

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia Eletrônica

ISSN 1413-2206

BT/PEE/9921

**Implementação de Finos
Diafragmas em Lâminas de Silício
Monocristalino, Altamente Dopadas
com Boro, Visando Fabricação de
Microsensores de Pressão CMOS
Utilizando Pós-Processamento**

Humber Furlan
Edgar Charry Rodriguez

São Paulo – 1999

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Humber Furlan sob orientação do Prof. Dr. Edgar Charry Rodriguez: "Proposta de Implementação de Membranas em Sensores de Pressão a Elementos Piezoresistivos Utilizando a Técnica de Pós-Processamento", defendida em 01/0797, na Escola Politécnica.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica/USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Furlan, Humber

Implementação de finos diafragmas em lâminas de silício mono-cristalino, altamente dopadas com boro, visando fabricação de micro-sensores de pressão CMOS utilizando pós-processamento / H. Furlan, E. Charry Rodriguez. -- São Paulo : EPUSP, 1999.

14 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9921)

1. Sensores de pressão 2. CMOS I. Charry Rodriguez, Edgar II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Título IV. Série
ISSN 1413-2206

CDD 621.381536
621.395

Implementação de finos diafragmas em lâminas de silício monocristalino, altamente dopadas com boro, visando fabricação de microsensores de pressão CMOS utilizando pós-processamento.

FURLAN, Humber CHARRY, Edgar R.

Resumo

Este artigo apresenta os resultados obtidos nos experimentos para obtenção de finos diafragmas em lâminas de silício com dopagem de boro na concentração de $2,5 \times 10^{19}$ atm/cm³. Foram levantadas curvas da taxa de corrosão em função da temperatura da solução de ataque químico ao silício de onde se extraiu o tempo necessário para a elaboração de um diafragma de 40 µm de espessura.

Introdução

A corrosão anisotrópica do silício monocristalino em soluções alcalinas, hoje, encontra muitas aplicações técnicas⁽¹⁾. Dessas aplicações, a de maior interesse para o desenvolvimento do trabalho proposto por nosso laboratório, que consiste em projetar e construir um sensor de pressão a elementos piezoresistivos utilizando a técnica de pós-processamento, é a construção de MEMS (Microsistemas Eletromecânicos).

O conceito de MEMS gira em torno de sistemas eletromecânicos miniaturizados (micro ou nanométricos), construídos com técnicas que permitem unir a circuitaria eletrônica de tratamento de seus sinais na própria pastilha, constituindo assim, um sistema totalmente integrado.

O intuito de construir sistemas integrados como descrito anteriormente, é sua fabricação em grandes lotes, mantendo o baixo custo e alto rendimento, sem perder o grau de confiabilidade alcançada até então nos processos de microeletrônica.

A miniaturização de sistemas é, muitas vezes, limitada pela incompatibilidade das tecnologias utilizadas para a fabricação de processadores dos sinais, os circuitos, e transdutores dos sinais, tal como sensores e atuadores. Considerando que o silício, será por muito tempo, material básico utilizado na construção dos processadores de sinais, novos conceitos de transdutores baseados nesse material vem sendo desenvolvidos⁽²⁾.

Em síntese, as propriedades de maior interesse para os microatuadores mecânicos são:

- Deslocamento
- Força, torque
- Tempo de resposta
- Potência de consumo

Alguns componentes estruturais básicos, exigidos para os atuadores são:

- Micro vigas engastadas em um ou dois lados
- Micro diafragmas
- Micro válvulas
- Micro bombas
- Micro motores
- Micro interruptores
- Micro elementos ópticos

e, os passos básicos para conversão eletromecânica:

- Campos elétricos (eletrostáticos, piezoelétricos, piezoresistivos, dielétricos, efeitos de indução etc...)
- Campos magnéticos
- Efeitos térmicos (expansão térmica, transição de fase,)

O microsensor de pressão em desenvolvimento no Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), utiliza piezoresistores difundidos e faz uso do deslocamento cujo componente básico é uma membrana e, a conversão desse deslocamento em medidas elétricas, se dá por meio da variação da resistência elétrica do piezoresistor quando submetido a um esforço.

O pós-processamento, um dos objetivos propostos no projeto, consta de passos de processo elaborados após a construção dos circuitos integrados CMOS feita por uma empresa no exterior. Inclui-se no pós-processamento, os passos de microusinagem das estruturas microatuadoras, soldagens das pastilhas de silício em substrato resistente, encapsulamento dos dispositivos e seus testes finais de caracterização e calibração.

Para a construção da microestrutura utilizada na obtenção do esforço provocado por uma pressão aplicada a ela, haverá necessidade de microusinagem do substrato de silício para a formação do diafragma sensível à essa pressão. Essa microusinagem se dá, em nosso caso, por meios de corrosão anisotrópica úmida.

Sendo que as indústrias de construção dos circuitos integrados CMOS, garantem os parâmetros de construção, deixando a cabo do projetista a garantia de funcionamento do circuito ou dispositivo construído, deve-se proteger os circuitos na parte da frente da lâmina processada pela empresa e as regiões, da parte de trás da lâmina, que não necessitam da corrosão anisotrópica. Desta maneira, escolhe-se um filme que ofereça basicamente dois requisitos: resistência ao ataque anisotrópico da solução de KOH⁽³⁾ e, para prevenir a fusão dos metais (alumínio) que constituem as trilhas e contatos elétricos dos dispositivos dos circuitos de tratamento dos sinais, o processo de deposição desse filme deve ocorrer em temperaturas inferiores a 400 °C. A seguir são descritos os possíveis filmes:

- Nitreto de silício depositado por PECVD¹.
- Dióxido de silício depositado por PECVD.
- Nitreto de silício depositado por ECR².
- Nitreto de silício depositado por "Sputtering".

Ao mesmo tempo que se determina o filme mais adequado para a proteção descrita no parágrafo anterior, experimenta-se a obtenção de diferentes figuras com a dissolução do silício em determinadas regiões das amostras.

¹ Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition

² Electron Cyclotron Resonance

O processo de corrosão anisotrópica é antecedido por passos de preparação da solução de ataque químico e das amostras a serem trabalhadas. Os passos utilizados em nossos experimentos serão detalhados nos próximos parágrafos.

Procedimentos experimentais.

Os primeiros experimentos consistem em determinar o grau de ataque químico nos filmes finos que formam uma camada de proteção ao silício. Para estes testes foram escolhidas amostras de lâminas de silício monocristalino com superfície (100), dopantes boro e resistividade entre 10 e 20 Ωcm . Estas lâminas foram enviadas a alguns laboratórios de pesquisas em microeletrônica para que sofressem o processo de deposição dos respectivos filmes, objetos de estudo, nos dois lados das lâminas. Em sequência, utilizando passos de fotolitografia, foram definidos padrões geométricos sobre os filmes depositados em um lado da lâmina (face polida). Tais padrões são transferidos ao silício pelo processo de corrosão por plasma de íons reativos (RIE). Logo, as lâminas são clivadas em pedaços de aproximadamente 1 cm^2 e antes da corrosão anisotrópica das amostras, são feitos a decapagem do dióxido de silício nativo, que cresce naturalmente devido a exposição do silício ao meio ambiente, e a retirada do filme fotosensível utilizado, anteriormente, na fotolitografia.

