

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia Eletrônica

13-AGP-1998

ISSN 1413-2206

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)**

**Nasser Mahmoud Hasan
Armando Antonio Maria Laganá
Sebastião Gomes dos Santos Filho**

São Paulo - 1998

FICHA CATALOGRÁFICA

Hasan, Nasser Mahmoud

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. dos SantosFilho. -- São Paulo : EPUSP, 1998.

16 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9813)

1. Película fina (Semicondutores) 2. Silício de titânio 3. Microscopia de força atômica I. Laganá, Armando Antonio Maria II. Santos Filho, Sebastião Gomes III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica IV. Título V. Série

ISSN 1413-2206

CDD 621.38152

620.189322

620.187

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por N. M. Hasan, sob orientação dos Profs. Drs. A. A. M. Laganá e S. G. Santos Filho.: "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)", defendida em 12/03/98, 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.

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)

“Contribution to the study of titanium silicide interface and surface morphology on Si(100) using atomic force microscopy (AFM)”

Hasan, N.M.; Laganá, A.A.M; Santos Filho, S.G.

Resumo

Estudamos a influência do processo de deposição de filmes de Ti (evaporação ou “sputtering”) e das receitas de recozimentos com diferentes rampas de aquecimento na morfologia do siliceto de titânio sobre Si (100).

As receitas de recozimento consistiram de dois tipos de rampas iniciais de aquecimento (rápido ou lento) desde a temperatura ambiente até temperaturas entre 650°C a 850°C, seguido por: resfriamento natural, ou patamar isotérmico em um intervalo de tempo ou uma rampa com inclinação diferente (lenta ou rápida), seguido por patamar de 850°C, em ambiente de nitrogênio.

Com relação aos perfis temporais de temperatura e filmes evaporados de titânio sobre Si (100), verificamos que os filmes de siliceto de titânio apresentarão baixos valores de raios médios de grãos e regiões expostas de silício, quando a rampa de aquecimento era lenta. Entretanto, a superfície do siliceto de titânio apresentou raios médios de grãos maiores comparados com o caso lento quando a rampa de aquecimento era rápida.

Com relação ao processo de deposição, verificamos que os filmes de siliceto de titânio apresentaram baixos valores de rugosidades, de raios médios de grãos e sem regiões expostas de silício, quando o filme de titânio era depositado por “sputtering” e utilizando rampa com subida lenta.

Abstract

We have investigated the influence of different titanium deposition processes (evaporation or sputtering) and influence of different transient annealing recipes on the titanium silicide morphology on Si (100).

The transient annealing recipes consisted in two heating ramps (slow or rapid) from room temperature to the temperature in a range of 650°C to 850°C, which was followed by: natural cooling, or a soak temperature during a given time interval or a different ramp slope (slow or rapid) up to a soak temperature of 850°C. All the annealings were performed in a rapid thermal processing in nitrogen.

Regarded to the transient temperature profiles and having evaporated titanium on Si (100), we have established that the titanium silicide films will present low values for the average ray of the grains and exposed silicon regions, if a slow heating ramp is used..

However, if a rapid heating ramp (50°C/s) is used, then the titanium silicide surface will present higher average ray of the grains compared to the slow heating ramp case. Concerning to the deposition processes, we have established that the titanium silicide films will present low roughness and low average ray of the grains and also no presence of exposed silicon regions if sputtering is used.

Introdução

Os filmes de siliceto de titânio com estrutura ortorrômbica de face centrada (TiSi_2 -C54) têm sido extensivamente empregados em contatos e interconexões em dispositivos VLSI/ULSI, por apresentar a menor resistividade dos silicetos refratários ($13\text{-}20\ \mu\Omega\text{cm}$), alta estabilidade térmica e compatibilidade com os diversos processos em microeletrônica ^[1,2].

Os filmes de TiSi_2 -C54 têm sido geralmente obtidos em fornos de processamento térmico rápido (RTP) e em ambiente de nitrogênio ^[3].

Com a redução contínua das dimensões mínimas da tecnologia de fabricação de circuitos integrados, o estudo da morfologia dos filmes de siliceto de titânio vem ganhando importância, principalmente, para manter o processo de formação dos mesmos compatível com a etapa de litografia e reduzir a rugosidade de interface silício/siliceto, para viabilizar o emprego de junções mais rasas e ainda reduzir a tensão mecânica e aumentar a temperatura de processamento dos filmes ^[4,5].

Nas aplicações em que o contato siliceto/silício é utilizado para formar diodos de junção, uma interface rugosa pode conduzir a um baixo desempenho nas suas características elétricas ^[6]. A presença de distribuições de corrente de fuga com valores maiores de 10^{-6}A (área = $0,25\text{ mm}^2$) nas curvas I-V é atribuída à rugosidade de interface silício/siliceto ^[7].

Diversos trabalhos foram publicados focalizando a nucleação, o crescimento e a morfologia da superfície e da interface apresentado pelo siliceto de titânio formado sobre silício, utilizando diversas técnicas de caracterização: microscopia eletrônica de varredura e de transmissão, espectroscopia de elétrons Auger e difração eletrônica de baixa energia ^[8-11].

Poucos trabalhos foram feitos utilizando o microscópio de força atômica (AFM), visando obter maiores informações sobre parâmetros que influenciam a rugosidade da superfície e da interface TiSi_2/Si , tais como: ambiente de recozimento, espessura do filme de siliceto de titânio formado, influência da rampa de temperatura e do tempo de recozimento, dopagem do substrato, etc.

O objetivo principal deste trabalho será o de estudar a influência do processo de deposição de filmes de Ti (evaporação ou "sputtering") e das receitas de recozimentos com diferentes rampas de aquecimento na morfologia da superfície e da interface do siliceto de titânio sobre Si (100).

Os filmes foram caracterizados por técnicas de microscopia de força atômica (AFM), difração de raio-X (XRD), microscopia eletrônica de varredura (SEM), espectroscopia de retroespalhamento Rutherford (RBS) e sistema 4-pontas para obter os seguintes parâmetros de caracterização: rugosidade de superfície e de interface, raio médio de grãos, descontinuidades dos filmes, fases formadas, resistência de folha e espessura de filme.

Procedimentos experimentais

a) Preparação das amostras

Foram utilizadas, como substrato, lâminas de Si (100) de 75mm de diâmetro, tipo P, dopadas com Boro, espessura de $380 \pm 25\mu\text{m}$ e com resistividade na faixa de 10 a $20\Omega\text{cm}$.

As lâminas sofreram limpeza RCA padrão ^[12,13], seguido por última etapa em uma solução diluída de ácido fluorídrico ($50\text{H}_2\text{O}:1\text{HF}$), para remover o óxido nativo. Imediatamente após a limpeza, as lâminas foram carregadas em seus respectivos sistemas de deposição por evaporação ou por “sputtering”. As espessuras dos filmes de Ti foram obtidos através do método de resistividade ^[14].

