

ESTUDO SOBRE CONTATOS Al/Si-POLI (TIPO n)

R.G. Pereira, W. Losch

COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro

Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Rio de Janeiro - C.P. 68.505 - ZC-00

L.C. Molina

Laboratório de Microeletrônica/Universidade de

São Paulo

Programa de Engenharia Elétrica

São Paulo

Análise de concentração em profundidade feita por espectroscopia de elétrons Auger e medidas da resistência de contato em quatro tipos de resistores foram realizadas, a fim de relacionar as variações ocorridas na resistência de contato com o comportamento da interface após vários tratamentos térmicos. Foram utilizadas amostras de Al/Si- poli (tipo n), com duas diferentes concentrações de fósforo. Os tratamentos térmicos foram realizados nas temperaturas de 400, 450 e 500°C durante 5, 30 e 60 minutos. Os valores encontrados para a resistência de contato coincidiram com os resultados existentes na literatura. Os perfis de profundidade apresentaram variações de acordo com o tratamento térmico e com a quantidade de fósforo.

Palavras chaves: Auger, contato, interdifusão.

# 1. INTRODUÇÃO

Devido a sua grande aplicação na fabricação de circuitos integrados, quer como camada intermediária entre Si e Al, quer como resis

tor, o silício policristalino (Si-poli) tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores no mundo inteiro. De acordo com o tratamento térmico, ele apresenta variações em suas características elétricas<sup>1</sup>, além de sofrer grandes mudanças nas características da interface<sup>2</sup>.

O objetivo deste trabalho foi investigar as mudanças ocorridas na região da interface, em seguida a tratamentos térmicos. Foi observado que o dopante, no caso o fósforo, apresenta grande influência na difusão de Si para Al. Foi utilizada espectroscopia de elétrons Auger, em conjunto com pulverização por íons de Ar, para análise das amostras.

As amostras foram idealizadas de modo a que fosse simulada a abertura de contato de um resistor.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O processo de preparação das amostras consistiu na oxidação térmica, a  $1000^{\circ}\text{C}$ , de lâminas de Si mono tipo p de orientação  $\langle 100 \rangle$ , com resistividade de  $25\text{--}30\ \Omega\cdot\text{cm}$ , obtendo-se uma espessura de  $1000\text{\AA}$ . A seguir, Si-poli, de  $6000\text{\AA}$  de espessura, foi depositado quimicamente (CVD) a uma temperatura de  $925^{\circ}\text{C}$ . Depois, foi feita deposição de fósforo com duas variações na concentração, aproximadamente  $10^{21}/\text{cm}^3$  e  $10^{18}/\text{cm}^3$ , apresentando um V/I de  $5\Omega$  e  $16\Omega$ , respectivamente. Uma camada de óxido de  $8000\text{\AA}$  foi acrescida sobre o Si-poli. Este óxido foi obtido em dois estágios: primeiro uma oxidação a vapor e depois por deposição química a vapor. Para que o processo apresentasse as mesmas características da abertura de contato de um resistor, foi feita, por técnicas de fotografação, a abertura de uma janela de contato na camada de óxido. Finalmente, uma camada de alumínio com  $1\ \mu\text{m}$  de espessura foi depositada por evaporação à vácuo, com uma pressão de  $10^{-6}$  torr. As amostras foram tratadas termicamente na temperatura de  $450^{\circ}\text{C}$ , durante 5, 30 e 60 minutos, num ambiente de atmosfera reduzida ( $10\%\text{H}_2$ ,  $90\%\text{N}_2$ ). A Fig. 1 mostra o perfil destas amostras.

Foi utilizado para análise de espectroscopia de elétrons Auger, um espectrômetro Auger da VARIAN, equipado com um analisador cilíndrico (CMA), com um canhão de elétrons com energia variando entre  $0\text{--}3000\text{ eV}$ , acoplado a um canhão de íons de varredura com energia variando entre  $0\text{--}5000\text{ eV}$ . Os parâmetros utilizados para análise foram os seguintes: energia do feixe de elétrons ( $2\text{KeV}$ ), corrente de elé

trons (8 $\mu$ A), voltagem de modulação (2V), energia do feixe de íons (1 KeV).

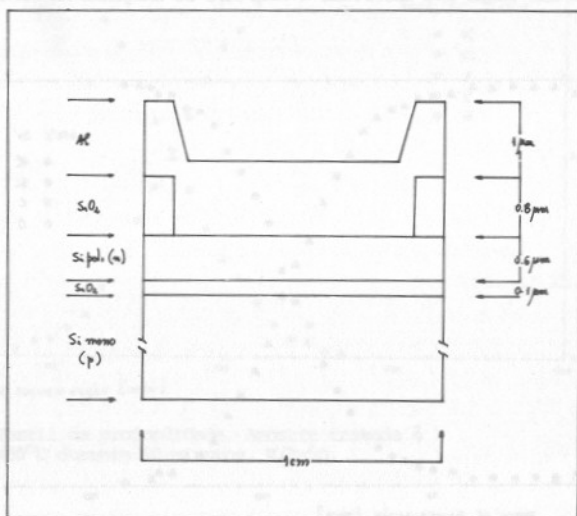


Fig. 1 - Perfil da Amostra

As transições Auger dos seguintes elementos foram monitorados: Al (68eV), Si (92 eV), P (120 eV) e O (503 eV).