As lâminas que sofreram deposição de dióxido de silício por PECVD em nosso próprio laboratório foram submetidas à limpeza química como descrita a seguir:

- 1 lavagem em água DI corrente durante 5 minutos.
- 2 solução de $4\text{H}_2\text{SO}_4 + 1\text{H}_2\text{O}_2$ a 115°C durante 10 min.
- 3 repetir 1
- 4 solução de $20\text{H}_2\text{O} + 1\text{HF}$ na temperatura ambiente até a lâmina sair seca da solução.
- 5 repetir 1
- 6 solução de $5\text{H}_2\text{O} + 1\text{H}_2\text{O}_2 + 1\text{NH}_4\text{OH}$ a 80°C durante 10 min.
- 7 repetir 1
- 8 solução de $4\text{H}_2\text{O} + 1\text{H}_2\text{O}_2 + 1\text{HCl}$ a 70°C durante 10 min.
- 9 repetir 1

As lâminas que foram enviadas para deposição de filmes de proteção contra a corrosão anisotrópica em outros laboratórios, foram limpas de acordo com os processos do próprio laboratório.

Deposição da camada de proteção contra a corrosão anisotrópica.

Os processos de deposição das camadas de proteção contra a corrosão anisotrópica foram elaboradas em diversas técnicas nos vários laboratórios (TELEBRÁS, UNICAMP e outros).

Fotolitografia e corrosão com RIE.

Após o processo de deposição da camada de proteção contra a corrosão anisotrópica, é feito o processo de fotolitografia sobre esta última, definindo assim, a área do silício que deverá ser exposta à solução de corrosão anisotrópica. Este

procedimento é feito na sala limpa do LSI-USP, o qual possui os equipamentos e condições ambientais necessários. Sobre um “spinner” se coloca a lâmina que sofreu deposição de nitreto de silício ou dióxido de silício em ambos os lados. Deve-se tomar cuidados para não errar a superfície polida da lâmina, que ainda é visível, onde deverá ocorrer as deposições de um promotor de aderência e posteriormente, do fotoresiste. Para lâminas de três polegadas o procedimento está descrito na tabela I.

Tab. I: *Procedimentos de fotolitografia para transferência dos padrões geométricos à camada de proteção contra a corrosão anisotrópica.*

Passos	Procedimento
1°	Deposita-se a lâmina sobre o porta amostras do “Spinner”. Com este a ± 4000 rpm coloca-se gotas de acetona para retirada da poeira existente na superfície do filme depositado anteriormente. Espera-se 10 segundos.
2°	Com o “Spinner” ainda em ± 4000 rpm deposita-se gotas de álcool iso-propílico para a retirada de possíveis engorduramento da superfície. Desliga-se o “Spinner” após 10 segundos
3°	Deposita-se o promotor de aderência (HMDS). Liga-se o “Spinner” e regula-se para 4000 rpm durante 15 segundos.
4°	Com o “Spinner” parado deposita-se 20 ml de fotoresiste (Az 1350J da HOECHT). Liga-se o “Spinner”, regula-se para permanecer em 4000 rpm durante 40 segundos. Estas regulagens permitem uma espessura de aproximadamente 1600 Å do fotoresiste. Com o “Spinner” desligado se retira a lâmina.
5°	Neste passo, mantém-se a lâmina sobre uma placa quente a 85°C durante 30 minutos (pré-cura).
6°	Leva-se a lâmina até a alinhadora, onde será gravado sobre o fotoresiste os padrões da máscara de processo, que posteriormente serão transferidos à camada de proteção contra a corrosão anisotrópica. O fotoresiste exposto pela máscara recebe um banho de luz ultravioleta durante 35 segundos.
7°	Revela-se o fotoresiste sensibilizado pela luz ultravioleta em solução química a 21°C, durante 18 segundos.
8°	Após a retirada de resíduos de revelador em água destilada corrente, seca-se a lâmina e coloca-a sobre a placa aquecedora na temperatura de 85°C, durante 30 minutos, assim o fotoresiste que não foi revelado se enrijecerá e servirá de máscara para o próximo processo.
9°	* O próximo passo se refere à corrosão por plasma de íons reativos (RIE) da camada de nitreto ou óxido que deverá ser retirado para deixar o silício exposto.

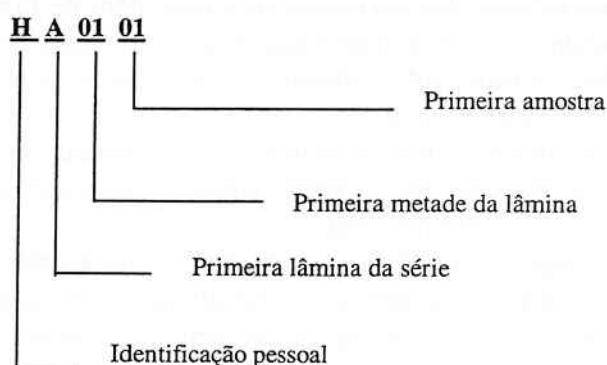
* Neste passo, utiliza-se o fotoresiste como proteção contra o plasma. No entanto, dependendo do tipo de filme a ser corroído serão os tipos de gases, condições de fluxo e potência a se utilizar, sem contar o tempo necessário para corrosão que varia para cada condição. Neste trabalho é referenciado somente as condições de corrosão de filmes de nitreto PECVD, por ser este tipo de material que mais se utilizou para os testes (Pressão 150 mTorr., Potência 50 W., fluxo 25 sccm de SF₆, taxa de 540 Å/min., tempo 2 min.).

Os padrões transferidos para todas lâminas são padrões utilizados em nosso laboratório e, consistem em algumas figuras de teste de microeletrônica. Dentre as quais

estão os quadros de 700 X 700 μm , correspondendo a figura semelhante àquela que irá ser utilizada para a fabricação das membranas do sensor de pressão (quadros 1000 X 1000 μm).

Clivagem e remoção do fotoresiste.

Esta próxima etapa do processo, remoção do fotoresiste, é executada minutos antes da corrosão anisotrópica, tendo visto que o fotoresiste mantém uma certa resistência física ao nitreto quando da clivagem da lâmina de silício para obtenção das amostras. Antes de limpá-la do fotoresiste, dividimos a lâmina e a condicionamos em porta amostras contendo uma identificação alfanumérica, conforme o número da lâmina e sequência de sua posição em uma das metades da própria lâmina. Como por exemplo:



Em seguida, com a amostra fixada em uma pinça e a pisceta contendo acetona, dirigimos um jato na direção da amostra, tanto do lado da superfície fotolitografada quanto na face oposta. A remoção do filme de fotoresiste antes de imergir a amostra na solução de corrosão é feita para manter a solução livre de resíduos que não sejam os do próprio processo de corrosão anisotrópica, pois, este filme se desprende da superfície quando em contato com a solução de corrosão, na temperatura de trabalho ($>45^{\circ}\text{C}$), se transformando em contaminante da solução.

Limpeza do óxido nativo.

Todas as amostras utilizadas para testes, receberam limpezas com ácido fluorídrico (3 ml de HF + 100 ml de H_2O) imediatamente antes de serem submersas na solução de corrosão anisotrópica. Este "dip" rápido, de apenas 15 segundos, serve para remoção do óxido nativo, crescido no silício exposto por alguns dias, entre os processos de fotolitografia e corrosão anisotrópica. Monitora-se o desbaste do óxido nativo, perlustrando a amostra para verificar se gotículas de HF se prendem ou não na superfície do silício e, logo após, faz-se um banho em água D.I. (Deionizada) e imediata imersão da amostra na solução de KOH.

Corrosão anisotrópica.