As lâminas de Si(100) com filme de Ti depositado foram clivadas para que diferentes condições de processo de recozimento fossem comparados numa mesma lâmina.

A formação do siliceto foi realizada em um equipamento de processamento térmico rápido (RTP), modelo AG Heatpulse 410, com lâmpadas halógenas controladas por computador. Como gás de processo foi utilizado nitrogênio ultra puro.

As amostras foram obtidas através cinco processos de recozimentos, descritos a seguir:

Primeiro conjunto (efeito da rampa): Recozimentos feitos em uma única etapa, com taxa constante de subida de temperatura de 1°C/s (rampa lenta) ou 50°C/s (rampa rápida) até atingir as temperaturas finais de 600°C , 700°C , 750°C e 850°C e sem patamar.

Segundo conjunto (efeito do patamar): Recozimentos em uma única etapa, com taxa de subida rápida de 50°C/s ou lenta 1°C/s até atingir temperaturas finais de 650°C , 700°C e 750°C , com patamar de 60s.

Terceiro conjunto (rampa inicial rápida + lenta, patamar): Recozimentos com duas rampas de subida distintas até chegar na temperatura final, sendo que a primeira etapa com subida de 50°C/s até atingir as temperaturas de 550°C , 600°C e 650°C , seguido por uma subida lenta de 1°C/s e um patamar de 60s.

Quarto conjunto (rampa inicial lenta ou rápida + rápida, patamar): Taxa constante de subida de temperatura de 1°C/s (subida lenta) ou 50°C/s (subida rápida) até atingir 750°C e, posteriormente, uma subida rápida até 850°C , agora com taxa de 100°C/s . Em seguida, permanecendo no patamar de 850°C com tempos de 5s e 60s.

Quinto conjunto: Além das deposições por evaporação, foram empregadas outras amostras que já haviam sido depositadas por pulverização catódica no trabalho de doutorado de Laganá ^[4]. Essas amostras adicionais, já recozidas por RTP, servirão mais tarde para comparar diferentes processos de deposição. Essas amostras foram preparadas por Laganá em um equipamento de “sputtering”. Foram depositados filmes de Ti com 40nm de espessura, com taxa de 10nm/min . e utilizando potência de 800 watts.

Após os recozimentos térmicos das amostras de filmes de titânio sobre silício para obtenção de siliceto de titânio, parte do titânio que não reage com o silício para formar o siliceto, é chamada de titânio não reagido e foi opcionalmente removido em solução de amônia [15-16].

Para o estudo da interface TiSi_2/Si é necessário remover o siliceto de titânio. Para essa remoção, utilizamos uma solução seletiva de ácido fluorídrico que remove o siliceto de titânio sem afetar substancialmente a superfície do silício [17].

b) Caracterização das amostras

Imagens da topologia superficial e interfacial dos filmes de TiSi_2 formadas sobre Si (100), parâmetros como rugosidade média (R_m), rugosidade RMS (R_{RMS}), rugosidade vale-pico ($R_{\text{v-p}}$), área de superfície (A_s), área projetada (A_p), volume (V), histogramas das distribuições de alturas e raio médio dos grãos (R_{mg}) foram obtidas com a ajuda de um sistema de processamento de imagens (SPI) que está acoplado ao AFM. Esse sistema também permite a análise de perfis topográficos. A área de varredura para cada superfície analisada foi variada numa larga faixa e, posteriormente, fixada em $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$, nas direções x e y, respectivamente. As amostras foram analisadas por um AFM fabricado pela Park Scientific Instruments e por outro da Digital Instruments (NANOSCOPE II).

Os difratogramas foram obtidos por um difratômetro, modelo PW1710/Philips, usando valores para a tensão e a corrente do tubo de raio x, de respectivamente, 40KV e 40mA. As medidas foram realizadas com a amostra em rotação, com uma varredura em 2θ entre 30 a 60 graus, onde os principais picos referentes as fases do siliceto de titânio poderiam ser encontrados. As análises dos difratogramas permitiram identificar as fases presentes nos filmes de siliceto de titânio.

As imagens da morfologia dos filmes com aumentos de 10.000 ou 20.000 vezes foram obtidos através de um microscópio, modelo SEM 515/Philips, usando uma tensão de 25,0 KV e inclinação da amostra de aproximadamente 70° em a relação a horizontal.

As análises de RBS foram realizadas em um acelerador tipo Tandem, modelo 55 DH/NEC. Foi utilizado um feixe de partículas de He^{++} , com energia de 1,5MeV, inclinado com ângulos de 0 e 70° com a normal da amostra. As análises RBS permitem a identificação de contaminantes presentes na amostra, estimativa das espessuras dos filmes formados e estequiometria.

Os filmes obtidos foram também analisados através do sistema 4-pontas para a determinação da resistência de folha do siliceto formado e obtenção da espessura de filme de titânio depositado [14].

c) Cálculo do raio médio de grão (R_{mg}) [18].

Para a estimativa do raio médio do grão, assumiremos que:

- O grão é elipsoidal (dimensão vertical muito menor do que a dimensão horizontal).
- A fração de área será do elipsoide (grão) acessível pela ponta do AFM será modelada como uma calota elipsoidal de base esférica (1/2 elipsoide) cujo raio (da base esférica) será chamado de raio médio do grão (R_{mg}).
- A média das alturas corresponderá à altura média da calota elipsoidal (H).

$$R_{mg} = \sqrt{\left[\frac{3}{2K} \arctg \left(\sqrt{\frac{R_{mg}^2 - H^2}{H^2}} \right) \right]^2 + H^2} \quad (1)$$

onde:

K: é a razão entre a área das calotas superficiais que descrevem os grãos e os volumes dos mesmos;
H: é a altura média dos grãos.

Note-se que a expressão 1 é iterativa e permite obter o valor do raio médio de grão (R_{mg}), uma vez conhecidos K e H.

Resultados e discussão

a) Efeito da rampa de aquecimento

No primeiro conjunto de recozimento, investigamos a influência da rampa de temperatura; rampa lenta (1°C/s) e rampa rápida (50°C/s), nos parâmetros citados anteriormente.

Os filmes finos de Ti foram obtidos através da deposição por evaporação com espessuras médias de $67,4 \pm 1,6\text{nm}$.

Para o caso de tratamento térmico lento, os valores de resistência de folha apresentam-se menores do que para o caso de tratamento térmico rápido.

