

CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE CONTATOS RASOS DE SILICETO DE NÍQUEL COM PLATINA SOBRE JUNÇÕES N⁺P

R. Pestana* ; R.W. Reis; S.G. Santos Filho
Laboratório de Sistemas Integráveis

Universidade de São Paulo – LSI/PSI/EPUSP
Av. Prof. Luciano Gualberto, 158 – Trav. 3 - 05508-900 - São Paulo – SP – Brasil

Recebido: 25 de julho, 2005; Revisado: 31 de março, 2006

Palavras-chave: siliceto de níquel, NiSi, caracterização elétrica.

RESUMO

Este trabalho analisa a formação de filmes finos de siliceto de níquel (NiSi) com adição de 4% de Platina, para melhorar a estabilidade térmica do NiSi, em contatos sobre junções N⁺P. Tanto a técnica RBS quanto a XRD demonstraram a formação de filmes finos de monosiliceto de níquel com 4% de platina Ni(Pt)Si na temperatura de 600°C por 120 segundos. Os diodos construídos foram caracterizados eletricamente através da corrente de fuga por unidade de área, corrente de fuga por unidade de perímetro, tensão de início de condução, resistência série dos diodos e fator de idealidade, resultando em um bom desempenho. A resistividade do filme e a resistência de folha foram analisadas em função da temperatura de formação do siliceto para temperaturas na faixa de 400°C a 800°C.

ABSTRACT

This work analyses nickel silicide (NiSi) thin-film formation with the addition of 4% Platinum to improve the thermal stability of NiSi in contacts on N⁺P junctions. Both RBS and XRD techniques demonstrated the formation of nickel monosilicide thin-film with 4% of Platinum Ni(Pt)Si under a temperature of 600°C during 120 seconds. The fabricated diodes were electrically characterized through the area diode leakage current, periphery diode leakage current, forward-bias voltage, forward series resistance and ideality factor, resulting in good performance. The film resistivity and the sheet resistance were analyzed in function of the silicide formation for temperature ranging from 400°C to 800°C.

1. INTRODUÇÃO

Silicetos metálicos tem sido amplamente utilizados na indústria de microeletrônica, particularmente como material para contato e interconexões com o objetivo de diminuir a resistência de contato e as resistências séries de fonte, dreno e silício policristalino de porta nos transistores MOS [1, 2]. Atualmente a formação do siliceto é realizada através da técnica “SALICIDE” (“Self-aligned-silicide”) sobre as regi-

ões de fonte / dreno e silício policristalino de porta em dispositivos CMOS para reduzir as resistências séries da difusão e de contato, evitando a degradação das características elétricas do dispositivo final [3, 4, 5].

A literatura reporta que TiSi₂ e CoSi₂, são limitados por problemas de resistência de folha dependente da largura de linha (para TiSi₂) e alto consumo de silício para a formação do siliceto além da alta corrente de fuga em junções ultrarasa (para CoSi₂). Siliceto de níquel (NiSi) é um potencial candidato para substituir os silicetos supracitados, por isto, tem sido objeto de extensiva investigação [6].

Recentemente, o siliceto de níquel (NiSi) tem demonstrado ser um material promissor para contatos ultra-rasos em junções P⁺N na tecnologia CMOS. O siliceto de níquel possui vantagens para contatos rasos incluindo baixa resistividade (de 14 a 20μΩcm), menor consumo de silício (~1nm de Ni reage com 1,84nm de Si para formar 2,22nm de NiSi), uma simples e única etapa de recozimento, baixa temperatura de formação, extensa gama de estabilidade térmica (~400 a 700°C), e pode ter baixa ou nenhuma degradação da resistividade em linhas / portas estreitas (nenhuma dependência da largura de linha) [7, 8]. Portanto o NiSi pode ser formado com baixo consumo de silício comparado aos TiSi₂ e CoSi₂. Os filmes de níquel podem ser depositados sobre o silício policristalino da porta ou sobre o silício dopado de fonte e dreno através do processo de pulverização catódica “sputtering”. A formação do siliceto de níquel é realizada por recozimento térmico rápido em etapa única, observam-se diferentes fases do siliceto de níquel variando com a temperatura, Ni₂Si, NiSi e NiSi₂ a medida que a temperatura vai aumentando. A fase NiSi de baixa resistividade tem sido obtida em média partir 350°C e no máximo a 750°C [8, 9, 10, 11,12]. Porém, a transição do siliceto de níquel (NiSi) de baixa resistividade para o NiSi₂ de alta resistividade ocorre em temperaturas maiores que 750°C e trás sérios problemas. Nos últimos anos foram reforçados os estudos feitos sobre a estabilidade térmica dos filmes de NiSi. Recentemente, foi reportado que a adição de 5% de platina (Pt) pode melhorar significativamente a estabilidade térmica do NiSi [13].

Neste trabalho, vamos utilizar 4% de platina (Pt) e mostrar que mesmo nesta concentração mais baixa a estabilidade do monosiliceto de níquel se mantém. Para caracterização elé-

* ricardo.pestana@br.schindler.com

trica do siliceto de níquel com adição de 4% de platina foram utilizados diodos com diferentes perímetros e áreas.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Algumas lâminas com diâmetros de 3 polegadas de silício (100) tipo P com resistividade na faixa de 6 a 9 Ωcm passaram por limpeza RCA [14]. A seqüência completa para realização da limpeza química RCA foi:

- Enxágüe em água D.I. por 5 min.;
- Fervura por 15 min. em solução $4\text{H}_2\text{O} : 1\text{NH}_4\text{OH} : 1\text{H}_2\text{O}_2$;
- Enxágüe em água D.I. por 5 min.;
- Fervura por 15 min. em solução $4\text{H}_2\text{O} : 1\text{HCl} : 1\text{H}_2\text{O}_2$;
- Enxágüe em água D.I. por 5 min.;
- Secagem com N_2 .

Em seguida, foi realizada oxidação seca inicial de 15nm, num forno convencional com fluxo de O_2 de 2 l/min. na temperatura de 900°C por 100 minutos. Na seqüência, foi depositado 220nm de nitreto de silício (Si_3N_4) sobre o óxido fino em um forno LPCVD na temperatura de 750 °C por duas horas com 222 sccm de vazão do gás NH_3 e 20,1 sccm de vazão do SiH_2Cl_2 para obter 220 nm de Si_3N_4 . Após a deposição do nitreto de silício, foi realizado processo litográfico para definir a região ativa utilizando uma máscara com diferentes geometrias de diodos (diferentes áreas e perímetros), estruturas de caracterização elétrica para medida da resistência de folha, largura de linha e resistência de contato. Após a definição do nitreto de silício, foi realizada oxidação úmida (óxido local) para servir de camada passiva e separação entre regiões ativas. Seguiu-se então a remoção do Si_3N_4 seletivamente em relação ao óxido de silício utilizando ácido fosfórico (H_3PO_4) a 180 °C. Na seqüência, foi realizada a implantação iônica de arsênio com energia de 110KeV e dose de $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ sendo que a ativação dos dopantes implantados foi feita a 900°C por 30min. Após a remoção do óxido fino na região ativa, foi depositado 1,5nm de Pt mais 30nm de Ni por evaporação “e-beam” para a posterior formação do siliceto. A formação do siliceto foi realizada em forno de processamento térmico rápido a 600°C por 120 segundos. A remoção do níquel não reagido com o silício foi realizada através de solução $1\text{H}_2\text{SO}_4 : 3\text{H}_2\text{O}$ por 5 min na temperatura ambiente. Após a remoção do óxido de silício nas costas da lâmina em solução diluída de ácido fluorídrico (HF), foi feita a deposição de alumínio na lâmina por evaporação térmica. Foi também depositados e definidos litograficamente 30nm de Ti e 250nm de Al por evaporação “e-beam” na região do contato. Como última etapa, foi feita a sinterização a 400 °C por 20 min.