O passo de processo, que compreende a corrosão anisotrópica, é simplesmente a imersão da amostra na solução de KOH, quando esta atinge o equilíbrio térmico desejado para o processo. Neste momento, deve-se estar atento ao tempo de corrosão pois, este trabalho é desenvolvido utilizando a taxa de corrosão, para controle das dimensões das microestruturas. Por isso, ele é fortemente depende da concentração e

temperatura da solução de corrosão.

Imediatamente após a imersão da amostra na solução, irão aparecer bolhas de hidrogênio que se desprendem do sistema e tomam rumo à atmosfera. É sinal que o processo está em andamento. Nos resta agora, aguardar o tempo preciso para se retirar a amostra da solução. Feito este último, imediatamente, deve-se retirar resíduos de KOH que permanecem nas superfícies da amostra, com um jato de água destilada contida em uma pisceta. Em seguida, um mergulho dessa amostra em água DI durante alguns minutos fará, nesta amostra, o tratamento de limpeza após corrosão anisotrópica.

Inspeção da cavidade corroída.

A inspeção da cavidade corroída é feita em um microscópio óptico. Com ele podemos verificar as superfícies das cavidades corroídas além de fazer uma estatística da profundidade alcançada na corrosão com o micrômetro do próprio microscópio.

Após a inspeção, a amostra sofre uma nova limpeza antes de ser preparada para a soldagem anódica em um substrato de vidro.

Para a soldagem anódica, deve-se retirar toda a camada de nitreto de silício colocada para servir de máscara de proteção contra a corrosão anisotrópica. Este processo deverá ser feito com o processo RIE.

Após corrosão, limpeza e inspeção, as amostras foram acondicionadas em porta amostras de plástico contendo, na tampa, a identificação de cada amostra e suas condição de processos de corrosão anisotrópica (temperatura, concentração da solução e tempo de corrosão).

Experimentos realizados .

Neste tópico, serão descritos os experimentos e seus resultados, considerando que os critérios e os passos utilizados para o processo de corrosão são os mesmos apresentados anteriormente.

Inicialmente, é mostrada a tabela II, contendo os experimentos realizados com diferentes filmes, incluindo um último teste onde foi obtida a membrana no próprio silício.

Seguindo a ordem como descrito na tabela II, os experimentos foram apresentados juntamente com seus resultados.

Tab. II: Distribuição de alguns experimentos com relação a proteção contra a corrosão anisotrópica.

Ordem	Filme imerso no KOH	Objetivo
1	Óxido térmico ± 1500	Testar óxido e levantar dados de alinhamento do chanfro
2	Si_3N_4 Sputtering em lâmina P e orientação (111)	Testar resistência química e elaborar algumas geometrias
3	Si_3N_4 ECR-UNICAMP	Testar resistência química e elaborar algumas geometrias
4	SiO_2 PECVD-LSI	Testar resistência química e elaborar algumas geometrias
5	Si_3N_4 PECVD-TELEBRÁS	Testar resistência química e elaborar algumas geometrias
6	Si_3N_4 ECR-UNICAMP em lâminas $2\text{E}19\text{ cm}^{-3}$	Testar resistência química e levantar curva da taxa de corrosão p/ lâmina alta dopagem de Boro
7	Fotoreviste em tratamento térmico diferenciado Filme de PMMA depositado sobre a amostra de Si.	Testar resistência química
8	Si_3N_4 ECR-UNICAMP em lâminas $2\text{E}19\text{ cm}^{-3}$	Elaboração do diafragma na espessura previamente calculada.

1-Experimentos de óxido térmico e teste do chanfro (Flat).

Este experimento se deu em uma lâmina a qual, os processos de fotolitografia feitos sobre um óxido térmico depositado sobre ela, definiam ranhuras paralelas ou não ao chanfro feito pela própria indústria fornecedora da lâmina. Na figura 1 é mostrado um desenho esquemático das ranhuras e suas posições mediante a lâmina de 2".

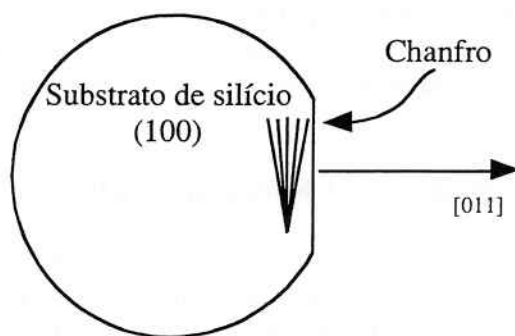


Fig. 1: Desenho esquemático da estrutura para teste de alinhamento do chanfro da lâmina.

O objetivo principal deste experimento foi o teste de ajuste do corte fornecido pela indústria da lâmina. Esta garantia um erro de $\pm 1^\circ$ no chanfro que serve para definir o tipo e orientação cristalográfica da superfície da lâmina de silício monocristalino fornecida.

Por consequência da corrosão anisotrópica, a qual escolhe os planos para maior taxa de corrosão, sabemos ser em ordem decrescente de velocidade de corrosão as orientações (100), (110) e (111). Era de se esperar, que se o chanfro fornecido pela

empresa estivesse na orientação adequada, a ranhura fotolitografada paralela a ele, deveria apresentar, após corrosão anisotrópica, paredes praticamente sem rugosidades, o que confirmaria a orientação (111) para elas. Sendo o plano do chanfro de orientação (110), e sabendo que os planos (110) e (111) são planos cortantes, as paredes criadas na orientação (111) nos definiriam o paralelismo desejado. Foi o que ocorreu. Visivelmente ao microscópio óptico, as paredes cuja orientação (111), não apresentaram rugosidades.

O dióxido de silício térmico utilizado como máscara de proteção contra a corrosão anisotrópica neste experimento, apresentou efeito desejável. Este filme suportou muito bem a solução de corrosão anisotrópica (KOH) durante o intervalo de tempo exigido pelo processo.

2-Nitreto de silício feito por “Sputtering” em lâmina (111).

Este experimento consiste em analisar o grau de resistência química do nitreto de silício depositado por “Sputtering” quando estiver protegendo uma lâmina de silício contra a corrosão anisotrópica.

A lâmina a qual foi submetida à este teste de corrosão anisotrópica, possui superfície orientada na direção $\langle 111 \rangle$. As características do processo de deposição do nitreto de silício que a encobria, não foram fornecidos.

Inicialmente, medimos através de um elipsômetro (Rodolph AutoEL-NIR 3), a espessura da camada de nitreto depositado sobre a lâmina (869 Å) e seu índice de refração ($n \approx 2,0296$). Posteriormente, após todo os passos para corrosão anisotrópica descrito anteriormente, submetemos uma amostra dessa lâmina ao processo, cuja temperatura da solução 85°C com agitação magnética, num período de 1:00 hora.

O resultado experimental é satisfatório no ponto de vista da corrosão anisotrópica mas, com relação à camada de proteção contra a corrosão, observado com microscópio óptico, apareceram muitos minúsculos pontos de invasão da solução de KOH em lugares diverso ao esperado. Além de existir a corrosão nas janelas criadas, haviam verdadeiras crateras por toda superfície do silício que se apresentava com várias rachaduras, estas que poderiam ser advindas do estresse provocado pela robustez da técnica de deposição. Como era de se esperar, a taxa de corrosão lateral foi muitas vezes superior a taxa de corrosão em profundidade.

3-Nitreto de silício depositado por ECR na UNICAMP.

O objetivo deste experimento foi a observação da resistência química apresentada pelo nitreto de silício, depositado com a técnica ECR (Electron Cyclotron Resonance), contra a solução de corrosão anisotrópica (KOH).

Amostra da lâmina de orientação (100), 10 a 20 Ωcm , e 3 polegadas de diâmetro, após os processos normais de limpeza e fotolitografia, foi imersa na solução de KOH na concentração de 24% em temperatura de 60 °C.

Esta camada depositada (± 2000 Å) sobre a lâmina foi consumida em 1:30 horas, não satisfazendo o tempo necessário de corrosão para obtenção de cavidades acima de 100 μm de profundidade.

4-Óxido depositado por PECVD.

Este experimento consiste em testar o óxido que está sendo desenvolvido pelo LSI-USP com a técnica de PECVD.

As características de deposição desse óxido estão descritas a seguir.

- Potência 400 W
- Pressão 2,5 Torr.
- Fluxo TEOS (Tetra Etil Ortosilicato) 40 sccm
- Fluxo O₂ 100 sccm
- Temperatura do porta amostra 360°C.
- O tempo de processo deve estar de acordo com espessura desejada.

A taxa de deposição é de $\pm 75 \text{ \AA/min}$ nas condições acima exposta. (20 seg. 1500Å de óxido).

A lâmina para este teste foi submetida ao processo fotolitográfico antes de ser clivada para originar as amostras de corrosão anisotrópica.

Uma das amostras foi escolhida para passar pelo teste de corrosão. Quando esta foi submetida à etapa de retirada do óxido nativo, notou-se a dissolução rápida do óxido depositado. Imediatamente esta foi retirada da solução de HF e lavada em água DI.

Neste momento, não se tinha a idéia do comportamento desse óxido frente à solução de KOH. Por isso foi escolhida uma outra amostra e sem a limpeza do óxido nativo em HF, esta foi imersa na solução de KOH. Imediatamente o óxido se dissolveu na solução deixando o silício totalmente exposto. Como conclusão, notamos que este óxido, consolidado da maneira descrita acima, não seria útil para nosso processo de corrosão anisotrópica.

5-Nitreto PECVD depositado nos ambientes da TELEBRÁS.

Foram escolhidas 3 lâminas de 3 polegadas, tipo P com resistividade $10 \leq \rho \leq 20 \text{ } \Omega.\text{cm}$. Estas foram submetidas a deposição de nitreto de silício PECVD na TELEBRÁS. Retornando ao LSI, as lâminas foram submetidas aos passos de preparação para a corrosão anisotrópica e, finalmente, a própria corrosão.

Com este experimento foram obtidos dados concretos sobre a dissolução do silício monocristalino por que, o nitreto de silício depositado sobre a lâmina resistiu muito bem ao ataque químico da solução de corrosão anisotrópica (KOH). Assim, foi possível executar testes de corrosão anisotrópica em etapas prolongadas conseguindo profundas cavidades no silício exposto à solução.

As cavidades obtidas com a dissolução do silício, foram medidas através do microscópio óptico e colocadas em forma de tabela, como visto na tabela III.

Tab. III: Tabela das profundidades das cavidades corroídas em solução de KOH em H₂O medidas através do microscópio óptico.

Amostra	Profundidade medida (μm)	tempo de corrosão (horas)	Temperatura (°C)
A0101	14,14	0:30	60,5
A0102	37,12	1:30	60,5
A0103	97,23	4:00	60,5
A0104	120,21	5:01	60,5
A0105	45,96	0:30	84,0
A0106*	381,84	4:45	84,5
A0201	45,96	0:30	60,5
A0204	39,24	0:28	84,3
B0101	49,5	2:01	60,5
B0201	45,96	2:01	60,5
C0101	45,96	2:00	60,5

* Essa amostra sofreu sua total perfuração.

A partir dos dados em que a temperatura de processo são coincidentes (60,5°C), foi elaborada a curva da profundidade corroída em função do tempo de corrosão.

Os dados das amostras B0101, B0201 e C0101, foram feitos para se testar a repetibilidade do processo mediante várias soluções de mesma concentração. Os dados que fazem parte do gráfico da figura 2, são as médias aritméticas das profundidades obtidas em cada temperatura.

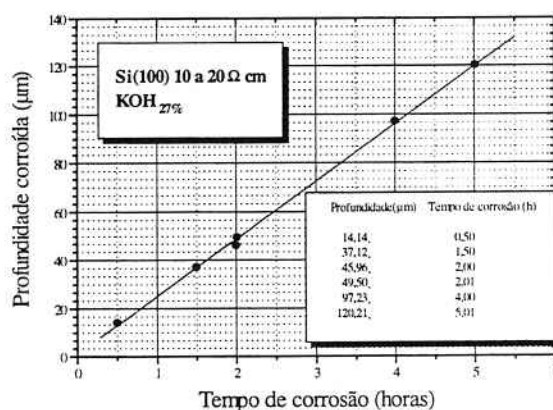


Fig. 2: Curva da profundidade X função do tempo de corrosão para amostras de lâminas (100), com 10 a 20 Ωcm tipo P, corroídas em solução de KOH a 27% na temperatura de 60,5°C.

A partir do gráfico apresentado na figura 2, podemos obter a taxa de corrosão do silício calculando o arco tangente do ângulo de inclinação da curva.

6-Nitreto ECR depositado nos ambientes da UNICAMP.

O experimento com nitreto de silício feito na UNICAMP consistiu em teste da resistência química do filme de proteção contra a corrosão anisotrópica frente ao KOH e

levantamento da curva de taxa de corrosão em função da temperatura para lâminas de silício altamente dopadas.

Foram usadas lâminas de 2 polegadas de diâmetro, orientação (100) com dopagem de Boro em concentração igual a $2,5 \times 10^{19} \text{ atm/cm}^3$ (valor obtido através do 4 pontas FPP 5000 da Veeco Inc.).

O preparo das lâminas para corrosão anisotrópica e o processo fotolitográfico foram os mesmos descritos para as lâminas anteriores no entanto, a limpeza para a deposição do nitreto e sua própria deposição, receberam os passos adotados pelo próprio laboratório de microeletrônica da UNICAMP.

Da corrosão anisotrópica de amostras dessas lâminas podemos, concluir o que segue abaixo:

1) O filme de nitreto é adequado para ser utilizado como máscara de proteção contra a corrosão anisotrópica apesar de não ter uniformidade em sua espessura.

2) As amostras foram corroídas sem algum problema. Foram obtidas as cavidades desejadas, e com o perfilômetro (DEKTA 3030), obtivemos as medidas de suas profundidades as quais estão relacionadas na tabela IV.

Tab. IV: Profundidades das cavidades corroídas em lâminas de silício monocristalino com 2 polegadas de diâmetro, orientação (100), $2,5 \times 10^{19} \text{ atm/cm}^3$ de Boro em solução de KOH a 27% em diversas temperaturas de processo durante 1:00 hora.

amostras	1° medida da prof. (μm)	2° medida da prof. (μm)	3° medida da prof. (μm)	média das profundid. (μm)	Tempe. ($^{\circ}\text{C}$)
HFB0201	09,842	8,553	09,546	09,314	50,0
HFB0203	14,067	14,136	14,519	14,241	60,3
HFB0204	23,692	24,112	21,396	23,066	70,0
HFB0205	43,346	39,914	43,298	42,186	80,0
HFB0206	64,567	64,112	59,500	62,726	88,2

Com os dados da tabela IV se desenha a curva da taxa de corrosão em função da temperatura vista na figura 3 e, a partir desta, obtemos os valores do fator pré-exponencial (R_0) e da energia de ativação (E_a).

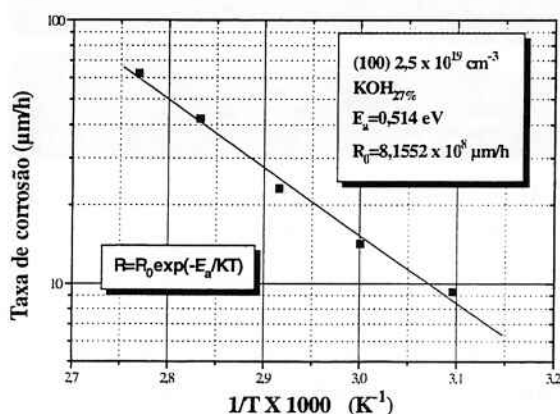


Fig. 3: Curva da taxa de corrosão do silício (100), $2,5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ de Boro, em função da temperatura.

Com os valores de E_a e R_0 aplicados na equação que define a lei de Arrhenius ($R=R_0\exp.(-E_a/KT)$), pode-se estimar o tempo necessário para se fazer uma membrana, de alguns μm de espessura, em um substrato de silício monocristalino, cuja orientação cristalográfica (100), tipo P, concentração de Boro $2,5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, quando imersa em solução de KOH a 27% em uma determinada temperatura.

7-Teste com fotoresiste em tratamento térmico diferenciado e PMMA.

Este experimento se deu com uma amostra de lâmina de silício monocristalino (100), encoberta com fotoresiste (Az 1350J da HOECHT) e outras duas encobertas com PMMA (Poli Metil Metacrilato).

O fotoresiste possuía aproximadamente 2 μm de espessura, tratado em 190°C durante 30 minutos.

O filme de PMMA depositado com "Spinner", em uma amostra possuía 3000 Å de espessura e, na outra amostra, 1 μm de espessura.

Os testes destas amostras se procederam sem os passos de limpeza costumeiros. Isto pelo motivo de não querer submeter as amostras à ação da solução de HF, prevendo a remoção dos filmes depositados anteriormente.

Esses filmes depositados sobre as amostras de silício se dissolveram imediatamente ao serem colocados na solução de KOH a 27% na temperatura de 61,3°C.

8-Si₃N₄ ECR-UNICAMP em lâminas de $2E19 \text{ cm}^{-3}$ para obtenção de membranas de 40 μm de espessura.

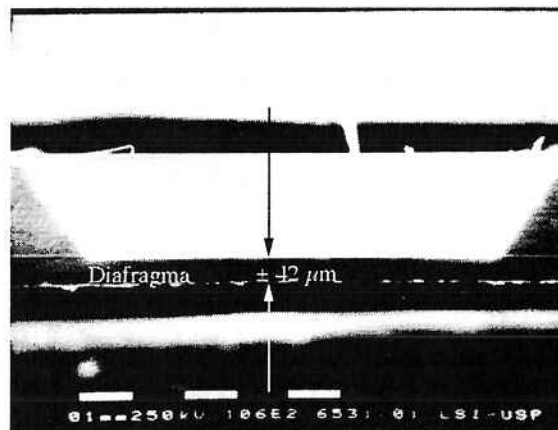


Fig. 4: Fotografia SEM mostrando a espessura de um diafragma feito em silício monocristalino (100) por corrosão anisotrópica.

Com o experimento 6 foram obtidos os valores de energia de ativação (0,514 eV) e fator pré-exponencial ($8,1552E8 \mu\text{m/h}$) para aplicar na lei de Arrhenius. Assim, foi obtido para uma solução de KOH a 27 %, atribuindo a temperatura de 90°C, uma taxa de corrosão de 59,96 $\mu\text{m/h}$. Logo, em uma lâmina de características semelhantes a do experimento 6, incluindo a sua espessura de 250 μm , para conseguir uma membrana de 40 μm , deve-se corroer 210 μm de seu substrato. Para que isso ocorra, o tempo de corrosão deverá ser de 3:30 horas.

Este experimento foi elaborado com somente duas amostras de silício processadas uma a cada vez.

Como resultado, obtivemos membranas de 42 μm nas duas amostras e suas espessuras foram medidas através do SEM (neste caso, técnica destrutiva) e, foi calculado um erro de 2 μm ($\pm 5\%$) com relação ao resultado esperado (Figura 4).

Conclusão.

O valor do erro obtido, para o diafragma construído em relação ao valor calculado, não é exorbitante, tornando possível o processo estudado aqui, para construção de microestruturas que não necessitem grandes precisão em suas dimensões.

Tendo visto os resultados dos testes, onde se analisa a resistência química dos filmes depositados para a proteção de certas partes do silício, contra a ação da corrosão anisotrópica (KOH), conclui-se que, estes devem, antes de serem utilizados no processo de fabricação de diafragmas por pós-processamento, passar por testes, provando se suas características de processo, satisfazem a condição química desse filme, para suportar a ação da solução utilizada na dissolução do silício. Assim, não se corre o risco de inutilizar o processo de corrosão anisotrópica pela dissolução do filme de proteção do silício.

Agradecimentos.

Ao fim de um laborioso empenho, uma reflexão consciente ajuda a escolher as peças chaves do sucesso. Dessa maneira, seguem meus agradecimentos como retribuição da paciência empregada por cada um dos amigos conquistados no decorrer do trabalho, aos órgãos financiadores como a CAPES que cedeu a bolsa de estudos para o desfecho desta tese, ao Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica da USP que permitiu a criação da infra estrutura necessária ao Pós-processamento proposto, aos pesquisadores do Instituto de Física da UNICAMP que abriram as portas para um sólido relacionamento de trocas científicas e à empresa TELEBRÁS que colaborou com alguns processos para estudos complementares. Em especial, menciono simpatias ao Prof. Dr. Edgar Charry Rodrigues que, no árduo ofício de orientação, mostrou-se um amigo por excelência.

Referencias bibliográficas.

- 1 BARYCKA, Y. and ZUBEL, Irena Silicon anisotropic etching in KOH-isopropanol etchant. **Sensors and Actuators A** 28 1995 pg. 229-238.
- 2 BENECKE, W. Silicon - Microactuators: Activation mechanisms and scaling problems. IEEE/1991
- 3 FURLAN, Humber, "Proposta de Implementação de Membranas em Sensores de Pressão a Elementos Piezoresistivos Utilizando a Técnica de Pós-processamento" Dissertação (mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 07/1997 83 pg.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEE/9301 - Oscilador a HEMT - 10 GHz - FÁTIMA S. CORRERA, EDMAR CAMARGO
- T/PEE/9302 - Representação Senoidal da Voz através dos Polos do Filtro Preditor - MARCELO B. JOAQUIM, NORMONDS ALENS
- BT/PEE/9303 - Blindagens por Grades Condutoras: Cálculo do Campo Próximo - LUIZ CEZAR TRINTINALIA, ANTONIO ROBERTO PANICALI
- BT/PEE/9304 - Sistema de Otimização e Controle de Produção em Minas de Pequeno e Médio Porte - TSEN CHUNG KANG, VITOR MARQUES PINTO LEITE
- BT/PEE/9401 - Determinação das Frases de Aplicação Forense para o projeto NESPER e Tese de Mestrado IME/94, com Base em Estudos Fonéticos - MARCONI DOS REIS BEZERRA, EUVALDO F. CABRAL JUNIOR
- BT/PEE/9402 - Implementação e Teste de uma Rede Neural Artificial do Tipo KSON (Kohonen Self-Organizing Network) com Entradas Bidimensionais - MARCELO YASSUNORI MATUDA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9403 - Transformada de Walsh e Haar Aplicadas no Processamento de Voz - ALEXANDRE AUGUSTO OTTATI NOGUEIRA, THIAGO ANTONIO GRANDI DE TOLOSA, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9404 - Aplicação de Redes Neurais ao Problema de Reconhecimento de Padrões por um Sonar Ativo - ALEXANDRE RIBEIRO MORRONE, CRISTINA COELHO DE ABREU, EDUARDO KOITI KIUKAWA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9405 - Tudo que se Precisa Saber sobre a Prática da FFT - Transformada Rápida de Fourier (Inclui Software) - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9406 - A Survey on Speech Enhancement Techniques of Interest to Speaker Recognition - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9407 - Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, MÁRCIO A. MATHIAS, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9408 - Implementação e Teste de Filtros do Tipo Adaptativo e ©Notch® para a Remoção de Interferência de 60 Hz em Sinais de Eletrocardiograma - FLÁVIO ANTÔNIO MENEGOLA, JOSÉ AUGUSTO DE MATTOS, JOSÉ GOMES G. FILHO, SIDNEY SILVA VIANA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9409 - Compressão de Sinais de Voz utilizando Transformadas de Karhunen-Loève, Fourier e Hadamard - IVAN LUIS VIEIRA, LUIZ FERNANDO STEIN WETZEL, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9410 - ©Ray Tracing® Paralelo - EDUARDO TOLEDO SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9411 - Implementação de uma Ferramenta Posicionador para ©Gate-Arrays® Tipo Mar de Portas - JORGE W. PERLAZA PRADO, WILHELMUS A. M. VAN NOIJE
- BT/PEE/9412 - Tudo que se Precisa Saber Sobre a Teoria da FFT - Transformada Rápida de Fourier - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9413 - Análise do Ruído Sonoro em uma Sala de Aquisição de Amostras de Som com Microcomputador - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9414 - Cor: Aspectos Relevantes para Visualização de Dados - SÍLVIA DELGADO OLABARRIAGA
- BT/PEE/9415 - Projeto de Filtros Digitais IIR com Fase Aproximadamente Linear Utilizando Redução de Ordem - IVAN F. J. RODRIGUES, MAX GERKEN
- BT/PEE/9416 - GERAFILTRO: Sistema para Projeto Automático de Filtros Digitais ©IIR® (da especificação em alto nível ao leiaute do ©ASIC®) - RICARDO PIRES, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9417 - Redes Neurais Artificiais Aplicadas à Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9501 - Estudo Comparativo de Métodos de Cálculo da Frequência Fundamental - MARCOS COSTA HUNOLD, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9502 - Combinando Técnicas de Redes Neurais Artificiais e Informações de Excitação no Reconhecimento Automático do Locutor - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9503 - Utilização de Redes Neurais Artificiais para Detecção e Identificação de Falhas em Circuitos - MÁRCIO YUKIO TERUYA, ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9504 - Uso de Redes Neurais Artificiais no Reconhecimento de Locutores no Domínio Temporal - BENEDITO JOSÉ BARRETO FONSECA JÚNIOR, EUVALDO CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9505 - Projeto de Filtros Passivos e Ativos em Técnicas de Circuitos Integrados de Microondas - DAVID VIVEIROS JÚNIOR, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9506 - Uma Análise de Clustering para as Frases de Projeto NESPER - RONALDO OLIVEIRA MESSINA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9507 - Controle com Estrutura Variável e Modos Deslizantes - Um Estudo para Aplicação em Controle Carga-frequência da Geração - JOSE PAULO F. GARCIA, JOCELYN FREITAS BENNATON

- BT/PEE/9508 - Recuperação das Margens de Ganho e de Fase para Sistemas de Fase Não Mínima por Realimentação da Saída - MARCO H. TERRA, VITOR M. P. LEITE
- BT/PEE/9509 - Sistema de Inspeção Óptica de Dispositivos Bi-Dimensionais - CASIMIRO DE ALMEIDA BARRETO, PEDRO LUIS PRÓSPERO SANCHEZ
- T/PEE/9510 - Sistema de Partículas Uma Poderosa Técnica de Animação em Computação Gráfica - RENATO CURTO RODRIGUES, JOÃO ANTÔNIO ZUFFO
- BT/PEE/9511 - Efeito de Ruídos em Sinais de Voz Visualizados em Trajetórias Neurais de Kohonen - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9601 - "Um Reconhecedor de Sinais Sonoros Utilizando LVQ" - ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9602 - "Coleção Artificial Neural Networks: Uma Visão Geral dos Sistemas Neurais Artificiais de Stephen Grossberg" - CHIU HSIUNG HUANG
- BT/PEE/9603 - "Reactively-Sputtered TiN Formation Using a RF Magnetron System"- SÉRGIO PAULO AMARAL OSÓRIO, LUIZ SÉRGIO ZASNICOFF
- BT/PEE/9604 - Aspectos em Tradução de Linguagens Naturais Através de Redes Neurais Artificiais - CARLOS EDUARDO DANTAS DE MENEZES, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9605 - Implementação de Blocos Passa-Tudo Utilizando Realimentação de Erro - SÉRGIO JOSÉ CARNEIRO LEÃO, MAX GERKEN
- BT/PEE/9606 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Sakoe - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9607 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Steinbuch - ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9608 - Desenvolvimento de uma Estrutura de Duplo Nível de Metal para a Confecção de Interconexões em Circuitos Integrados - JOSÉ AUGUSTO DE ALENCAR PEREIRA, LUIZ CARLOS MOLINA TORRES
- BT/PEE/9609 - Determinação de Parâmetros de Processo para Fotomáscara "Balzers" Utilizando Gerador de Padrões - JORGE SEKI, MEGUMI SAITO
- BT/PEE/9610 - Um Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Distribuídos - PEDRO F. ROSA, JOÃO A. ZUFFO
- BT/PEE/9611 - Interpretações Teóricas do Funcionamento Cerebelar: Uma Revisão - MARCUS FRAGA VIEIRA, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PEE/9612 - Marcapasso Cardíaco Temporário Microcontrolado de Demanda e Baixo Consumo - FLAVIO ANTONIO MENEGOLA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9613 - Um Sistema de Planejamento de Ação Baseado em Casos para uma Célula Flexível de Manufatura - RICARDO LUIS DE FREITAS, MÁRCIO RILLO
- BT/PEE/9614 - Aplicações do Boundary-Scan para o Teste de Módulos Multichip - ROBERTO C. COSSI JR., JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS
- BT/PEE/9615 - A 2.488 Gb/s GaAs 1:4/1:16 Demultiplexer IC with Skip Circuit for Sonet STS-12/48 Systems - TAUFIK ABRÃO, FATIMA S. CORRERA
- BT/PEE/9616 - Uma Contribuição para a Construção de Algoritmos em Projetos de Redes - ALLAN DE SOUZA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PEE/9617 - Análise Crítica dos Métodos de Medição do Intervalo QT do Eletrocardiograma - SÍDNEY DA SILVA VIANA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9618 - Deposição e Caracterização de Filmes de SiO₂ Crescidos pela Técnica de PECVD a Baixa Temperatura - MARCO ALAYO CHÁVEZ, INÉS PEREYRA
- BT/PEE/9619 - PARSTOOL: Uma Ferramenta de Auxílio à Simulação de Sistemas Paralelos - LI KUAN CHING, LIRIA MATSUMOTO SATO
- BT/PEE/9620 - Análise de um Método de Otimização por Malha no Treinamento de Robôs - OLÍMPIO MURILO CAPELI, JOSÉ CARLOS T. B. MORAES, SADA O ISOTANI
- BT/PEE/9701 - Identification of Unstable Mechanical Systems - ROBERTO MOURA SALES, ANSELMO BITTAR, MICHAEL PORSCHE, LAÉRCIO LUCCHESI
- BT/PEE/9702 - Analysis of the Subthreshold Slope Transition Region in SOI nMOSFET - VICTOR SONNENBERG, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PEE/9703 - Introduction of the SOI MOSFET Dimensions in the High-Temperature Leakage Drain Current Model - MARCELO BELLODI, JOÃO ANTONIO MARTINO, DENIS FLANDRE
- BT/PEE/9704 - Controle de Largura de Banda Dinâmica para Transmissões Multicast para Redes de Alta Velocidade - SANG SOON LEE, SERGIO TAKEO KOFUJI
- BT/PEE/9705 - Uma Modificação Proposta para o Controle Preditivo Generalizado com Filtro de Kalman - JAIME QUINTERO R., OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9706 - Aplicações de Redes Neurais em Previsões Financeiras - OLÍMPIO MURILO CAPELI, EUVALDO F. CABRAL JR.

- BT/PEE/9707 - Sistema Microcontrolado, Multicanal e Portátil para Estimulação Neuromuscular Funcional - ROGÉRIO QUIARIM ZARZA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9708 - Requisitos para o Mapeamento Tecnológico em Projetos de Microeletrônica - LUCIANO DE OLIVEIRA CORRÊA DE BRITO, JOSÉ ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS
- BT/PEE/9709 - Sistemas PRMA com Dados Acoplados - JOSÉ AUGUSTO DE LIMA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSZY
- BT/PEE/9710 - Algoritmos Genéticos (AG's) para a Otimização de Controladores Nebulosos - JULIO CESAR CEBALLOS AYA, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9711 - Um Estudo Sobre a Redução de Ruídos em Sinais Caóticos - ERNANE JOSÉ XAVIER COSTA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9712 - Geradores não Lineares de Sequência para uso em Sistemas Spread Spectrum - ANGEL ANTONIO GONZALEZ MARTINEZ, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSZY
- BT/PEE/9713 - Modelamento Físico do Sistema Heteroestrutura - Metal - CECÍLIA WETTERLE RODRIGUES, MEGUMI SAITO
- BT/PEE/9714 - Tensões Induzidas em Linhas Aéreas por Descargas Atmosféricas Indiretas - Modelagem e Aplicação ao Cálculo de Interrupções - ALEXANDRE PIANTINI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEE/9715 - RECMAP - Uma Ferramenta para Otimização em Síntese de Alto Nível Baseada em Reconhecimento Funcional e Mapeamento de Componentes - ANDRÉ GERHARD, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9716 - Estudo da Sinterização de Contatos Al/Ti por Recozimento Térmico Rápido Visando a Aplicação em Circuitos Integrados - ANGELO EDUARDO BATTISTINI MARQUES, ROGÉRIO FURLAN
- BT/PEE/9717 - Mixed H2/H- Control of Discrete-Time Markovian Jump Linear Systems - OSWALDO L. V. COSTA, RICARDO P. MARQUES
- BT/PEE/9718 - Aluminium Etching with CCl4-N2 Plasmas - ANGELA MAKIE MAKAZAWA, PATRICK VERDONCK
- BT/PEE/9719 - O Uso de Resistes Amplificados Quimicamente e de Sililação em Litrografia por Feixe de Elétrons - ANTONIO C. SEABRA, PATRICK B. VERDONCK
- BT/PEE/9720 - Implementação de um Simulador de um Circuito Neuro-Medular que Atua no Controle da Força Motora - LUIZ JURANDIR SIMÕES DE ARAÚJO, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PEE/9721 - Avaliação das Características Físico-Químicas e Elétricas de Filmes de SiO2 Depositados por PECVD a Partir da Reação entre O2 e TEOS - ALVARO ROMANELLI CARDOSO E CLAUS MARTIN HASENACK
- BT/PEE/9722 - Controle e Simulação Dinâmica de Colunas de Destilação: Aplicação Prática em uma Coluna com Refluxo por Gravidade
- BT/PEE/9723 - Circuitos de Portas Lógicas Primitivas Implementados a Partir de uma Classe de Lógicas Paraconsistentes Anotadas - JOÃO INÁCIO DA SILVA FILHO, JAIR MINORO ABE, PEDRO LUÍS PRÓSPERO SANCHEZ
- BT/PEE/9724 - Lattice Heating and Energy Balance Consideration on the I-V Characteristics of Submicrometer Thin-Film Fully Depleted SOI NMOS Devices - CLAUDIA BRUNETTI, NELSON L. A. BRAGA, LUIZ S. ZASNICOFF
- BT/PEE/9725 - Identificação de um Processo de Neutralização de pH via Redes Neurais - SILVIO FLABOREA, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9726 - Uma Estratégia de Migração de Sistemas de Telefonia Móvel com Tecnologia AMPS para a Tecnologia CDMA - RONALD LUÍS CLARKSON EISNER, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSZY
- BT/PEE/9727 - Controle de pH Usando Conceitos de Invariantes de Reações e Geometria Diferencial - OSCAR A. ZANABARIA S., CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9728 - Estudo da Influência dos Parâmetros de Recozimento Térmico Rápido na Morfologia dos Filmes de TiSi2 Formados e sua Correlação com a Tensão Mecânica - SILVANA GASPAROTTO DE SOUZA, ARMANDO ANTONIO MARIA LAGANÁ, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9729 - Analysis of Silicon Surface Microirregularities by LASER Light Scattering - JOSÉ CÂNDIDO DE SOUSA FILHO, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9730 - Wavelets in Music Analysis and Synthesis: Timbres Analysis and Perspectives - REGIS ROSSI ALVES FARIA, RUGGERO ANDREA RUSCHIONI, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9731 - Estudo de Efeitos Mútuos da Distribuição de Corrente em Condutores - AUGUSTO CARLOS PAVÃO, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI
- BT/PEE/9801 - Equivalência entre a Semântica da Lógica de Transações e a Semântica de sua Implementação Prolog - PAULO E. SANTOS, FLÁVIO S. C. DA SILVA
- BT/PEE/9802 - Nash Game in Mixed H2/Hoo Control Theory a Convex Optimization Approach - HELENICE OLIVEIRA FLORENTINO, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9803 - Text-Independent Speaker Recognition Using Vector Quantization and Gaussian Mixture Models - THOMAS E. FILGUEIRAS Fº, RONALDO O. MESSINA E EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9804 - Elementos Piezoresistivos para Sensores de Pressão com Tecnologia CMOS - LUIZ ANTONIO RASIA, E. C. RODRIGUEZ

- BT/PEE/9805 - Automação do Processo de Casamento de Impedância em Sistemas de Aquecimento por Microondas - J. C. DE SOUZA, J. T. SENISE, V. C. PARRO, F. M. PAIT
- BT/PEE/9806 - Considerações para o Projeto de Células de Memória SI com Transistores HEMT - JAIME H. LASSO, EDGAR CHARRY R.
- BT/PEE/9807 - Covariance Controller with Structure Constraint and Closed Loop H Bound - ANTÔNIO CARLOS DE LIMA, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9808 - Controle Unidimensional de Objetos: Uma Aplicação Prática em Fresadora Automática - MÁRCIO A. F. MURATORE, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9809 - Redes Neurais com Retardos Temporais Aplicadas ao Reconhecimento Automático do Locutor - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9810 - Topological Computation and Voluntary Control - HENRIQUE SCHÜTZER DEL NERO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA, ALFREDO PORTINARI MARANCA
- BT/PEE/9811 - Casamento de Impedância em Guia de Onda Retangular Utilizando como Variável Medida a Potência Refletida - J. C. DE SOUZA JR., J. T. SENISE
- BT/PEE/9812 - Applied Surface Science - RONALDO D. MANSANO, PATRICK VERDONCK, HOMERO S. MACIEL
- BT/PEE/9813 - Contribuição ao Estudo da Morfologia da Superfície e da Interface do Siliceto de Titânio Formado sobre Si (100) Empregando a Técnica de Microscopia de Força Atômica (AFM) - N. M. HASAN, A. A. M. LAGANÁ, S. G. SANTOS FILHO
- BT/PEE/9814 - Estudo Experimental da Tensão Mecânica em Filmes Finos de Cobre Obtidos por Evaporação ou Deposição Eletroquímica Espontânea - A. I. HASHIMOTO, S. G. FILHO
- BT/PEE/9815 - Controle Híbrido de Manipuladores Robóticos - WEBER ALLEGRI, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PEE/9816 - Entropia Informacional e Cronobiologia - ANA AMÉLIA BENEDITO SILVA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PEE/9817 - Estabilidade de Lyapunov e Controle de Atitude - FERNANDO SOUSA, FREITAS JÚNIOR, PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PEE/9818 - Projeto de um Conversor de Frequências Resistivo em Tecnologia MMIC - CLÁUDIA C. A. APARÍCIO, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9819 - Estudo de Sensibilidade de um Sistema de Modulação Digital via Simulação - RONALDO DI MAURO, LUIZ ANTONIO BACCALÁ
- BT/PEE/9820 - Engenharia do Conhecimento Aplicada ao Conhecimento Aplicado ao Domínio de Gerenciamento de Falhas em Redes de Comunicação: Uma Abordagem Baseada em Modelo - MARILZA ANTUNES DE LEMOS, MARCIO RILLO
- BT/PEE/9821 - Uma Biblioteca de Métodos de Resolução de Problemas de Planejamento para Fornecer Apoio à Aquisição de Conhecimento - LELIANE NUNES DE BARROS, MARCIO RILLO
- BT/PEE/9822 - Um Estudo de Técnicas de Aprendizado por Reforço Livre de Modelo - Aplicação ao Pêndulo Invertido - SÉRGIO RIBEIRO AUGUSTO, ADEMAR FERREIRA
- BT/PEE/9823 - Identificação de Sistemas Dinâmicos com Redes Neurais - FRANCISCO CARLOS PONS, CLÁUDIO GARCIA
- BT/PEE/9824 - Comparison between Single and Double Langmuir Probe Techniques for Analysis of Inductively Coupled Plasmas - RAUL M. DE CASTRO, GIUSEPPE A. CIRINO, PATRICK VERDONCK, HOMERO S. MACIEL, MARCOS MASSI, MARCELO B. PISANI, RONALDO D. MANSANO
- BT/PEE/9825 - DECMEF: Um Sistema de Decomposição Aplicada à Síntese de Máquinas de Estados Finitos - CARLOS HUMBERTO LLANOS QUINTERO, MARIUS STRUM
- BT/PEE/9826 - Controladores Preditivos Através de Desigualdade Matriciais Lineares - RENATO C. BARÃO, RICARDO P. MARQUES, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9827 - Parametrization of all H2 Optimal Output Feedback Controllers - JOÃO YOSHIYUKI ISHIHARA, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9901 - Digital Equalization Using Time Delay Neural Network (TDNN) - MARIO ANDRÉS VERGARA ESCOBAR, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9902 - Simulação e Análise Estrutural do Modelo de Deposição da Publicação ICRP 66 - JOAQUIM CARLOS SANCHES CARDOSO, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MOARES
- BT/PEE/9903 - Modelamento e Ajuste por Regra Sub-Ótica de Maximização da Informação da Mútua de um Sistema Reconhecedor de Palavras Isoladas, Independente do Falante, para Ambientes Adversos, com Redundância de Informação - MÁRIO MINAMI, IVANDRO SANCHES
- BT/PEE/9904 - Modelagem Matemática e Controle Multivariável do Tanque de Contato Empregado no Processo de Lixiviação dos Minerais Niquelíferos - DANIEL GUZMÁN DEL RÍO, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9905 - Avaliação de Transdutores para Análise Metabólica Humana - HENRIQUE TAKACHI MORIYA, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9906 - Estudo da Aplicação do Método TLM-2D à Análise de Campos Eletromagnéticos - MARCO ANTONIO MATHIAS, JORGE M. JANISZEWSKI

- BT/PEE/9907 – Comportamento Transitório de Campos Eletromagnéticos em Meios Condutivos: Simulação Computacional Eficiente por Diferenças Finitas no Domínio do Tempo – ALEXANDRE AUGUSTO OTTATI NOGUEIRA, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI
- BT/PEE/9908 – H_2 and H_∞ Control for Maglev Vehicles – ANSELMO BITTAR, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9909 – Amplificador Distribuído em GaAs – 1 a 17 GHz – CRISTIANE FERREIRA DE ARAÚJO, FATIMA SALETE CORRERA
- BT/PEE/9910 – Modelo Não-Linear de MESFET para Simulação de Amplificadores de Alta Eficiência – ANTONIO SANDRO VERRI, FATIMA SALETE CORRERA
- BT/PEE/9911 – Projeto de um Sistema de Propulsão e Levitação Magnética com Dois Graus de Liberdade – ALEXANDRE BRINCALEPE, FELIPE MIGUEL PAIT
- BT/PEE/9912 – A New Technique to Obtain the MOS Gate Oxide Thickness and Electric Breakdown Field Distributions From Fowler-Nordheim Tunneling Current – WILLIAN AURÉLIO NOGUEIRA, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9913 – Polarization Effects on the Raman and Photoluminescence Spectra of Porous Silicon Layers – WALTER JAIMES SALCEDO, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PEE/9914 – Aproximação Gaussiana Melhorada Aplicada na Análise de um Método de Aquisição em Dois Estágios para Sistemas DS/CDMA – IVAN ROBERTO SANTANA CASELLA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PEE/9915 – Simulação e Análise de Soluções de Comunicação entre Sub-Redes IP sobre ATM – MARCELO ZANONI SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9916 – Uma Nova Abordagem para a Análise Computacional de Movimento – RAMONA M. STRAUBE, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9917 – Caches Remotos e Prefetching em Sistemas Multiprocessadores de Alto Desempenho – Considerações Arquiteturais – EDWARD DAVID MORENO, SERGIO TAKEO KOFUJI
- BT/PEE/9918 – Um Modelo de Referência para o Controle do Processo de Lodo Ativado – OSCAR A. ZANABRIA SOTOMAYOR, SONG WON PARK, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9919 – Identificação Não-Linear de um Processo de Neutralização de pH Multivariável Utilizando Modelos Narmax Polinomiais com Tempo Morto – ROSIMEIRE APARECIDA JERÔNIMO, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9920 – Avaliação do U-Net em Clusters com Rede Myrinet – PAULO A. GEROMEL, SERGIO T. KOFUJI