Em relação à topografia as superfícies de siliceto de titânio formadas por recozimentos com taxa de subida rápida (50°C/s) e sem patamar, apresentaram-se mais suaves, enquanto que para o caso de taxa de subida lenta (1°C/s) apresentaram-se mais rugosas. Para o caso lento, em que o pacote térmico é maior, há uma maior tendência à rugosidade (R_m , R_{v-p} e R_{RMS}) e tamanho de grão maiores comparado ao caso rápido, para as mesmas temperaturas finais. Também, a rugosidade aumenta à medida que aumenta a temperatura final.

Para a temperatura de 850°C , ocorre o aparecimento da fase TiSi_2 -C54 referente aos planos (311) e (040), observados por cartas; referente ao plano (313), como observado por NASSIOPOLUS et al.^[19] e CHITTIPEDDI et al.^[20] para o caso de rampa lenta. Para o caso rampa rápida há também o surgimento da fase TiSi_2 -C54 referente ao plano (040).

b) Efeito do patamar de temperatura

Nesse segundo conjunto de recozimento, estudamos o efeito do patamar isotérmico de temperatura nas características morfológicas apresentadas pelos filmes finos de siliceto do titânio.

Os filmes de titânio foram obtidos através de deposição de filmes por evaporação, com espessuras médias de $69,15 \pm 2,62\text{nm}$.

Para as amostras submetidas ao tratamento térmico de subida rápida apresentaram valores de resistência de folha inferiores, quando comparados com o caso lento, e, em ambos os casos de tratamento térmico, com patamares isotérmicos em (750°C , 60s) os filmes apresentaram valores baixos de resistência de folha, indicando a possível presença da fase $\text{TiSi}_2\text{-C54}$. Tal fato foi confirmado através das medidas de raios-X.

Em relação aos valores de rugosidade dos filmes para o patamar isotérmico em 750°C , não houve diferença utilizando rampa rápida ou rampa lenta. Em ambos casos, apresentaram a fase $\text{TiSi}_2\text{-C54}$. Mesmo com o patamar isotérmico, parece que para o caso lento há a persistência de formação de vales, o que contribui para valores de rugosidades maiores.

Para o caso rápido, há uma tendência de apresentar valores menores de rugosidade. Uma possível explicação para os valores menores de rugosidades, observados para o caso rápido, pode estar associado, com a transformação da fase $\text{TiSi}_2\text{-C49}$ para a fase $\text{TiSi}_2\text{-C54}$, acontecendo de forma posterior no caso rápido comparado ao caso lento.

c) Taxa inicial rápida seguida de lenta

Neste terceiro conjunto de recozimento empregamos rampa rápida seguida por lenta ou rampa lenta seguido por rápido, ambos com patamares isotérmicos.

Os filmes de titânio foram depositados por evaporação e apresentaram espessuras médias de $68,69 \pm 1,35\text{nm}$.

Pelas análises dos difratogramas somente ocorreu a formação da fase $\text{TiSi}_2\text{-C54}$ para o caso com segunda inclinação até 750°C e com patamar isotérmico.

A rugosidade, de forma geral, aumenta com a temperatura e com o aumento do pacote térmico.

Para o caso em fase de apresentação, isto é, taxa inicial rápida seguida de lenta, também mostraremos resultados da medida da rugosidade de interface TiSi_2/Si , a fim de demonstrar que as rugosidades superficial e interfacial apresentam valores da mesma ordem.

A rugosidade de interface, assim como a de superfície, aumentam com a temperatura. O fato mais importante é que a rugosidade de interface acompanha aproximadamente a rugosidade de superfície. Portanto, as conclusões sobre rugosidade superficial podem ser extrapoladas diretamente para as de interface, ao menos, em primeira ordem.

Já, para esse caso, podemos observar que o valor do raio médio permaneceu aproximadamente constante, inclusive para temperaturas mais altas. Tal fato permite concluir que a rampa lenta em temperaturas mais altas (após a rampa rápida) não é o fator determinante de menor tamanho de grão.

d) Taxa inicial lenta ou rápida seguida por uma subida rápida + patamar

Nesse conjunto de experimentos, foram empregadas receitas de recozimentos com taxa constante de subida de temperatura de 1°C/s (subida lenta) e 50°C/s (subida rápida) até atingir 750°C e, posteriormente, uma subida rápida até 850°C , agora com taxa de 100°C/s . Em seguida, permanecendo no patamar de 850°C com tempos de 5s e 60s. Com este conjunto de experimentos comprovaremos o efeito da rampa lenta em temperaturas mais baixas

Os filmes de titânio foram depositados por evaporação apresentando espessuras médias de $34,15 \pm 0,90$ nm, obtidas através do método da resistividade.

Os recozimentos realizados estão detalhados e esquematizados na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 Processo de recozimentos das amostras INI1B5, INI1B3, INI1B8 e INI1B7

Amostra	1ª etapa de subida ($^{\circ}\text{C}$)	Taxa da rampa ($^{\circ}\text{C/s}$)	2ª etapa de subida ($^{\circ}\text{C}$)	Taxa da rampa ($^{\circ}\text{C/s}$)	Tempo no patamar (s)
INI1B5	$T_{\text{amb}}-750$	1	750 - 850	100	5
INI1B3	$T_{\text{amb}}-750$	1	750 - 850	100	60
INI1B8	$T_{\text{amb}}-750$	50	750 - 850	100	5
INI1B7	$T_{\text{amb}}-750$	50	750 - 850	100	60

Imediatamente após o processamento térmico, foi medido os valores de resistência de folha das amostras especificadas na tabela 1. Os valores de resistência de folha são mostrados na tabela 2.

Tabela 2 Resistência de folha das amostras INI1B5, INI1B3, INI1B8, INI1B7 obtidas pelo sistema 4-pontas

Amostra	$R_{\square}$ ($\Omega/\square$)
INI1B5	2,97
INI1B3	3,02
INI1B8	2,67
INI1B7	2,70

Pela tabela, podemos observar que os valores referentes a resistências de folha são, com quase toda certeza, referentes a fase $\text{TiSi}_2\text{-C54}$.

Nas figuras 1 (a, b, c e d) são mostradas imagens AFM das superfícies de TiSi_2 das amostras (INI1B5, INI1B3, INI1B8 e INI1B7), respectivamente, nas quais podemos verificar qualitativamente as diferenças de tamanho de grão. No caso lento, notamos uma clara tendência de formação de patamares com vales profundos, ao passo que no caso rápido, a tendência é a de formação de “grão grande”.