A caracterização elétrica dos diodos foi realizada com a ajuda dos equipamentos HP4140B, Agilent 4156C e Sony-Tecktronix 370A para obtenção das características $I \times V$ das quais foram extraídos todos os parâmetros elétricos.

A caracterização do filme de siliceto de níquel obtido foi realizada através de RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy) e XRD (X-Ray Diffraction). Para interpretação dos espectros RBS foram realizadas simulações através do programa RUMP [15].

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises de RBS utilizaram feixe de Hélio (He^+) com energia de 2,4 MeV. As espessuras dos filmes de níquel e platina, antes do recozimento, foram respectivamente 30 nm e 1,5 nm. A figura 1 apresenta espectros RBS das amostras recozidas em 600 °C e 700 °C apresentando o mesmo comportamento. A simulação com o programa RUMP revelou a formação de 80 nm de NiSi com 4 % de platina distribuída ao longo do filme (Ni(Pt)Si). Comportamentos idênticos foram obtidos na temperatura de 800°C.

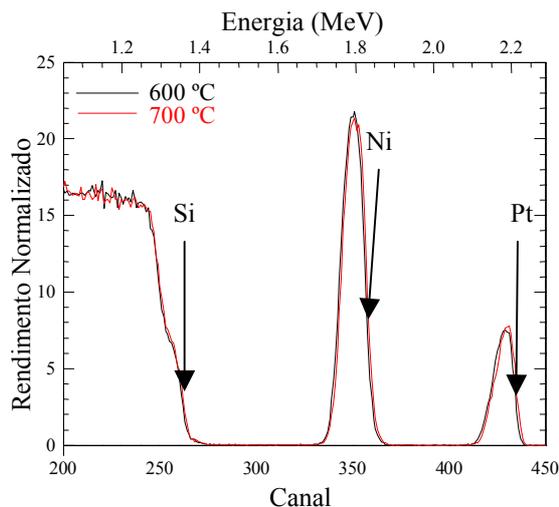


Figura 1 - Espectros RBS das amostras recozidas em 600°C e 700°C, apresentando o mesmo comportamento.

A estabilidade térmica do siliceto de níquel, com a aplicação de uma fina camada interfacial de platina, foi verificada nas análises RBS e também ficou caracterizada nas análises de XRD. A figura 2 mostra os difratogramas XRD indicando a formação do siliceto de níquel para temperaturas de 400°C, 500°C e 600°C. Portanto, podemos concluir com base tanto na técnica XRD quanto na RBS que ocorreu a formação de monosiliceto de níquel estável na faixa de 400 a 800 °C. A fabricação dos diodos sobre junções N^+P , foi realizada na temperatura de 600°C, pois se obteve a mais baixa resistividade de 25 $\mu\Omega\text{cm}$ conforme mostrado na tabela A.

Tabela A – Resistividades dos filmes de siliceto de níquel com adição de 4% de Platina

Temperatura	Espessura do siliceto	Rsh (Ω/\square)	Resistividade ($\mu\Omega\text{.cm}$)
400 °C	780 Å	3,92	30,6
450 °C	790 Å	3,39	26,8
500 °C	800 Å	3,27	26,2
600 °C	800 Å	3,13	25,0
700 °C	800 Å	3,33	26,6
800 °C	800 Å	4,35	34,8

Onde: Rsh é a resistência de folha do siliceto.

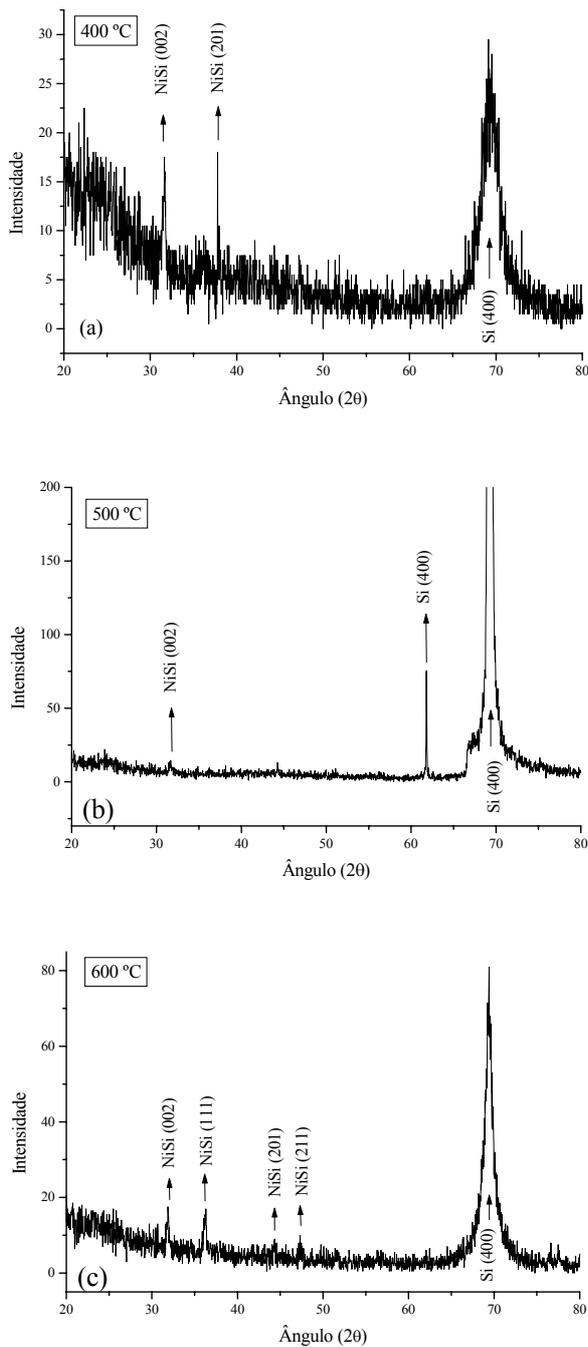


Figura 2 – Difratomogramas XRD das amostras de siliceto de níquel com platina obtidas por RTP durante 120 seg. com temperatura: (a) 400 °C, (b) 500 °C, (c) 600 °C.

Os diodos (junções rasas N⁺P com profundidade de 0,2μm) fabricados com contatos Al/Ti/NiSi com 4% de Platina apresentaram corrente reversa por unidade de área de 33,8nA/cm² e corrente reversa por unidade de perímetro de 654pA/cm, estes valores são compatíveis com tecnologias CMOS ultra-submicrométricas. Estes dados foram extraídos a partir de diodos quadrados (300μm x 300μm) e diodos tipo “serpentina” (área de 90000μm² e perímetro de 6000μm). As figuras 3 e 4 mostram o comportamento típico

da corrente reversa para os diodos quadrados e diodos tipo “serpentina”. As obtenções da corrente por unidade de área e por unidade de perímetro foram feitas a partir do seguinte sistema de equações [16]:

$$I_{FP} = \frac{I_{F2} - I_{F1}}{P_2 - P_1} \quad (1)$$

$$I_{FS} = \frac{P_2 I_{F1} - P_1 I_{F2}}{P_2 - P_1} \left(\frac{1}{S} \right) \quad (2)$$

Onde:

I_{FS} é a corrente reversa por unidade de área, I_{FP} é a corrente reversa por unidade de perímetro. I_{F1} é a corrente de fuga do diodo quadrado, I_{F2} é a corrente de fuga do diodo tipo serpentina, P_1 é o perímetro do diodo quadrado, P_2 é o perímetro do diodo tipo serpentina, S é a área do diodo.

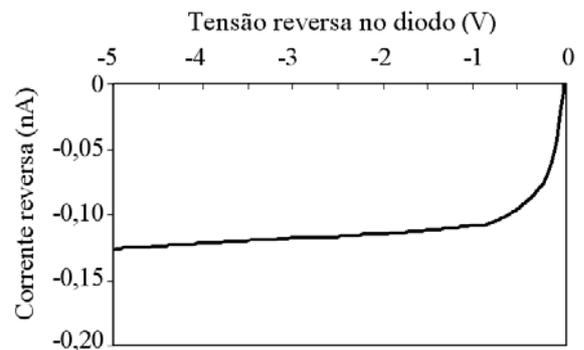


Figura 3 - Corrente típica do diodo em função da tensão reversa para diodos quadrados 300μm x 300μm.

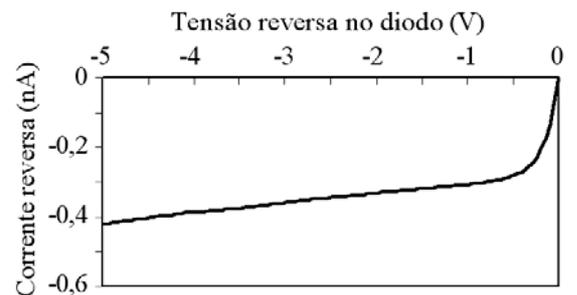


Figura 4 - Corrente típica do diodo em função da tensão reversa para diodos tipo “serpentina” com área de 90000μm² e perímetro de 6000μm.

A tensão de início de condução resultou em média igual a 0,56V e a resistência série dos diodos em condução igual a 4,7Ω. A figura 5 mostra a curva típica de corrente do diodo diretamente polarizado, isto é a corrente direta em função da tensão direta no diodo.

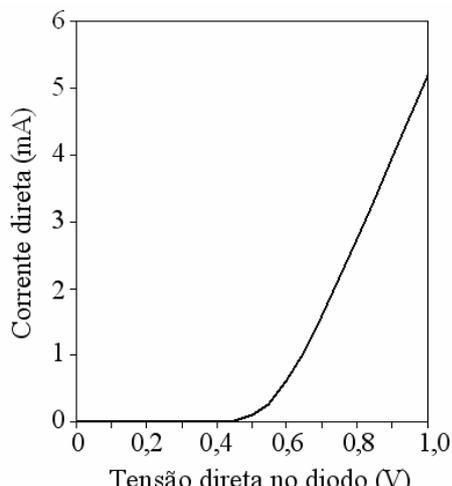


Figura 5 – Polarização direta no diodo.

O fator de idealidade médio obtido foi de 1,15. A figura 6 apresenta a curva do logaritmo natural da corrente com o diodo diretamente polarizado $\ln(I_D)$ em função da tensão aplicada no diodo.

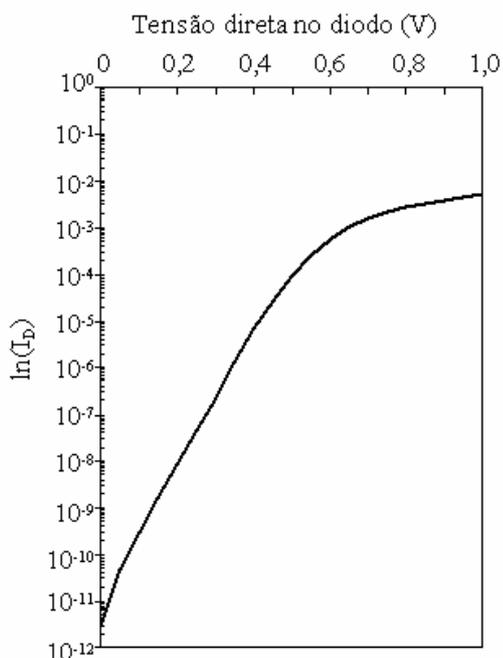


Figura 6 - Gráfico de $\ln(I_D)$ em função da tensão direta no diodo. Para determinação do fator de idealidade.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram estudados diodos com contatos de siliceto de níquel com adição de 4% de platina. Tanto a técnica RBS quanto a XRD demonstraram a formação de filmes finos de monosiliceto de níquel com 4% de platina Ni(Pt)Si

na temperatura de 600°C por 120 segundos com a mais baixa resistividade de contato e resistência de folha.

Os diodos fabricados com contatos Al/Ti/NiSi, que tiveram a formação de filmes finos de monosiliceto de níquel com 4% de Platina (Ni(Pt)Si), apresentaram bom comportamento elétrico, com corrente reversa por unidade de área de 33,8nA/cm² e corrente reversa por unidade de perímetro de 654pA/cm, a tensão de início de condução resultou igual a 0,56V e a resistência série dos diodos em condução igual a 4,7Ω, o fator de idealidade obtido foi de 1,15. O menor valor de resistividade de contato foi de 25μΩcm e resistência de folha de 3,13Ω/□ para formação do NiSi na temperatura de 600 °C durante 120 seg. Estes resultados mostram que a adição de 4% de platina (Pt) para melhorar a estabilidade térmica do siliceto de níquel (NiSi) possibilita a obtenção de diodos com baixa corrente de fuga.

REFERÊNCIAS

1. CHOW, T.P.; STECKL, A.J., *IEEE Transactions on Electron Devices* 30 (1983) 1480.
2. SWART, J.W., *Filmes de silicetos para circuitos integrados VLSI*. Projeto FIPEC nº 1.1894-5, São Paulo, (1985).
3. MURARKA, S.P., *Journal of Vacuum Science and Technology B4* (1986) 1325.
4. OSBURN, C.M.; WANG, Q.F.; KELLAM, M.; CANOVAI, C.; SMITH, P.L., *Applied surface Science* 53 (1991) 291.
5. TING, C.Y., *IEDM Tech. Dig.* (1984) 110.
6. SENG, H.L.; OSIPOWICZ, T.; LEE, P.S.; MANGELINCK, D.; SUM, T.C.; WATT, F., *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 181 (2001) 399.
7. POON, M.C.; CHAN, M.; ZHANG, W.Q.; DENG, F.; LAU, S.S., *Microelectronics Reliability* 38 (1998) 1499.
8. XU, D.X.; DAS, S.R.; PETERS, C.J.; ERICKSON, L.E., *Thin Solid Films* 326 (1998) 143.
9. KITTL, J.A.; LAUWERS, A.; CHAMIRIAN, O.; AKHEYAR, A.; LINDSAY, R., *Microelectronic Engineering* 70 (2003) 158.
10. RAMAMURTHY, S.; RAMACHANDRAN, B.; HUNTER, A.; ACHUTHARAMAN, V.; THAKUR, R., *Solid State Technology*, October (2004) 37.
11. JULIES, B.A.; KNOESEN, D.; ADAMS, D., *Thin Solid Films* 347 (1999) 201.
12. ZHU, S.; MEIRHAEGHE, R.L.V.; FORMENT S.; GOUPING, R.; BINGZONG, L., *Solid Estate Electronics* 48 (2004) 29.
13. LIU, J.F.; CHEN, H.B.; FENG, J.Y., *Journal of Crystal Growth* 220 (2000) 488.
14. KERN, W.; PUOTINEN, D., *RCA Review*, 31 (1970) 187.
15. TABACNIKS, M.H., *Análise de Filmes Finos por PIXE e RBS*. Instituto de Física, Universidade de São Paulo, Publicação IF-1469, 2000.
16. MARTINO, J.A.; PAVANELLO, M. A.; VERDONCK, P.B., *Caracterização elétrica de tecnologia e dispositivos MOS*. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2003.