Os perfis de profundidade foram plotados concentração atômica versus tempo de pulverização. A concentração atômica é obtida através da fórmula de PALMBERG<sup>3</sup>

$$C_i = \frac{I_i/S_i}{\sum_j I_j/S_j} \quad \text{onde } C \text{ é a concentração atômica, } I \text{ a intensidade dos picos Auger e } S \text{ é o fator de sensibilidade, fator este que é característico para cada elemento. Os valores de sensibilidade}^3 \text{ utilizados foram: } S(\text{Al}) = 0.25; S(\text{Si}) = 0.35; S(\text{P}) = 0.55 \text{ e } S(\text{O}) = 0.5.$$

Os valores de sensibilidade<sup>3</sup> utilizados foram: S(Al) = 0.25; S(Si) = 0.35; S(P) = 0.55 e S(O) = 0.5.

### 3. RESULTADOS

As Fig. 2 e 3 mostram alguns perfis de profundidade obtidos. Em nenhum dos casos foi observado a presença de oxigênio na interface,

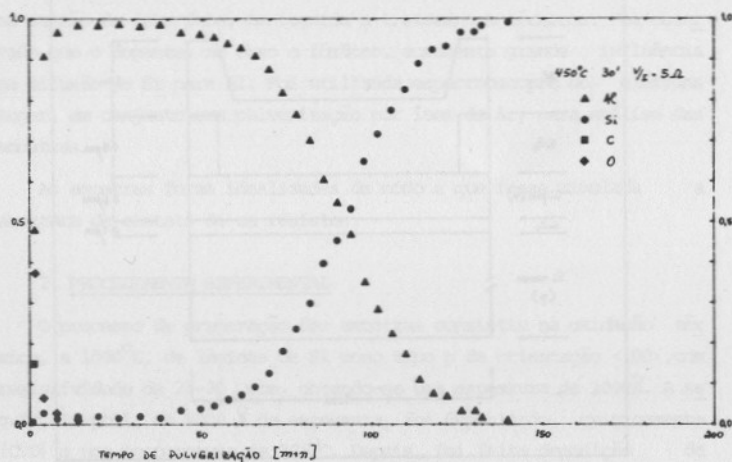


Fig. 2: Perfil de profundidade x tempo de pulverização). Amostra tratada a 450°C durante 30 minutos  $V/I=5.2$ .

devido a formação de alguma camada de óxido, e nem a presença de fósforo. Como pode ser observado, ocorre uma aparente semelhança entre os perfis, o que não permite uma análise detalhada. Porém, de um modo geral, o processo de interdifusão é descrito por função erro. Este comportamento ocorre no nosso caso. Logo, através de um gráfico de probabilidade, pode ser feita uma retificação dos perfis. A Fig. 4 mostra esta retificação. A faixa de concentração analisada foi entre 5 e 95% de Si. A Fig. 5 mostra as variações que ocorrem para uma dada temperatura com tempos diferentes de tratamento térmico. A temperatura de 450°C durante 5, 30 e 60 minutos.

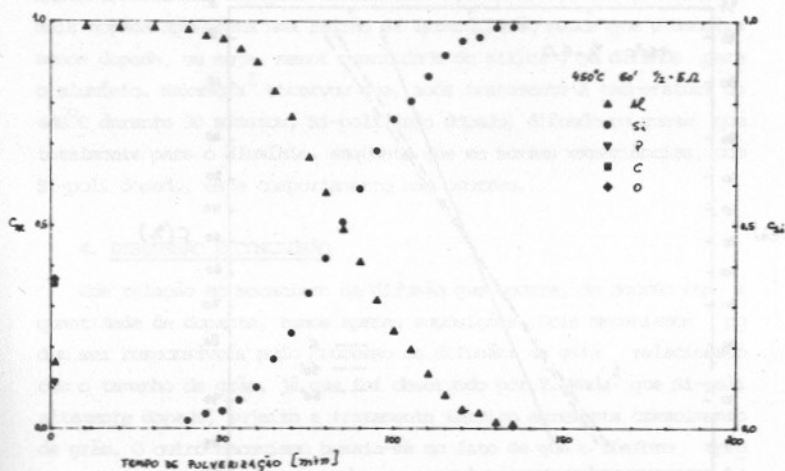


Fig. 3: Perfil de profundidade. Amostra tratada à 450°C durante 60 minutos.  $V/I=5\Omega$ .

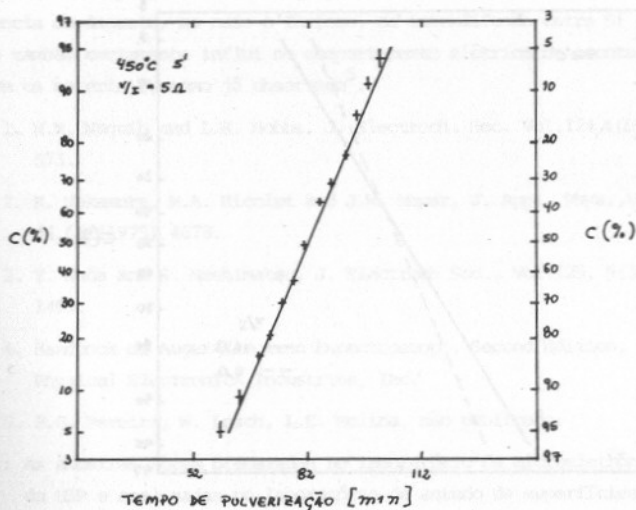


Fig. 4: Gráfico de probabilidade de um perfil de profundidade. Amostra tratada à 450°C durante 5min.  $V/I=5\Omega$

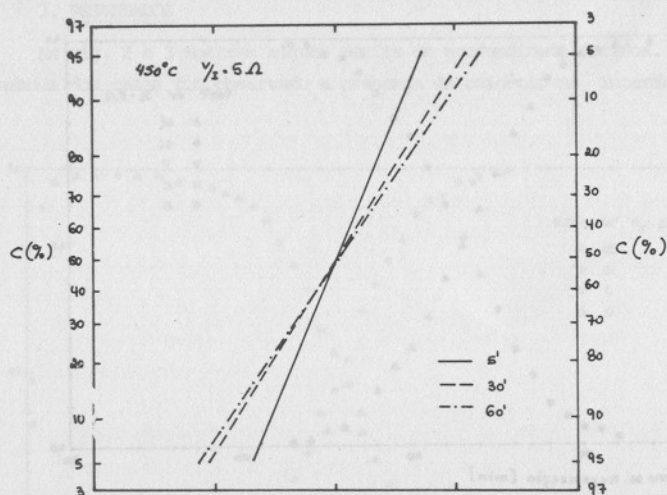


Fig. 5: Variação no perfil de profundidade de acordo com o tratamento térmico (gráfico de probabilidade).

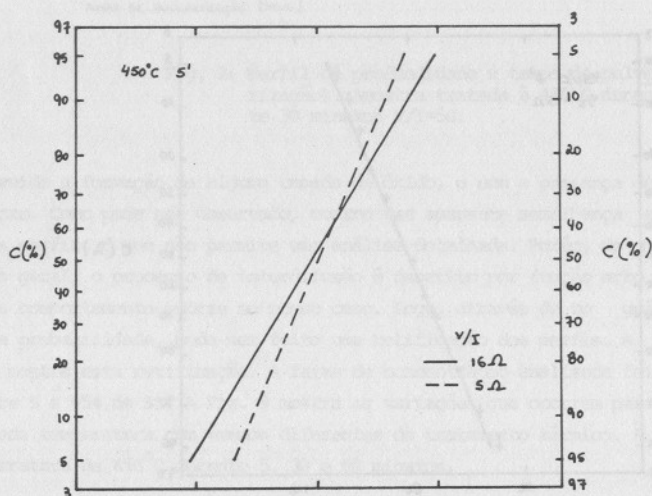


Fig. 6: Variação do perfil de profundidade de acordo com a quantidade de fósforo (gráfico de probabilidade).

A Fig. 6 mostra uma comparação entre amostras com o mesmo tratamento térmico mas dopagens diferentes. Foi observado que a amostra mais dopada apresenta uma região de interdifusão menor que a amostra menos dopada, ou seja, menor quantidade de silício, se difunde para o alumínio. Nakamura<sup>2</sup> observou que, após tratamento à temperatura de 440°C durante 30 minutos, Si-poli (não dopado) difunde-se quase que totalmente para o alumínio, enquanto que em nossas experiências, com Si-poli dopado, este comportamento não ocorreu.

#### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Com relação ao mecanismo de difusão que ocorre, de acordo com a quantidade de dopante, temos apenas suposições. Dois mecanismos podem ser responsáveis pelo processo de difusão: um está relacionado com o tamanho de grão, já que foi observado por Y. Wada<sup>4</sup> que Si-poli altamente dopado, sujeito a tratamento térmico apresenta crescimento de grão. O outro mecanismo baseia-se no fato de que o fósforo apresenta uma energia superficial menor que a do silício, devendo ocorrer segregação de fósforo para a interface, o que pode influenciar na difusão de silício, já que o fósforo também se difundirá.

Finalmente podemos concluir que foi encontrado evidências da influência do dopante, no caso o fósforo, na interdifusão entre Si e Al. Isto também certamente influi no comportamento elétrico de contatos entre os materiais, como já observado<sup>5</sup>.

1. H.M. Naguib and L.H. Hobbs, J. Electroch. Soc. Vol.124,4(1977) 573.
2. K. Nakamura, M.A. Nicolet and J.W. