SiH_2Cl_2 1000 SCCM H_2 230 l/min. PH_3 (50 ppm) 72 SCCM
Temperatura:	1080°C
Pressão:	$1,06 \times 10^4$ Pa (80 Torr)
Tempo:	1 min

A anodização foi executada no substrato numa solução de HF para tornar poroso o substrato.

As condições de anodização foram as mesmas do exemplo 13.

Como acima se menciona, a anodização apenas tornou poroso o substrato (100) de Si poroso, e não afectou a camada epitaxial de Si (camada monocristalina de Si não poroso).

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada até 100 nm (1000 Å) e depois foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico sobre a



superfície da película de óxido, e a ela ligado (ligação primária). O substrato de vidro de sílica fundida foi apenas coberto com Si_3N_4 excelente na resistência à gravação química.

Depois disso, executou-se a gravação selectiva, nos substratos ligados, com uma solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto a solução estava a ser agitada. O substrato de Si poroso foi completamente removido pela gravação selectiva, em setenta e oito minutos, com o Si monocristalino actuando como um interruptor de gravação, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação, foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso, em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

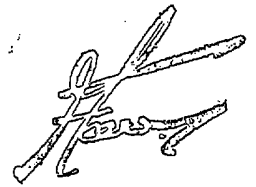
Assim, o substrato de Si poroso com 200 μm de espessura foi removido, resultando que a camada de Si monocristalino com 0,5 μm de espessura permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida depois de removida a película de revestimento Si_3N_4 . Não houve alteração na camada epitaxial.

Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de azoto (ligação secundária).

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si e se tinha mantido uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 20)

Uma camada epitaxial de Si com 0,5 μm de espessura (camada monocristalina de Si não poroso) foi desenvolvida sobre o substrato de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N (100) portador de alta densidade com uma espessura de 200 μm pelo método MBE. A deposição foi executada nas seguintes condições.



Temperatura: 700°C
Pressão: $1,33 \times 10^{-7}$ Pa (1×10^{-9} Torr)
Velocidade de desenvolvimento: 0,1 nm/seg

A anodização foi executada no substrato com uma solução de HF para tornar poroso o substrato.

As condições de anodização foram as mesmas do exemplo 13.

Como se mencionou acima, a anodização torna apenas poroso o substrato (100) de Si, e não afectou a camada epitaxial de Si (camada monocristalina de Si não poroso).

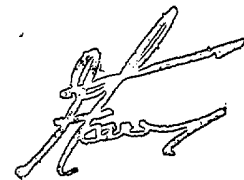
A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada, e depois foi colocado um substrato de vidro, com polimento óptico e com um ponto de amolecimento de cerca de 800°C, sobre a superfície da película de óxido, e a ela ligado (ligação primária). O substrato de vidro foi apenas coberto com Si_3N_4 de excelente resistência à gravação química.

Depois disso, a gravação selectiva foi executada nos substratos ligados, com uma solução de ácido fluorídrico a 49%, enquanto a solução era agitada. O substrato de Si poroso foi completamente removido pela gravação selectiva, em setenta e oito minutos, com o Si monocristalino actuando como interruptor da gravação, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si não poroso monocristalino em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si não poroso monocristalino e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato de Si poroso com 200 μm de espessura foi removido, resultando que a camada de Si monocristalino de 0,5 μm de espessura permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida depois de removida a película de cobertura de Si_3N_4 . Não houve alteração da camada epitaxial.

Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro foram firmemente ligados aquecendo-os durante 0,5 horas a 750°C numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).



Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 21)

Uma camada de 1 μm de espessura de Si do tipo N. foi desenvolvida sobre a superfície de um substrato (100) de Si monocristalino do tipo P, com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de 0,01 Ω .cm. por implantação iónica de protões. A velocidade de implantação de H^+ foi de 5×10^{15} (iões/ cm^2). A anodização foi executada no substrato com uma solução de HF para tornar poroso o substrato.

As condições de anodização foram as mesmas do exemplo 13.

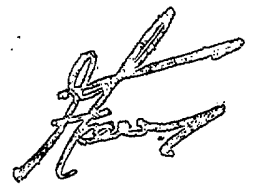
Como acima mencionado, a anodização apenas tornou poroso o substrato de Si (100) do tipo P, e não afectou a camada de Si do tipo N.

A seguir, a superfície desta camada de Si do tipo N foi oxidada até 100 nm (1000 Å) e depois foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico sobre a superfície da película de óxido, e a ela ligado (ligação primária). O substrato de vidro de sílica fundida foi apenas coberto com Si_3N_4 de excelente resistência à gravação química.

Depois disso, foi executada uma gravação selectiva nos substratos ligados, por uma solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto a solução era agitada. O substrato de Si poroso foi completamente removido, em setenta e oito minutos, por gravação selectiva, com o Si monocristalino actuando como um interruptor de gravação, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si não poroso monocristalino e a da camada porosa é de 1:10⁵, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato de Si poroso com 200 μm de espessura foi removido, resultando



que uma camada de Si monocristalino com 1 μm de espessura permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida depois de removida a película de revestimento Si_3N_4 . Não houve alteração da camada epitaxial.

Então, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 22)

Forma-se uma camada de Si de alta resistência com 1 μm de espessura com uma resistência específica de $0,063\Omega\cdot\text{cm}$ sobre a superfície de um substrato (100) de Si monocristalino do tipo P, com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de $0,01\Omega\cdot\text{cm}$, por implantação iónica de P^+ (ião fósforo).

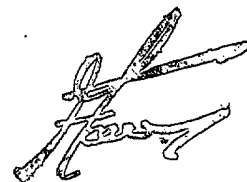
A velocidade de implantação de P^+ foi de 5×10^{15} (iões/ cm^2). A anodização foi executada no substrato por uma solução de HF para tornar poroso o substrato.

As condições de anodização foram as mesmas do exemplo 13.

Como mencionado acima, a anodização apenas tornou poroso o substrato (100) de Si do tipo P de baixa resistência, e não afectou a camada de Si de alta resistência.

A seguir, a superfície desta camada de Si de alta resistência foi oxidada até 100 nm (1000 Å) e depois foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico sobre a superfície da película de óxido, e a ela ligado (ligação primária). O substrato de vidro de sílica fundida foi apenas coberto com Si_3N_4 de excelente resistência à gravação química.

Depois disso, executou-se uma gravação selectiva nos substratos ligados, por meio de uma solução de ácido fluorídrico a 49%, enquanto se agitava a solução. O substrato de Si poroso foi completamente removido, em setenta e oito minutos, por gravação selectiva, actuando o Si monocristalino como um interruptor de gravação, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.



A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso pela solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso, em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si não poroso monocristalino e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato de Si poroso com 200 μm de espessura foi removido, resultando que apenas permaneceu uma camada de Si monocristalino de 1 μm de espessura sobre o substrato de vidro de sílica fundida depois de retirada a película de Si_3N_4 de revestimento. Não houve alteração da camada epitaxial.

Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante uma hora e meia numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e se mantinha uma excelente cristalinidade.

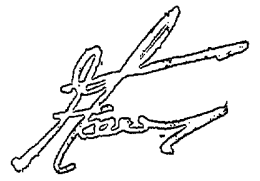
(Exemplo 23)

Primeiro, realizou-se uma anodização no substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de 0,01 $\Omega\cdot\text{cm}$ numa solução de HF para tornar poroso o substrato.

As condições de anodização foram as mesmas do exemplo 13.

Depois, uma camada epitaxial com 0,5 μm de espessura (camada monocristalina de Si não poroso) foi desenvolvida a baixa temperatura sobre o substrato (100) de Si poroso pelo método MBE (Epitaxia por Feixe Molecular). A deposição foi executada nas seguintes condições.

Temperatura:	700°C
Pressão:	$1,33 \times 10^{-7}$ Pa (1×10^{-9} Torr)
Velocidade de desenvolvimento:	0,1 nm/sec



A seguir, foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico sobre a superfície da camada epitaxial, e a ela ligado (ligação primária). O substrato de vidro de sílica fundida foi apenas coberto com Si_3N_4 de excelente resistência à gravação química.

Depois disso, realizou-se uma gravação selectiva dos substratos ligados com uma solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto a solução estava a ser agitada. O substrato poroso de Si foi completamente removido por gravação selectiva em setenta e oito minutos, actuando o Si monocristalino não poroso como interruptor da gravação, tendo apenas permanecido a camada monocristalina não porosa.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si não poroso monocristalino em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (varias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato de Si poroso com 200 μm de espessura foi removido, resultando que a camada monocristalina de Si de 0,5 μm de espessura permaneceu no substrato de vidro de sílica fundida depois de retirar a película revestidora Si_3N_4 . Não houve alteração da camada epitaxial.

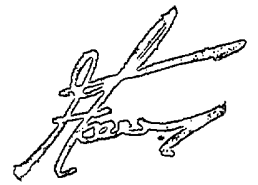
Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte por meio de um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tinham sido introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se manteve uma excelente cristalinidade.

A cera de Apiezon pode ser usada em vez da película de revestimento Si_3N_4 .

(Exemplo 24)

Uma camada de Si epitaxial com 1 μm de espessura (camada monocristalina de Si não poroso) foi desenvolvida sobre um substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N, com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de 0,01 $\Omega\cdot\text{cm}$ pelo método CVD. A cobertura foi executada nas seguintes condições.



Caudal de gás reactivo: SiH_2Cl_2 1000 SCCM
 H_2 230 l/min.
 PH_3 (50 ppm) 72 SCCM
Temperatura: 1080°C
Pressão: $1,06 \times 10^{-4}$ Pa (80 Torr)
Tempo: 2 min.

Realizou-se uma anodização neste substrato numa solução de HF para tornar poroso o substrato.

Como mencionado acima, a anodização apenas tornou poroso o substrato (100) de Si e não afectou a camada epitaxial (camada monocristalina de Si não poroso).


A seguir, um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico foi colocado sobre a superfície da camada epitaxial, e ligado a ela (ligação primária). O substrato de vidro de sílica fundida foi apenas coberto com Si_3N_4 , de excelente resistência à gravação química.

Depois disso, foi executada a gravação selectiva nos substratos ligados, por uma solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto a solução era agitada. O substrato de Si poroso foi completamente removido pela gravação selectiva em setenta e oito minutos, com o Si monocristalino não poroso actuando como interruptor de gravação, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, foi removido o substrato de Si poroso com 200 μm de espessura, resultando que a camada com 1 μm de espessura de Si monocristalino permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida depois de removida a película de Si_3N_4 de revestimento. Não houve alteração da camada epitaxial.

Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram



firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

Nos exemplos acima descritos, foi usado um substrato transparente à luz como substrato isolador para realizar uma estrutura SOI, mas deve considerar-se que pode também ser usada um substrato opaco à luz com os mesmos efeitos do presente invento.

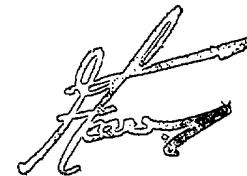
Deste modo, deve compreender-se que não é necessária a película anti-ataque se o substrato opaco à luz tiver uma forte resistência à solução de gravação do presente invento.

(Exemplos 25 a 36)

A gravação foi executada do mesmo modo que para os exemplos 13 a 24 para formar uma camada de Si monocristalino com excepção de que foi usada uma solução de mistura (10:1) de ácido fluorídrico a 49% e álcool como solução de gravação, em vez da solução de gravação dos exemplos 13 a 24. Em oitenta e dois minutos depois de iniciada a gravação o Si poroso foi selectivamente removido por gravação usando uma solução de mistura (10:1) de ácido fluorídrico a 49% e álcool, apenas permanecendo a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso em oitenta e dois minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Observando um corte da camada de Si finalmente obtida com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que nenhuns defeitos cristalinos tinham sido recentemente introduzidos na camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.



(Exemplos 37 a 48)

A gravação foi executada do mesmo modo que para os exemplos 13 a 24 para formar uma camada monocristalina de Si com excepção de que foi usada uma solução de mistura (1:5) de ácido fluorídrico a 49% e de peróxido de hidrogénio a 30% como solução de gravação em vez da solução de gravação usada nos exemplos 13 a 24. Em sessenta e dois minutos depois de iniciada a gravação, o Si poroso foi selectivamente removido por gravação usando uma solução de mistura (1:5) de ácido fluorídrico a 49% e de peróxido de hidrogénio a 30%, apenas permanecendo a camada monocristalina de Si não poroso.


A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso em sessenta e dois minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Observando um corte da camada de Si finalmente obtida, com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tinham sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplos 49 a 60)

A gravação foi executada do mesmo modo que para os exemplos 13 a 24 para formar uma camada de Si monocristalino com excepção de que foi usada uma solução de mistura (10:6:50) de ácido fluorídrico a 49%, álcool e peróxido de hidrogénio a 30% para gravar, em vez da solução de gravação usada nos exemplos 13 a 24. Em sessenta e cinco minutos depois do início da gravação, o Si poroso foi selectivamente removido por gravação usando uma solução de mistura (10:6:50) de ácido fluorídrico a 49%, álcool e peróxido de hidrogénio a 30%, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso, em sessenta e cinco minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.



Observando um corte da camada de Si finalmente obtida, com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tinham sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplos 61 a 72)

A gravação foi executada do mesmo modo que para os exemplos 13 a 24 para formar uma camada de Si monocristalino com excepção de que foi usado ácido fluorídrico tamponado (solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) como solução de gravação, em vez da solução de gravação usada nos exemplos 13 a 24. Em duzentos e cinquenta e oito minutos depois do início da gravação, o Si poroso foi selectivamente removido por gravação usando ácido fluorídrico tamponado, tendo apenas permanecido a camada monocristalina de Si.

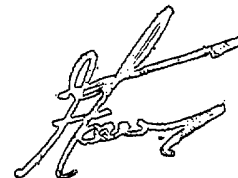
Por a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso pela solução de gravação ser tão baixa, apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso em duzentos e cinquenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Observando um corte da camada de Si finalmente obtida, com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tinham sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplos 72 a 84)

A gravação foi executada do mesmo modo que a dos exemplos 13 a 24 para formar uma camada de Si monocristalino com excepção de que foi usada uma solução de mistura (10:1) de um ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) e álcool como solução de gravação, em vez da solução de gravação usada nos exemplos 13 a 24. Em duzentos e setenta e cinco minutos depois do início da gravação o Si poroso foi selectivamente removido por gravação usando a solução de mistura, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

Como a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso pela solução de



gravação foi tão baixa, apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso em duzentos e setenta e cinco minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Observando um corte da camada de Si finalmente obtida, com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não houve defeitos recentemente introduzidos nos cristais da camada de Si, e que se manteve uma excelente cristalinidade.

(Exemplos 85 a 96)

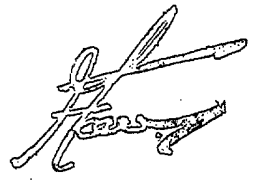
A gravação foi executada do mesmo modo que para os exemplos 13 a 24 para formar uma camada de Si monocristalino com excepção de que foi usada uma solução de mistura (1:5) de ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%) e de peróxido de hidrogénio a 30% como solução de gravação, em vez da solução de gravação usada nos exemplos 13 a 24. Em cento e noventa e um minutos depois do início da gravação, o Si poroso foi selectivamente removido por gravação usando a solução de mistura, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso em cento e noventa e um minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si não poroso monocristalino e a da camada porosa de Si é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Observando um corte da camada de Si finalmente obtida, por meio de um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que nenhuns defeitos haviam sido recentemente introduzidos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

(Exemplos 97 a 108)

A gravação foi executada do mesmo modo que para os exemplos 13 a 24 para formar uma camada de Si monocristalino com excepção de que foi usada uma solução de mistura



(10:6:50) de um ácido fluorídrico tamponado (uma solução de mistura de ácido fluorídrico a 4,5% e de fluoreto de amónio a 36%), álcool e peróxido de hidrogénio a 30% como solução de gravação, em vez da solução de gravação usada nos exemplos 13 a 24. Em duzentos e cinco minutos depois do início da gravação, o Si poroso foi selectivamente removido por gravação usando a solução de mistura, apenas permanecendo a camada de Si monocristalino não poroso.

Como a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso pela solução de gravação foi tão baixa, apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso em duzentos e cinco minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Observando um corte da camada de Si finalmente obtida, com o microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tinham sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que uma excelente cristalinidade fora mantida.

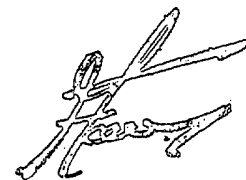
(Exemplo 109)

Primeiro, realizou-se uma anodização num substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N, com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de $0,01\Omega\cdot\text{cm}$, por uma solução de HF para tornar poroso o substrato.

As condições para a anodização foram as seguintes.

Voltagem aplicada:	2.6 (V)
Densidade de corrente:	30 ($\text{mA}\cdot\text{cm}^2$)
Solução de anodização:	HF:H ₂ O:C ₂ H ₅ OH = 1:1:1
Tempo:	1,6 (hora)
Espessura do Si poroso:	200 (μm)
Porosidade:	56 (%)

Uma camada epitaxial de Si com 0,5 μm de espessura (camada monocristalina de Si não poroso) foi desenvolvida a baixa temperatura sobre o substrato (100) de Si poroso pelo método MBE (Epitaxia por Feixe Molecular). A deposição foi efectuada nas seguintes condições.



Temperatura: 700°C
Pressão: $1,33 \times 10^{-7}$ Pa (1×10^{-9} Torr)
Velocidade de desenvolvimento: 0,1 nm/seg.

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada até 100 nm (1000 Å) e depois foi colocado um substrato de vidro de sílica fundida com polimento óptico sobre a superfície da película de óxido, e a força de ligação entre a película de óxido e o substrato de vidro foi aumentada aquecendo-os a 400°C por uma hora numa atmosfera de N₂ (ligação primária). Os substratos ligados não estavam esfoliados.

A seguir, o substrato de vidro de sílica fundida foi apenas coberto com Si₃N₄ de excelente resistência à gravação química.

Depois disso, realizou-se uma gravação selectiva nos substratos ligados utilizando uma solução de ácido fluorídrico a 49%, enquanto esta solução estava sendo agitada. Em setenta e oito minutos, o substrato de Si poroso foi completamente removido pela gravação selectiva, com o Si monocristalino não poroso actuando como interruptor de gravação, apenas permanecendo a camada monocristalina de Si não poroso.

Como a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato poroso de Si com a espessura de 200 µm foi removido, resultando que a camada monocristalina de Si com 0,5 µm de espessura permaneceu sobre o substrato de vidro de sílica fundida depois da película de revestimento Si₃N₄ ter sido removida. Não houve alteração na camada epitaxial.

Depois, a camada de película SOI delgada e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte com o microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não tinham sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e havia



sido mantida uma excelente cristalinidade.

(Exemplo 110)

Primeiro, a anodização foi executada num substrato (100) de Si monocristalino do tipo P ou do tipo N, com uma espessura de 200 μm e uma resistência específica de 0,01 $\Omega\cdot\text{cm}$, numa solução de HF para tornar poroso o substrato.

As condições de anodização são como segue.

Voltagem aplicada:	2,6 (V)
Densidade de corrente:	30 ($\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$)
Solução de anodização:	HF:H ₂ O:C ₂ H ₅ OH = 1:1:1
Tempo:	1,6 (horas)
Espessura do Si poroso:	200 (μm)
Porosidade:	56 (%)

Uma camada epitaxial de Si com a espessura de 0,5 μm (camada monocristalina de Si não poroso) foi desenvolvida a baixa temperatura sobre o substrato (100) de Si poroso pelo método MBE (Epitaxia por meio de Feixe Molecular). A deposição foi executada nas seguintes condições.

Temperatura:	700°C
Pressão:	$1,33 \times 10^{-7}$ Pa (1×10^{-9} Torr)
Velocidade de desenvolvimento:	0,1 nm/seg

A seguir, a superfície desta camada epitaxial foi oxidada até 1000 Å, e então um substrato de Si, com uma membrana termicamente oxidada com a espessura de 5000 Å e nele formada, foi colocado sobre a superfície da película de óxido, e a força de ligação entre as membranas oxidadas foi aumentada aquecendo-as a 400°C durante duas horas numa atmosfera de N₂ (ligação primária). Os substratos ligados não estavam esfoliados.

Depois disso, a gravação selectiva foi executada nos substratos ligados numa solução de ácido fluorídrico a 49% enquanto a solução era agitada. Em setenta e oito minutos, o substrato de Si poroso foi completamente removido por gravação selectiva, com o Si monocristalino não poroso actuando como interruptor da gravação, permanecendo apenas a camada monocristalina de Si não poroso.

A velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso com a solução de gravação foi tão baixa que apenas foi removido um máximo de 5 nm (50 Å) de Si monocristalino não poroso, em setenta e oito minutos. Como a proporção entre a velocidade de gravação do Si monocristalino não poroso e a da camada porosa é de $1:10^5$, a quantidade de camada não porosa que é gravada (várias dezenas de angstrom) pode ser ignorada na prática.

Assim, o substrato de Si poroso de 200 µm de espessura foi removido, resultando que a camada de Si monocristalino de 0,5 µm de espessura permaneceu, por intermédio de uma película de óxido com a espessura de 500 nm (5000 Å), sobre o substrato de Si. Na camada epitaxial não houve alteração.

Depois, a camada em película fina SOI e o substrato de vidro de sílica fundida foram firmemente ligados aquecendo-os a 800°C durante 0,5 horas numa atmosfera de oxigénio (ligação secundária).

Observando um corte transversal com um microscópio electrónico de transmissão, confirmou-se que não haviam sido recentemente introduzidos defeitos nos cristais da camada de Si, e que se mantinha uma excelente cristalinidade.

Lisboa, 16. AGO. 2000

Por Canon Kabushiki Kaisha

- O AGENTE OFICIAL -

○ ADJUNTO



ENG.º ANTÓNIO JOÃO
DA CUNHA FERREIRA
Ag. Of. Pr. Ind.
Rua das Flores, 74 - 4.º
1200 LISBOA

REIVINDICAÇÕES

1 - Método de preparação de um componente semiconductor compreendendo uma camada monocristalina de Si não poroso disposta sobre um substrato isolador, em que o método compreende:

um processo para proporcionar um primeiro substrato com uma camada monocristalina de Si não poroso (13,22,33,42) sobre uma camada semicondutora (12,21,32,43);

um processo de ligação primária para fixar o dito primeiro substrato e um substrato isolador (14,24,35,45) intercalado na camada monocristalina de Si não poroso (13,22,33,42);

um processo de remoção da dita camada semicondutora (12,21,32,43) por meio de gravação química; e

um processo de uma ligação secundária para reforço da ligação primária depois do dito processo de remoção, caracterizado por a dita camada semicondutora (12,21,32,43) ser uma camada de silício porosa.

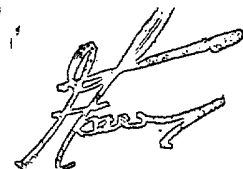
2 - Método de acordo com a reivindicação 1, onde a dita gravação química é executada usando ácido fluorídrico como produto para gravar quimicamente.

3 - Método de acordo com a reivindicação 2, onde a dita gravação química é executada usando uma mistura contendo ácido fluorídrico e álcool.

4 - Método de acordo com a reivindicação 2, onde a dita gravação química é executada usando uma mistura contendo ácido fluorídrico e peróxido de hidrogénio.

5 - Método de acordo com a reivindicação 2, onde a dita gravação química é executada usando, como produto para gravar quimicamente, uma mistura contendo ácido fluorídrico, álcool e peróxido de hidrogénio.

6 - Método de acordo com a reivindicação 2, onde a dita gravação química é executada usando, como produto para gravar quimicamente, uma mistura contendo ácido fluorídrico tamponado (uma mistura em solução aquosa de ácido fluorídrico e fluoreto de amónio).



7 - Método de acordo com a reivindicação 2, onde a dita gravação química é executada usando, como produto para gravar quimicamente, uma mistura contendo ácido fluorídrico tamponado (uma mistura em solução aquosa de ácido fluorídrico e fluoreto de amónio) e álcool.

8 - Método de acordo com a reivindicação 2, onde a dita gravação química é executada usando, como produto para gravar quimicamente, uma mistura contendo ácido fluorídrico tamponado (uma mistura em solução aquosa de ácido fluorídrico e fluoreto de amónio) e peróxido de hidrogénio.

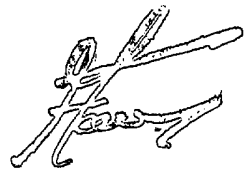
9 - Método de acordo com a reivindicação 2, onde a dita gravação química é executada usando, como produto para gravar quimicamente, uma mistura contendo ácido fluorídrico tamponado (uma mistura em solução aquosa de ácido fluorídrico e fluoreto de amónio), álcool e peróxido de hidrogénio.

10 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, onde o dito processo para proporcionar o dito primeiro substrato compreende os passos de: formar uma camada portadora de baixa densidade (22) numa parte do dito único substrato de Si cristalino (21), respectivamente sobre o dito único substrato de Si cristalino, e converter a restante parte do dito único substrato de Si cristalino (21), respectivamente o dito completo único substrato de Si cristalino, para o tornar poroso e proporcionar a dita camada porosa de silício, permanecendo por converter a dita camada portadora de baixa densidade (22), formada em ou sobre o dito único substrato de Si cristalino (21), a fim de proporcionar a dita camada monocristalina de Si não poroso.

11 - Método de acordo com a reivindicação 10, onde a dita parte restante do dito único substrato de Si cristalino é uma camada de Si de alta resistência.

12 - Método de acordo com a reivindicação 10, onde a dita parte restante do dito único substrato de Si cristalino é uma camada de Si do tipo N.

13 - Método de acordo com a reivindicação 10, onde a dita camada portadora de baixa densidade (22) em, respectivamente sobre o dito único substrato de Si cristalino é formado por implantação de prótons ou contra-dopagem no dito substrato de Si, respectivamente por desenvolvimento epitaxial da dita camada portadora de baixa densidade (22) sobre o dito substrato de Si.



14 - Método de acordo com qualquer das reivindicações 10 a 13, onde a dita parte do dito único substrato de Si cristalino é convertido por anodização.

15 - Método de acordo com a reivindicação 14, onde a dita anodização é executada numa solução de HF.

16 - Método de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 9 precedentes, onde o dito processo para proporcionar o dito primeiro substrato compreende formar a dita camada monocristalina de Si não poroso (13) sobre um substrato de Si poroso (12) por um método epitaxial seleccionado entre um método de feixe molecular, um método CVD de plasma, um método foto-CVD, um método CVD de baixa pressão, um método de desenvolvimento em fase líquida, e um método de tendência para dispersão.

17 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, onde a superfície da dita camada monocristalina de Si não poroso é oxidada, depois do que é executado o processo da ligação primária e é interposta uma membrana oxidada entre o substrato isolador e a dita camada monocristalina de Si não poroso.

18 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, onde é executado o processo de gravação para remoção do dito Si poroso, depois de toda a superfície, excepto a dita face de Si poroso, ter sido coberta com uma película anti-ataque.

19 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, onde a espessura da dita camada monocristalina de Si não poroso é de 100 μm ou menos.

20 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, onde o dito processo de ligação primária inclui ainda colocar o dito substrato contendo a dita camada de Si poroso e o dito substrato isolador em contacto mútuo, à temperatura ambiente, para os fixar um ao outro por forças de Van der Waals, de modo a que se torne difícil separá-los sem causar esforços substanciais devido às diferenças entre os coeficientes de expansão térmica dos materiais que formam a face de contacto.

21 - Método de acordo com as reivindicações 1 a 10, onde o dito processo de ligação primária inclui o passo de aquecimento das superfícies em contacto físico, de modo a que as interfaces fiquem ligadas uma a outra e não esfoliem.

22 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, onde o dito

processo de ligação secundária é executado por tratamento térmico.

23 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, onde o dito processo de ligação secundária compreende o aquecimento numa atmosfera de oxigénio.

24 - Método de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 22, onde o dito processo de ligação secundária compreende ainda aquecimento em atmosfera de azoto.

25 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, onde o dito processo de ligação secundária é executado a uma temperatura de 200°C-800°C.

26 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, onde a dita camada de silício poroso é formada por conversão de Si do tipo P ou de Si do tipo N, dopado de forma a ser portadora de uma densidade suficientemente alta para aumentar a porosidade.

27 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, onde o dito substrato isolador é um substrato transparente à luz.

28 - Método de acordo com a reivindicação 27, onde o dito substrato transparente à luz é de vidro.

29 - Método de acordo com qualquer das reivindicações precedentes 1 a 27, onde o dito substrato isolador é produzido pela formação de uma camada de óxido sobre uma superfície de Si monocristalino.

Lisboa, 16. AGO. 2000

Por Canon Kabushiki Kaisha

- O AGENTE OFICIAL -

O ADJUNTO



ENG.º ANTÓNIO JOÃO
DA CUNHA FERREIRA
Ag. Of. Pr. Ind.
Rua das Flores, 74 - 4.º
1200 LISBOA

FIG. 1

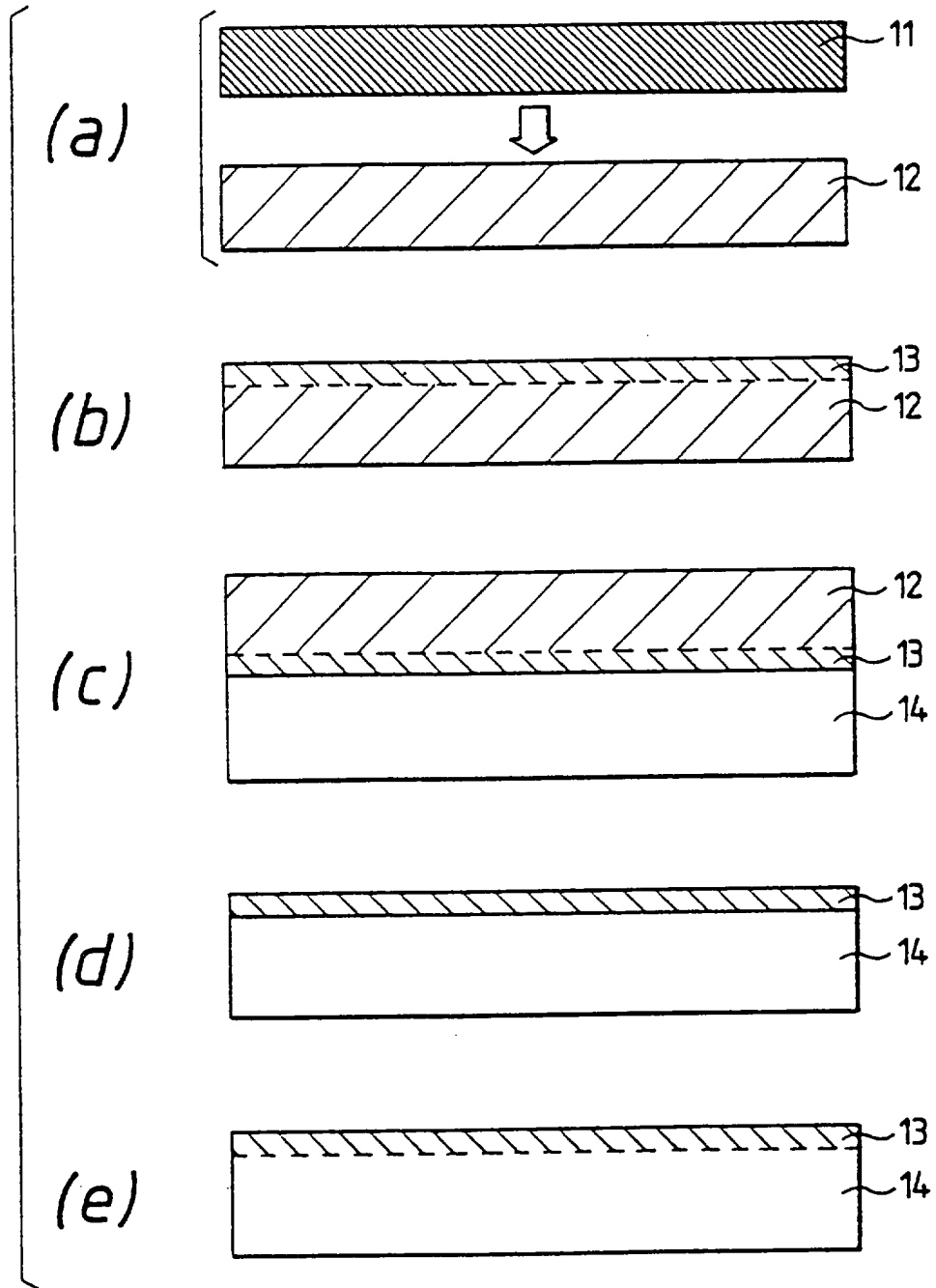


FIG. 2

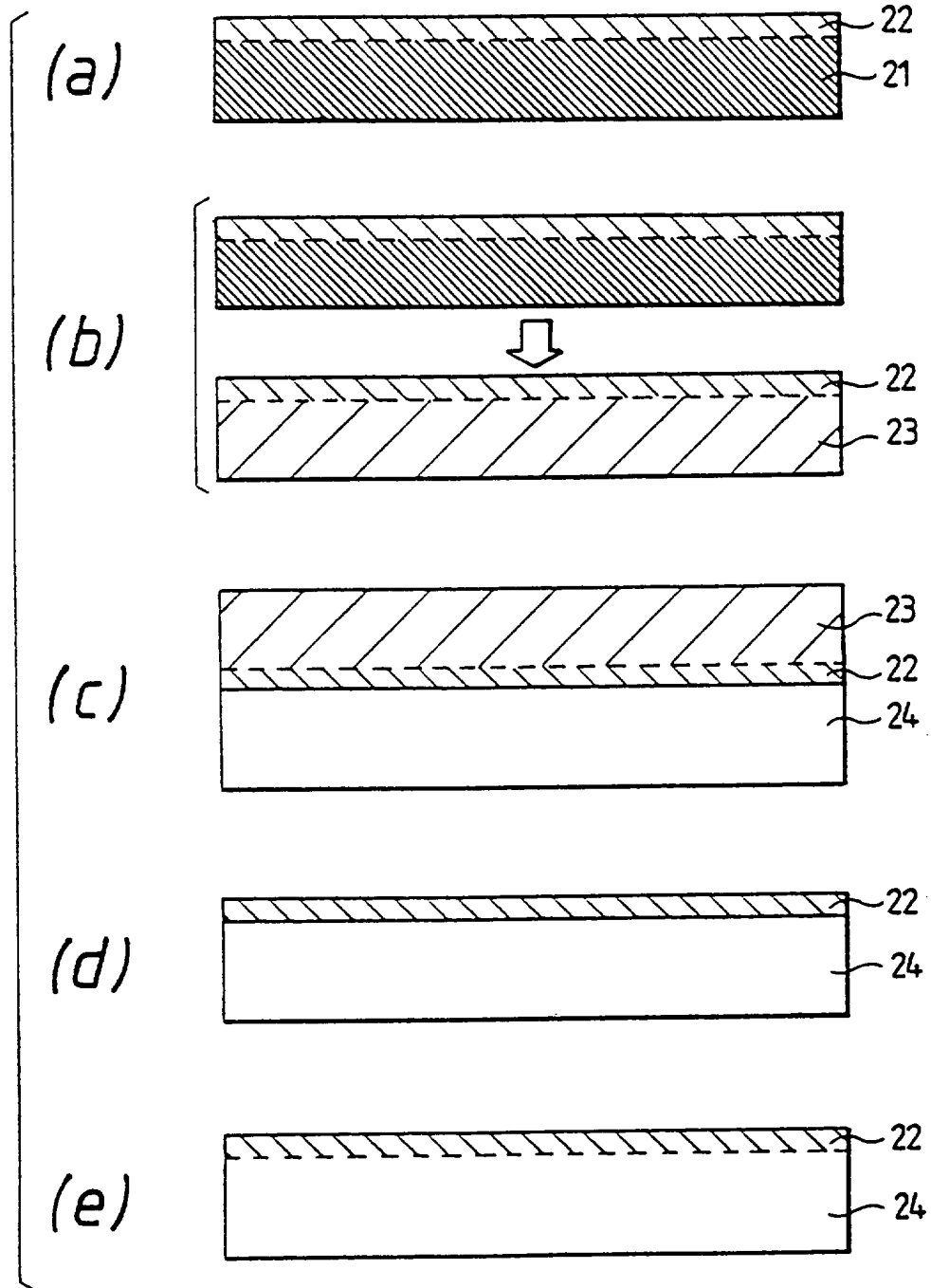
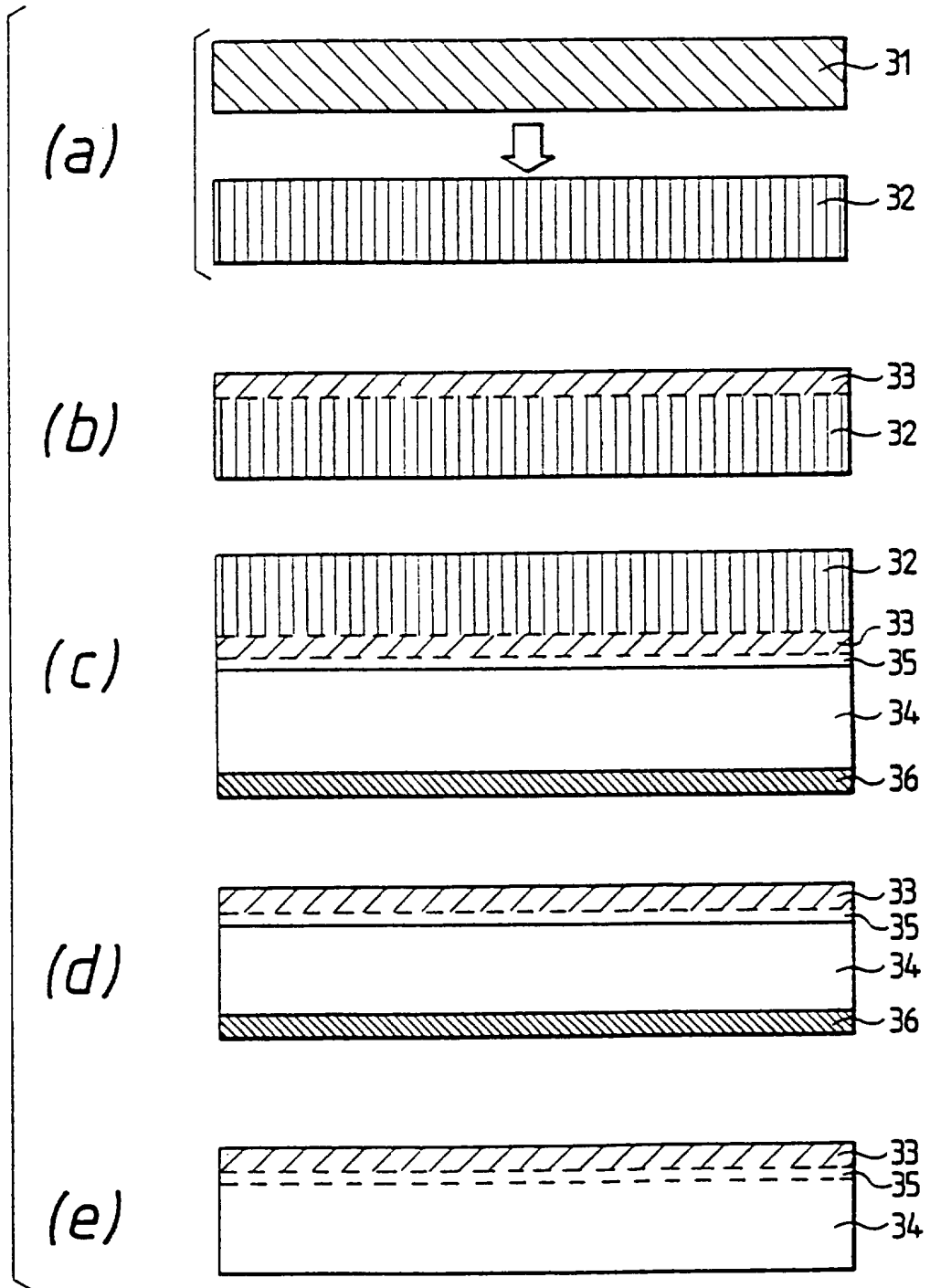


FIG. 3



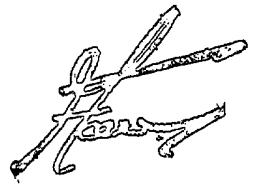


FIG. 4

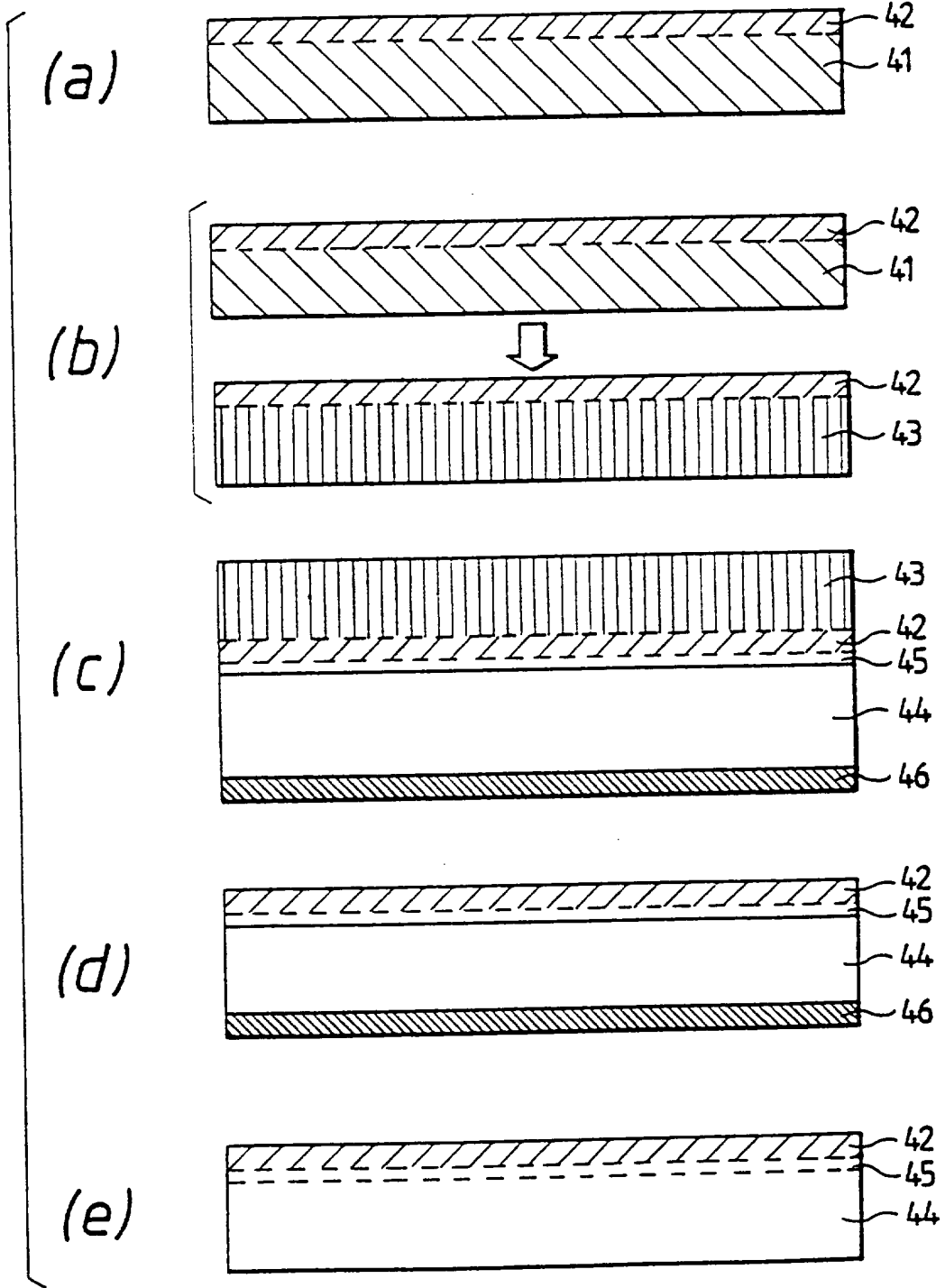


FIG. 5

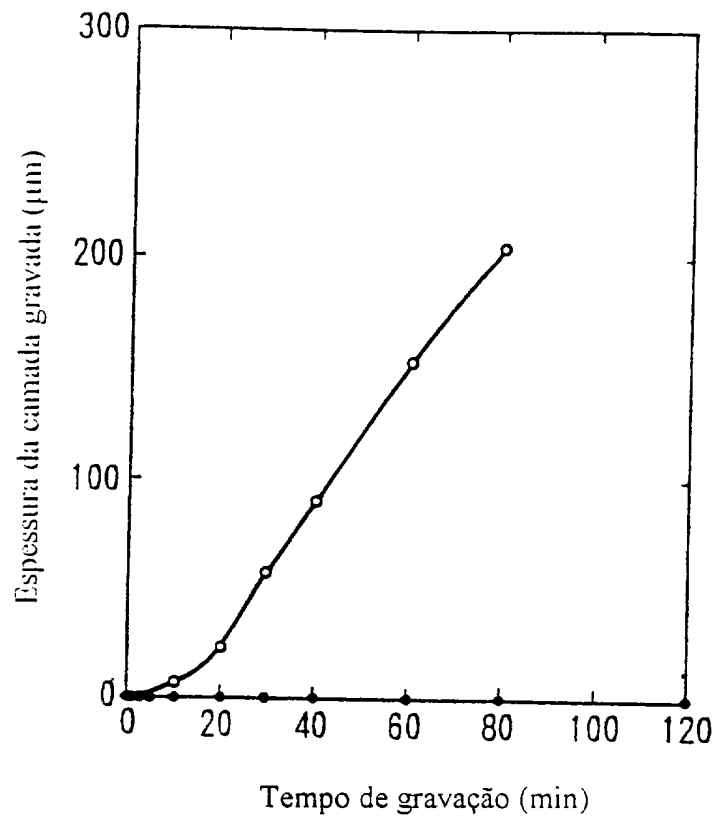


FIG. 6

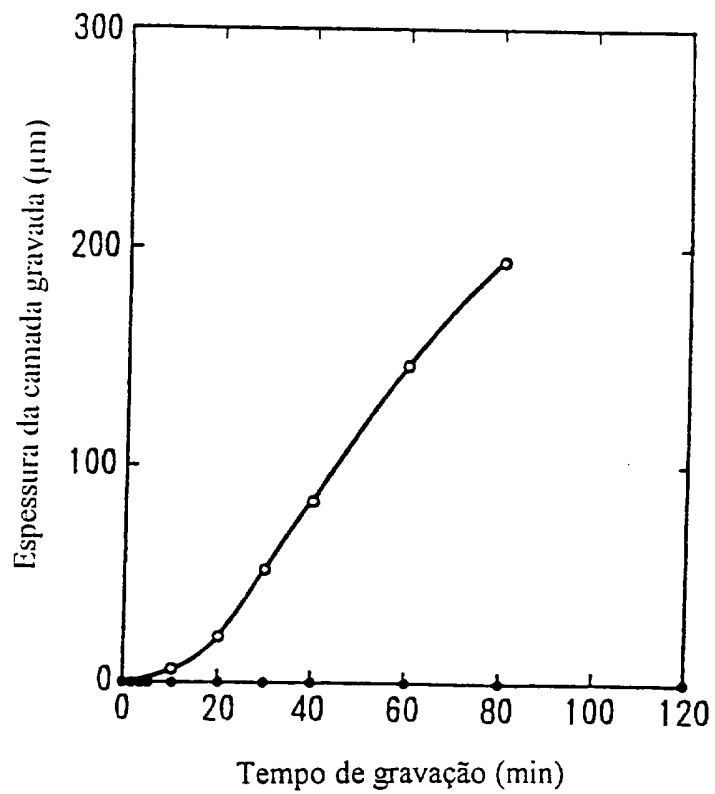


FIG. 7

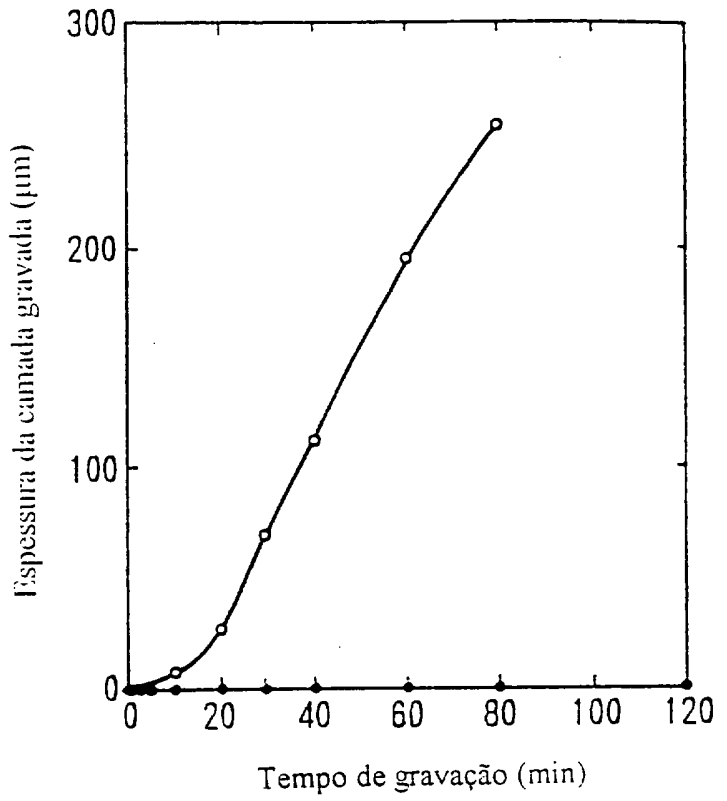


FIG. 8

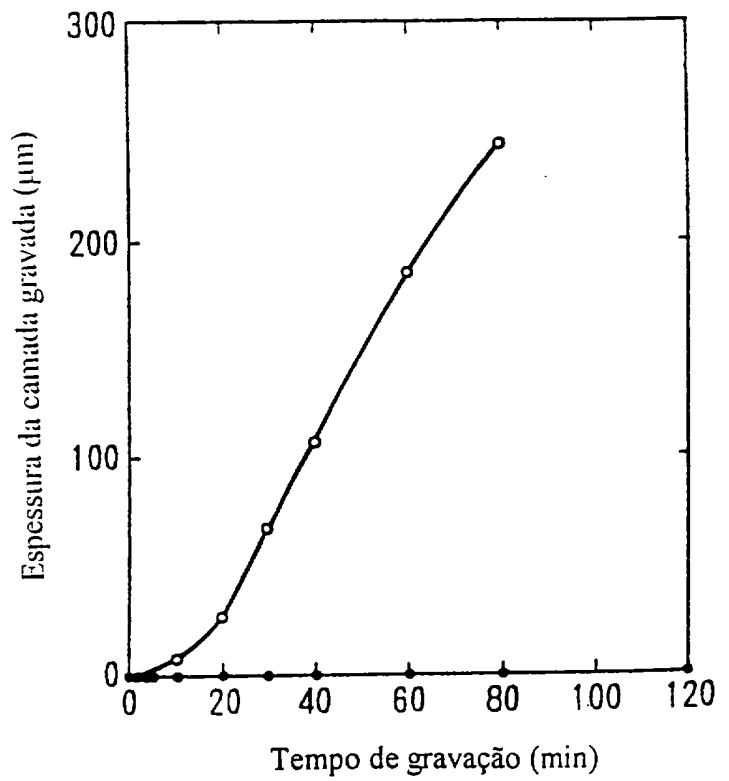


FIG. 9

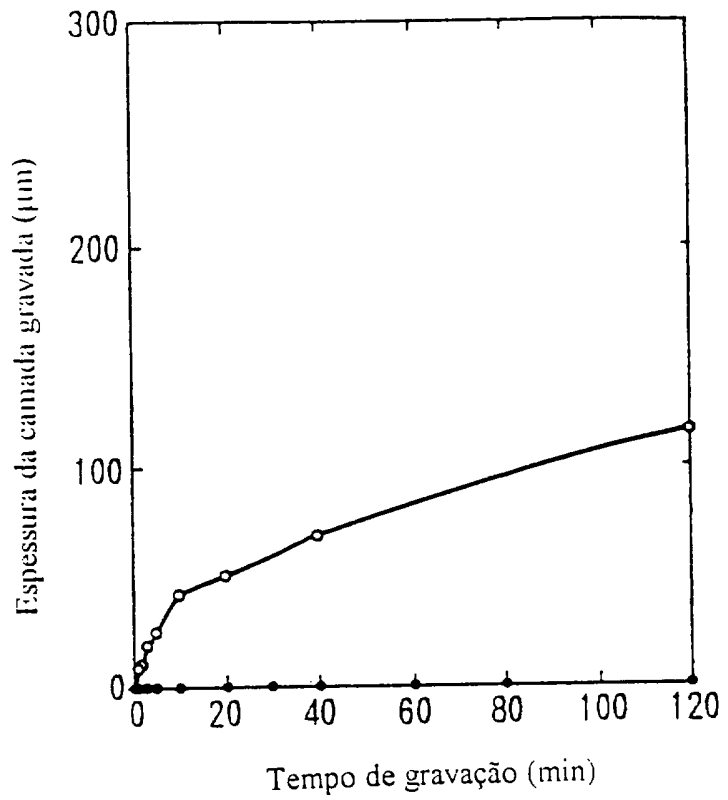


FIG. 10

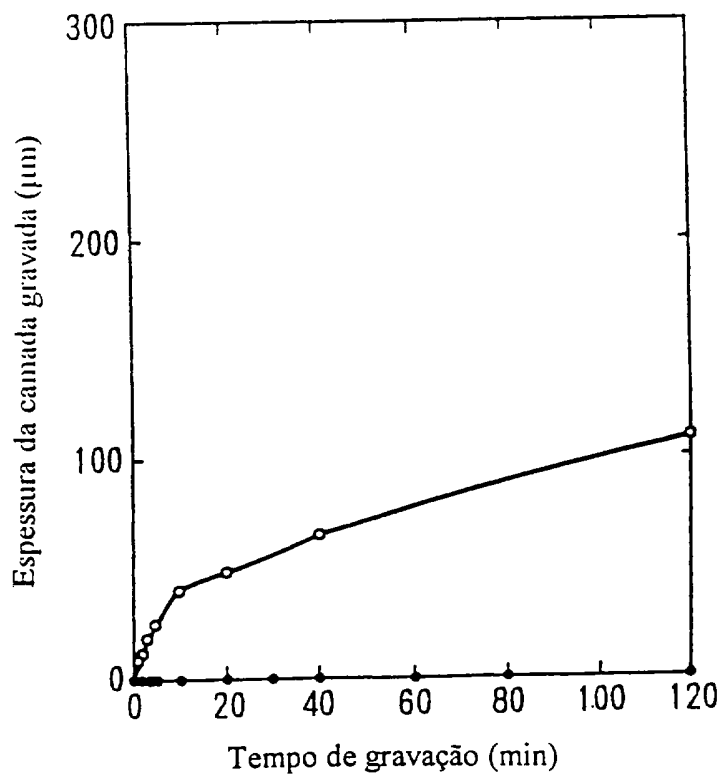




FIG. 11

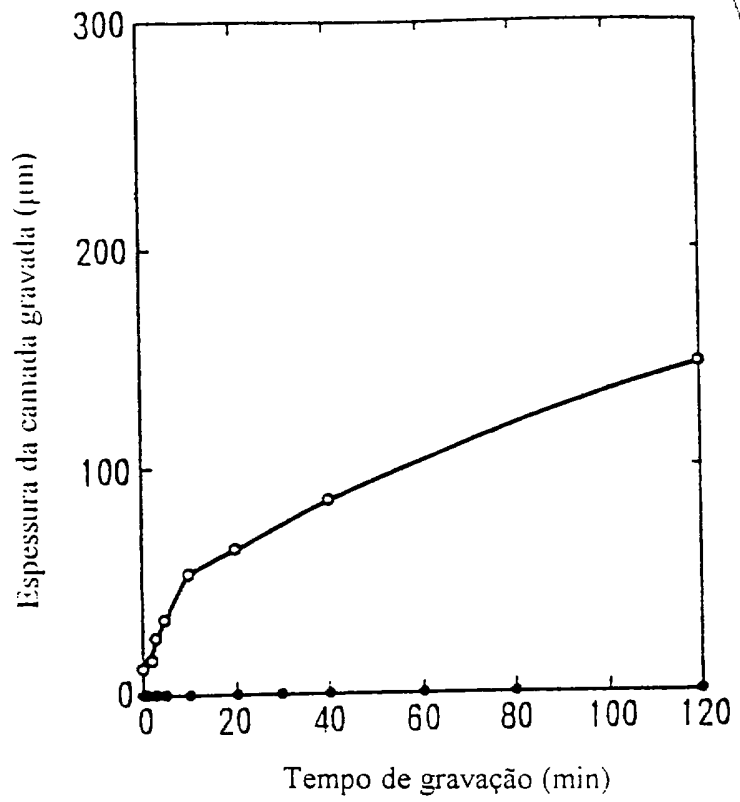


FIG. 12