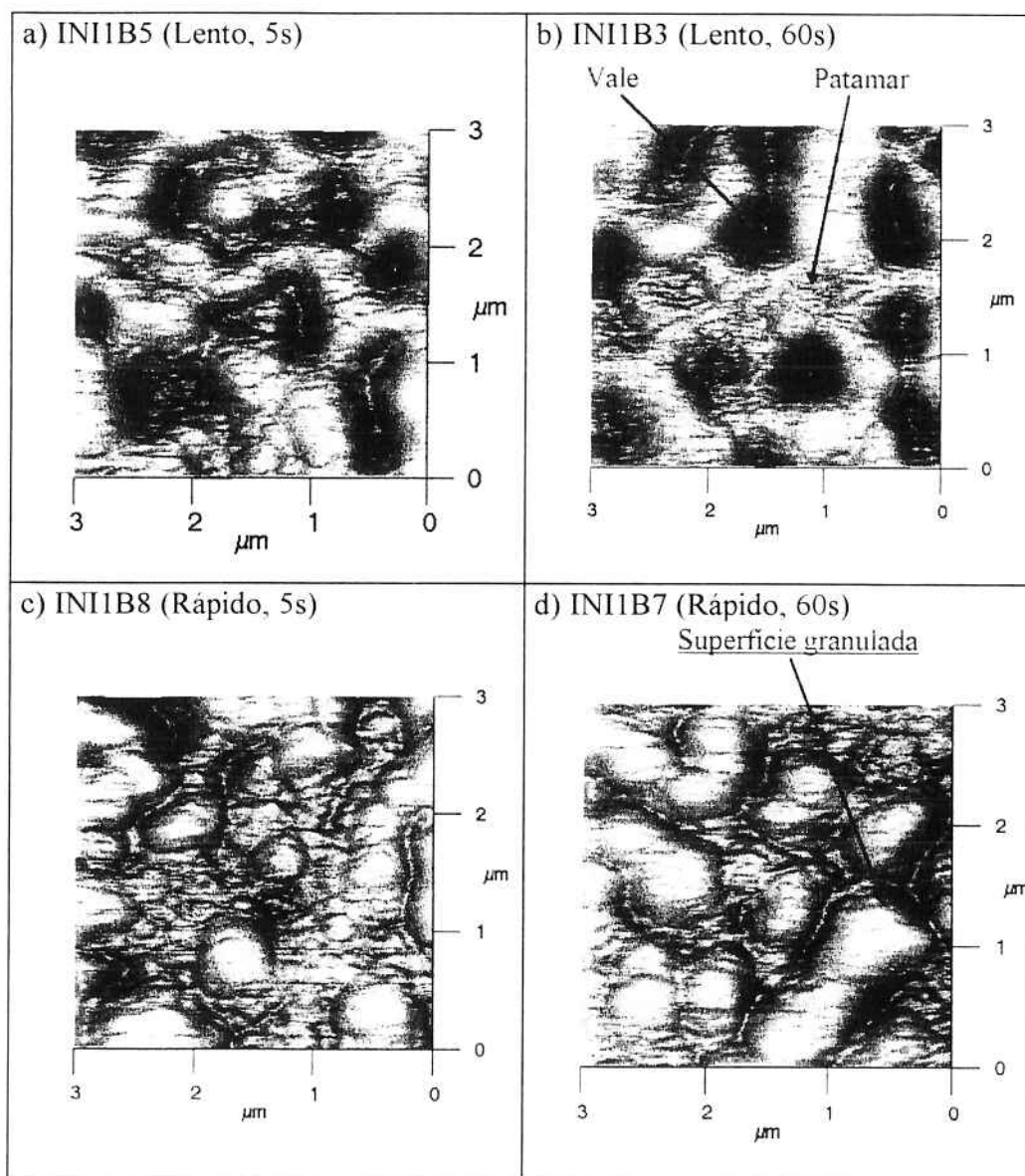


Figura 1 Imagens de AFM das amostras: a) INI1B5, b) INI1B3, c) INI1B8 e d) INI1B7

Os valores dos parâmetros de rugosidade da superfície do filme de siliceto de titânio medidos por microscopia de força atômica (AFM), correspondentes as amostras apresentadas na tabela 1, com varreduras de $3\mu\text{m}$, são mostrados na tabela 3.

Tabela 3 Valores dos parâmetros de rugosidade da superfície do filme de siliceto de titânio, medidos por (AFM), das amostras INI1B5, INI1B3, INI1B8 e INI1B7

Amostra	R_m (nm)	R_{v-p} (nm)	R_{RMS} (nm)
INI1B5	10,5	74,5	12,9
INI1B3	11,9	79,9	15,0
INI1B8	9,5	75,3	11,6
INI1B7	11,8	79,9	14,3

Em relação aos parâmetros de rugosidade correlacionados com a taxa de subida da rampa de temperatura, observamos pouca alteração nos valores das rugosidades R_m e R_{v-p} . Somente há uma maior alteração nos valores apresentados em relação a rugosidade RMS, que no caso da amostra INI1B5 subida lenta (1°C/s) e com tempo de patamar de 5s em 850°C apresentou valor de $R_{RMS} = 12,9\text{nm}$ e a amostra INI1B3 subida lenta (1°C/s) e com patamar de 60s apresentou $R_{RMS} = 15,0\text{nm}$. Também no caso de subida rápida (50°C/s), observamos mudança nos valores de rugosidade RMS. A amostra INI1B8, com patamar de 5s em 850°C apresentou valor de $R_{RMS} = 11,6\text{nm}$ e com patamar de 60s $R_{RMS} = 14,3\text{nm}$.

A tabela 4 mostra os parâmetros necessários para a obtenção do raio médio dos grãos e os seus respectivos raio médio e altura média.

Tabela 4 Parâmetros utilizados para o cálculo do raio médio das amostras INI1B5, INI1B3, INI1B8 e INI1B7

Amostra	C	A_s (μm^2)	A_p (μm^2)	V (μm^3)	Altura Média (μm)	Raio Médio (μm)
INI1B5	0,70	9,05	9,00	0,34	0,040	0,102
INI1B3	0,80	9,07	9,00	0,43	0,045	0,113
INI1B8	0,6	9,05	9,00	0,34	0,047	0,118
INI1B7	0,45	9,07	9,00	0,36	0,067	0,167

Como se pode observar na tabela 4, há diferenças entre os valores de raio médio para os casos de subida lenta e subida rápida. Para a amostra INI1B5, subida lenta (1°C/s com patamar de 5s), o valor do raio médio dos grãos é de $0,102\mu\text{m}$, menor do que para a amostra INI1B3, subida lenta (1°C/s com patamar de 60s), $0,113\mu\text{m}$, bem como para as amostras INI1B8 e INI1B7. Por outro lado, existe uma diferença significativa entre amostras submetidas a rampas de aquecimento diferentes (INI1B5/INI1B3 e INI1B8/INI1B7), o que pode ser uma indicação de morfologias superficiais muito distintas.

A figura 1 mostra as imagens da superfície obtida por AFM das amostras INI1B5, INI1B3, INI1B8 e INI1B7 (tabela 1). Observamos claramente que a superfície das amostras INI1B5 e INI1B3 é diferente das amostras INI1B8 e INI1B7. As amostras INI1B5 e INI1B3 têm uma maior tendência à formação de patamares, enquanto as

amostras INI1B8 e INI1B7 têm uma maior tendência a formação de grãos. Observamos que no caso das amostras INI1B5 (lento com patamar de 5s) e INI1B3 (lento com patamar de 60s) há uma maior coalescência das ilhas e diminuição da concentração dos “vales”. No caso das amostras INI1B8 (rápido com patamar de 5s) e INI1B7 (rápido com patamar de 60s) ocorre um aumento do tamanho de grão, isto é, coalescência dos grãos.

No caso lento, podemos também observar que temos uma maior distribuição de “vales” que no caso rápido, e esses “vales” são mais profundos no caso lento do que no caso rápido. Verificamos que no caso lento esses “vales” são tão profundos, que deixam parte da superfície de Si (100) exposto. Enquanto que no caso rápido isso não ocorre.

Foi possível obter a profundidade média dos “vales” em cada caso, através do recurso de análise de perfil que o AFM oferece. Exemplos de alguns perfis obtidos pelo AFM são mostrados na figura 2.

No caso da amostra INI1B5, a profundidade média obtida foi de $(61,14 \pm 6,10)\text{nm}$, enquanto que para o caso da amostra INI1B3 a profundidade média foi de $(67,93 \pm 6,08)\text{nm}$. No caso das amostras INI1B8 e INI1B7 as profundidades médias obtidas são respectivamente de $(49,07 \pm 2,37)\text{nm}$ e de $(64 \pm 2,363)\text{nm}$.

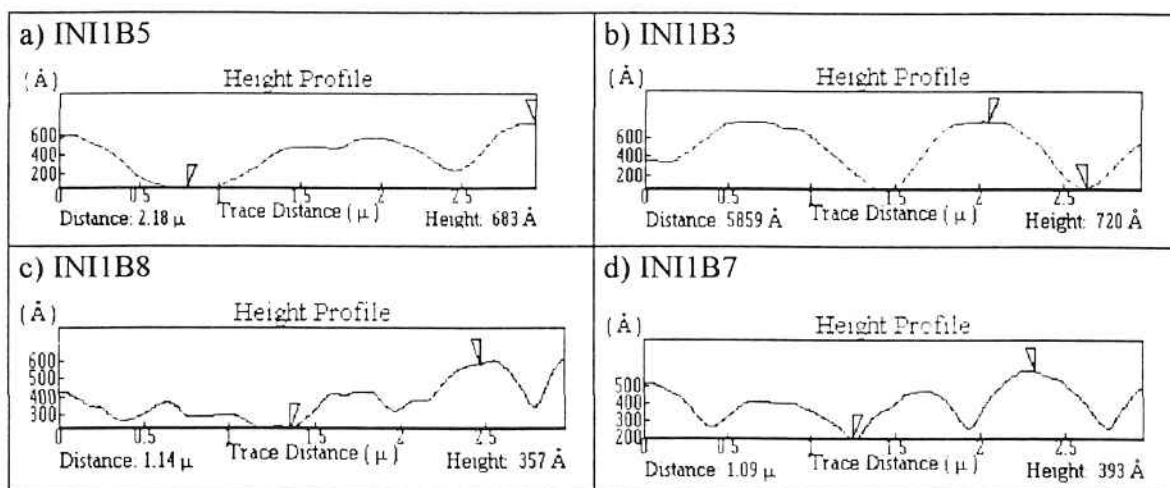


Figura 2 Análise de perfis de superfícies obtidas pelo AFM para as amostras: a) INI1B5, b) INI1B3, c) INI1B8 e d) INI1B7

As espessuras dos filmes foram obtidas por perfilometria por SOUZA ^[14]. Para as amostras INI1B5 e INI1B3, INI1B8 e INI1B7 são respectivamente, $(70,7 \pm 5,7)\text{nm}$ e $(76,9 \pm 7,6)\text{nm}$.

Comparando os dados das profundidades médias obtidas por AFM e das espessuras dos filmes obtidos por perfilometria, comprovamos que no caso das superfícies das amostras submetidas à taxa de subida lenta algumas regiões da superfície do silício ficam expostas (espessura do filme aproximadamente igual à profundidade dos “vales”), que é consistente com outros trabalhos (DAO et al. ^[5], NEMANICH ^[21]).

No caso de taxa de subida lenta, observa-se que deve estar ocorrendo predominantemente a formação de ilhas, como pode ser observado nas imagens AFM (figuras 1a e 1b). Deixando um tempo maior no patamar de 850°C, de 5s para 60s, observamos que ocorre uma maior provável coalescência das ilhas. Esse fenômeno pode

estar associados com os termos de energia de superfície, energia de substrato e energia de interface^[21].

No caso de subida rápida, observa-se que ocorre, predominantemente, a formação de grãos, e quanto maior o tempo de recozimento em 850°C maior é a coalescência dos grãos. Este fenômeno pode ser explorado também em termos de energias de superfícies. Nesse caso, provavelmente, as condições de aglomerações (grãos) podem estar sendo satisfeitas e como o filme formado é espesso, a superfície fica toda recoberta^[21].

Os difratogramas analisados mostraram que em todos os casos, após o tratamento térmico ocorre a formação da fase TiSi_2 -C54. Os picos da fase TiSi_2 -C54 eram referentes aos planos (311), (040) e (313).

e) Análise da rugosidade superficial em função dos parâmetros de deposição

Até agora, estudamos siliceto de titânio formado a partir de filmes evaporados. A seguir, investigaremos também filmes de siliceto de titânio obtidos por pulverização catódica (“sputtering”) e compará-los com os evaporados.

Utilizamos-nos de amostras (depositadas por “sputtering” e já recozidas por RTP) empregadas no trabalho de doutorado de LAGANÁ^[4].

Na comparação evaporação X “sputtering”, selecionamos as amostras recozidas com rampa de duas inclinações até a temperatura de 850°C e patamar de 60s conforme indicado na tabela 5.

Tabela 5 Processo de recozimento das amostras INI1B3, INI1B7, LAG1 e LAG2

Amostra	Filme de Ti	1ª etapa de subida	Taxa da rampa (°C/s)	2ª etapa de subida(°C)	Taxa da rampa (°C/s)	Tempo no patamar (s)
INI1B3	evaporado	$T_{\text{amb}}-750$	Lenta (1)	750-850	100	60
INI1B7	evaporado	$T_{\text{amb}}-750$	Rápida (50)	750-850	100	60
LAG1	“sputtering”	$T_{\text{amb}}-650$	Lenta (1)	650-850	100	60
LAG2	“sputtering”	$T_{\text{amb}}-650$	Rápida (100)	650-850	100	60

A figura 3 mostra as imagens da superfície obtidas por AFM das amostras INI1B3, INI1B7, LAG1 e LAG2. Observamos claramente que as amostras (INI1B3 e INI1B7) de TiSi_2 formadas a partir da deposição de Ti, por evaporação, sobre Si (100) são diferentes. A amostra INI1B3 (subida lenta, 1°C/s) tem uma maior tendência a formação de patamares, isto é, maior tendência a formação de ilhas, enquanto que a amostra INI1B7 (subida rápida, 50°C/s) tem maior tendência à formação de grãos. Observamos os mesmos processos de formação de patamares e formação de grãos, respectivamente, para o caso de subida lenta e subida rápida nos filmes finos de TiSi_2 , formados a partir da deposição dos filmes de Ti “sputtering”. Comparando os tamanhos de grãos, observamos que a amostra INI1B7 apresenta tamanho de grão superior a amostra LAG2. As amostras INI1B3 e INI1B7 apresentam mais “vales” comparadas as amostras LAG1 e LAG2.

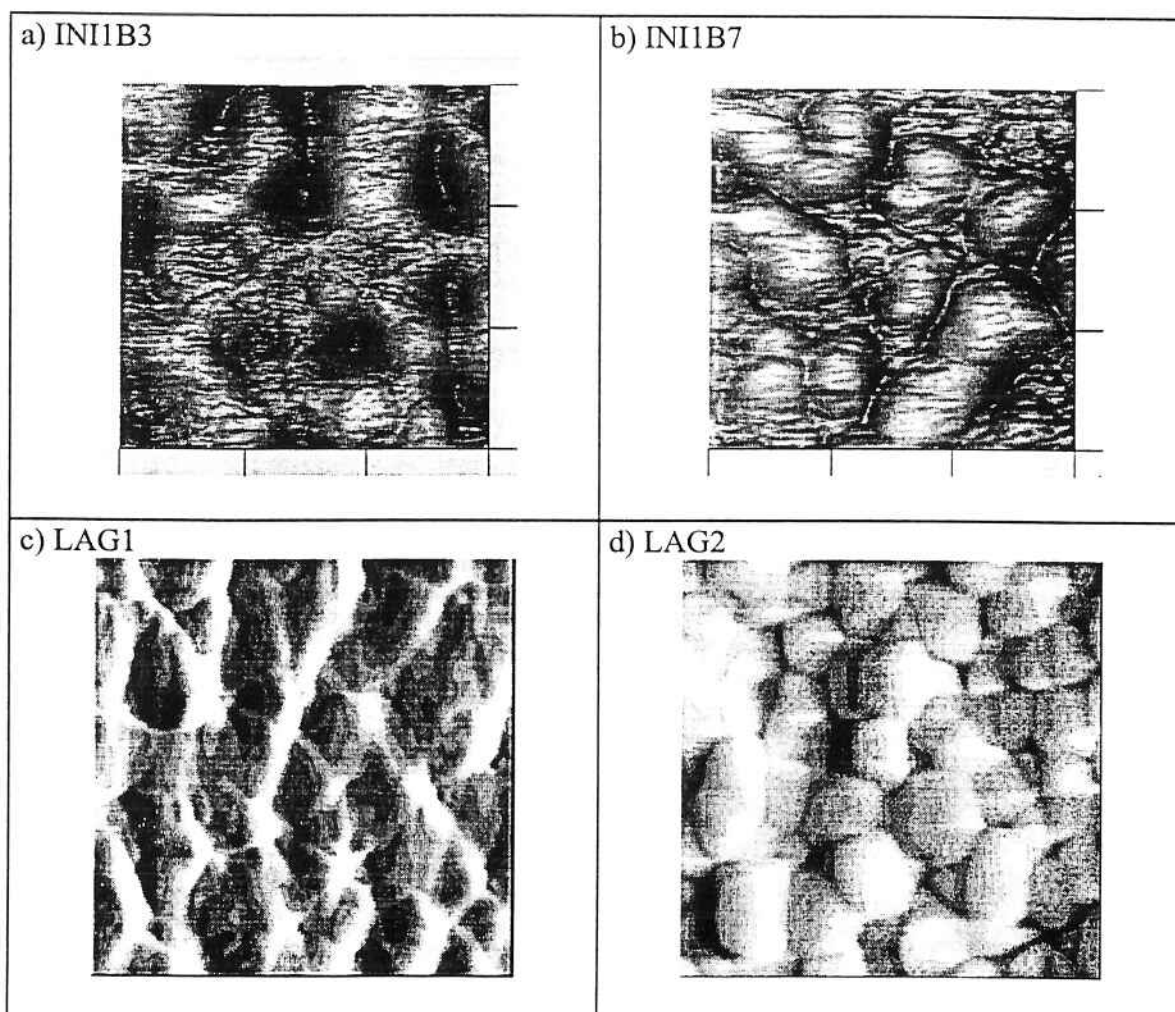


Figura 3 Imagens de AFM das amostras: a) INI1B3, b) INI1B7, c) LAG1 e d) LAG2.

As amostras LAG1 e LAG2 foram analisadas com um microscópio NANOSCOPE II (Digital)

Essa diferença em relação ao tamanho de grão e ao tamanho dos “vales” das amostras INI1B3 e INI1B7, comparadas com LAG1 e LAG2, está associado a diferença do processo de deposição do filme de Ti (evaporação e “sputtering”). No processo de deposição de filmes de Ti por evaporação, praticamente não ocorre uma intermistura inicial durante a deposição, enquanto que uma intermistura inicial é observada no processo de deposição de Ti por “sputtering”, devido a apreciável energia de bombardeamento das partículas.

Os valores dos parâmetros da rugosidade de superfície dos filmes de siliceto de titânio, medidos por microscopia de força atômica (AFM) para as amostras, cujas imagens já mostramos na figura 3, estão esquematizados na tabela 6.

Tabela 6 Valores dos parâmetros de rugosidade da superfície do filme de siliceto de titânio, medidos por (AFM), das amostras INI1B3, INI1B5, LAG1 e LAG2

Amostra	Filmes de Ti	R_m (nm)	R_{RMS} (nm)	R_{v-p} (nm)
INI1B3	evaporado	11,9	15,0	79,9
INI1B7	evaporado	11,8	14,3	75,3
LAG1	“sputtering”	5,69	2,14	16,14
LAG2	“sputtering”	19,65	4,37	33,16

Os filmes de $TiSi_2$ formados a partir da deposição de Ti por “sputtering” apresentaram valores de rugosidades inferiores em relação aos formados a partir da deposição de Ti por evaporação.

Não foram observadas alterações em relação aos parâmetros de rugosidade correlacionados com a taxa de subida da rampa de temperatura ($1^\circ C/s$ e $50^\circ C/s$) dos filmes de $TiSi_2$, formados a partir da deposição do filme de Ti evaporado (amostras INI1B3 e INI1B7). Enquanto que para os filmes de $TiSi_2$, formados pela deposição do filme de Ti por “sputtering”, houve alteração dos parâmetros correlacionados com a rugosidade da topologia. Para o caso de subida lenta ($1^\circ C/s$, amostra LAG1), observamos valores de rugosidade média de 5,69nm, rugosidade RMS de 2,14nm e rugosidade vale-pico de 16,14nm, muito diferente dos valores apresentados para o caso de subida rápida ($100^\circ C/s$, amostra LAG2), rugosidade média 19,65nm, rugosidade RMS de 4,37nm e rugosidade vale-pico de 33,16nm.

No item em que analisamos a rampa de aquecimento com duas inclinações (rampa lenta seguida de rampa rápida), pudemos verificar que os filmes obtidos apresentaram menor raio médio de grão (maior tendência de formação de patamares “lisos”) apesar de existirem regiões expostas de silício. Por outro lado, no presente item, verificamos que se utilizarmos o processo de “sputtering”, ao invés de evaporação, obteremos os mesmos patamares “lisos” sem as regiões expostas de silício (figura 3(c)).

Assim, podemos concluir que o menor raio médio e a menor rugosidade (tabela 6) são obtidos se a rampa lenta é executada em temperaturas na faixa indo da temperatura ambiente até aproximadamente $650^\circ C$ seguido de rampa rápida até $850^\circ C$ (patamar a $850^\circ C$ com cerca de 60s) e também se o processo de deposição é executado por “sputtering”.

O fato da rampa lenta + “sputtering” promover um menor raio médio, ou seja, melhor recobrimento da superfície, deve estar associado ao modelo de capilaridade^[21]. Neste modelo, há uma condição de cobertura uniforme que pode estar sendo satisfeita, isto é, a energia de superfície do substrato (σ_{Si}) pode estar sendo maior do que a soma das energias de superfície de interface ($\sigma_{interface}$) e do filme (σ_{filme}). Uma melhor comprovação desta situação só poderia ser feita se tivéssemos estudado a nucleação inicial a partir de filme bem mais fino.

Conclusões

Neste trabalho, foram analisadas as características morfológicas dos filmes de siliceto de titânio formados em função dos perfis temporais de temperatura e em função dos parâmetros de deposição.

Em relação aos perfis temporais de temperatura, foram testados diferentes receitas com o objetivo de se verificar a influência das rampas de aquecimento e do patamar de temperatura nas características de rugosidade e tamanho de grão dos filmes de siliceto de titânio, obtidos a partir de titânio evaporado sobre silício.

De forma geral, verificou-se que a rampa de aquecimento da temperatura ambiente até cerca de 650°C a 750°C desempenha um papel fundamental na futura morfologia do siliceto. Se a rampa inicial for lenta até cerca de 750°C seguido de rampa rápida + patamar a 850°C, os filmes se apresentarão com pequenos raios médios de grão e regiões expostas de silício. No entanto, se a rampa inicial for rápida (partindo da temperatura ambiente) até o patamar a 850°C, a superfície do siliceto fica bastante granulada e com raios médios maiores comparado ao caso lento.

Em relação ao processo de deposição, verificou-se que se o filme de titânio fosse previamente depositado por “sputtering”, ao invés de evaporação, o resultado da rampa inicial lenta tornaria-se muito melhor, isto é, além do baixos valores de rugosidade (pequeno raio médio de grão) não ocorreria a presença de regiões expostas de silício. Atribuímos tal fato à diferença das energias envolvidas nos processos de deposição. No processo de “sputtering” a energia com que os átomos de titânio chegam à superfície é maior e, portanto, promove maior interpenetração de Ti/Si e, assim, o futuro siliceto formado recobrirá todo o silício.

Referências bibliográficas

- [1] MAEX, K. Materials aspects of silicides for advanced technologies. **Applied Surface Science**, v.53, n. , p.328-337, 1991.
- [2] OSBURN, C.M. et al. Incorporation of metal silicides and refractory metals in VLSI technology. **Applied Surface Science**, v.53, p.291-312, 1991.
- [3] MORGAN, A.E. et al. Interactions of thin films with Si, SiO₂, Si₃N₄ and SiO_xN_y under rapid thermal annealing. **Journal of Applied Physics**, v.64, n.1, p.344-353, 1988.
- [4] LAGANÁ, A.A.M. **Aspectos da formação do siliceto de titânio em ambiente de nitrogênio: transformação de fase, cinética, formação em duas etapas e rugosidade.** São Paulo, 1993. 222p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [5] DAO, Y. et al. Phase stabilities and surface morphologies of (Ti_{1-x}Zr_x)Si₂ thin films on Si(100). **Journal of Applied Physics**, vol.78, n.11, p.6584-6591, 1995.
- [6] D'HEURLE, F.M. Nucleation of a new phase from the interaction of two adjacent phases: Some silicides. **Journal Material of Research**, v.3, n.1, p.167-195, 1988.
- [7] LÉVI, D. et al. Optimization of a self-aligned titanium silicide process for submicron technology. **IEEE Transactions of Semiconductor Manufacturing**, v.3, n.4, p.168-175, 1990.
- [8] HOLLOWAY, K.; SINCLAIR, R. AMORPHOUS Ti-Si alloys formed by interdiffusion of amorphous Si and crystalline Ti multilayers. **Journal of Applied Physics**, vol.61,n.4, p.1359-1364, 1987.
- [9] JEON, H. et al. Morphology and Phase Stability of TiSi₂ on Si. **Journal of Applied Physics**, vol.71,n.9, p.4269-4276, 1992.
- [10] MA, Z. et al. Effect of dimension scaling on the nucleation of C54-TiSi₂. **Thin Solid Films**, v.253, p.451- 455, 1994b.
- [11] RAAIJMAKERS, I.J.M.M.; KIM, K.B. A comparison of the reaction of titanium with amorphous and monocrystalline silicon. **Journal of Applied Physics**, v.67, n.10, p.6255-6263, 1990.
- [12] KERN, W. ; PUOTINEN, D. Cleaning solutions based on hydrogen peroxide for use in silicon semiconductor technology. **RCA Review**. v.31, n.1, p. 187-206, 1970.
- [13] KERN, W. The evolution of silicon wafer cleaning technology. **Journal of the Electrochemical Society**, v.137, n.6, p.1887-1892, 1990.
- [14] SOUZA, S.G. **Estudo da influência dos parâmetros de recozimento térmico rápido na morfologia dos filmes de TiSi₂ formados e sua correlação com tensão mecânica.** São Paulo, 1997. 100p. Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo.
- [15] SANTOS FILHO, S.G. **Aplicação de filmes de siliceto de titânio e do escoamento térmico rápido de camadas de PSG na fabricação de circuitos integrados nMOS.** São Paulo, 1988. 1v. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [16] BRUN, N. et al. TiSi₂ integration in a submicron CMOS process: I Silicide formation. **Journal of the Electrochemical Society**, v.142, n.6, p.1987-1991, 1995.

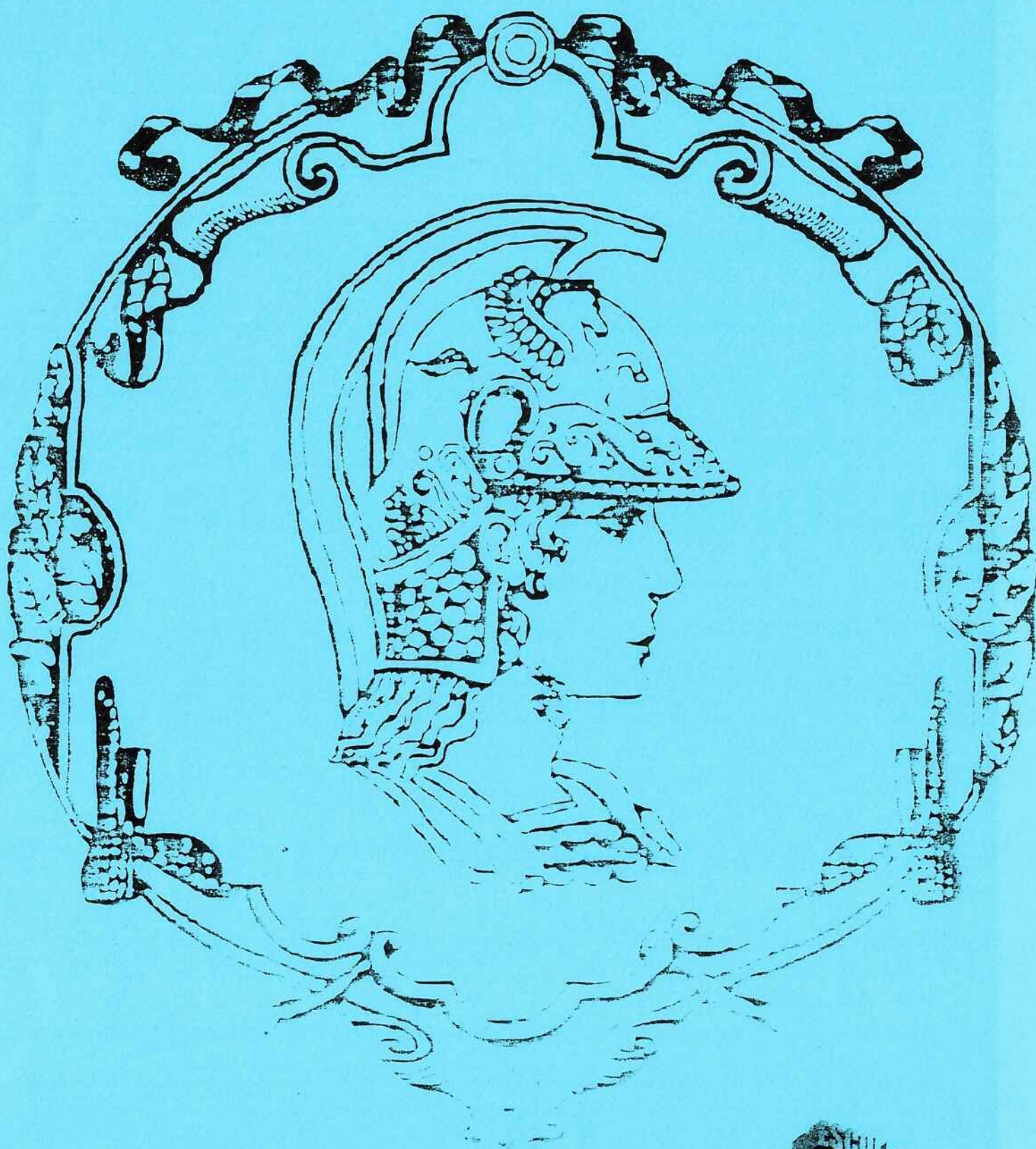
- [17] HAHN, P.O. et al. Submicron roughness determination at the Si-SiO₂ interface and correlations to processing steps and electronic properties In: Materials Research Society Symposium. **Proceedings**, MRS, 1987.
- [18] HASAN, N. M. **Contribuição ao estudo da morfologia da superfície e da interface do siliceto de titânio formado sobre Si (100) empregando a técnica de microscopia de força atômica (AFM)**. São Paulo. 1998. 125p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo.
- [19] NASSIOPOULOS, A.G. et al. Titanium disilicide formation by interdiffusion of titanium / amorphous silicon multilayers: Influence of the bilayer silicon to titanium thickness ratio on the film properties. **Journal of Applied Physics**, v.72, n.10, p.4660-4668, 1992.
- [20] CHITTIPEDDI, S. et al. Titanium disilicide formation on CMOS structures with phosphorus doped gates. In: Materials Research Society Symposium. **Proceedings**, MRS, v.303, p.75-80, 1993.
- [21] NEMANICH, R.J. et al. Phase stabilities and surface morphologies of (Ti_{1-x}Zr_x)Si₂ thin films on Si(100). **Journal of Applied Physics**, v.78, n.11, p.6584-6591, 1995.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEE/9301 - Oscilador a HEMT - 10 GHz - FÁTIMA S. CORRERA, EDMAR CAMARGO
- BT/PEE/9302 - Representação Senoidal da Voz através dos Polos do Filtro Predictor - MARCELO B. JOAQUIM, NORMONDS ALENS
- BT/PEE/9303 - Blindagens por Grades Conductoras: 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 BENNETON
- 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 LUÍS 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 Confeção 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 LUÍS 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 KUANG 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 PORSCH, 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 JESZENSKY
- 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 JESZENSKY
- 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 Litografia 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 LUIS CLARKSON EISNER, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- 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 TiSi_2 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 MIECZYSŁAW 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 H_2/H_∞ 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 F., 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 Fraseadora Automática - MÁRCIO A. F. MURATORE, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9809 - Redes Neurais com Retardos Temporais Aplicados 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, J. T. SENISE
- BT/PEE/9812 - Applied Surface Science - RONALDO D. MANSANO, PATRICK VERDONCK, HOMERO S. MACIEL



ESCOLA POLITÉCNICA
FUNDADA

Tel: 818-5514

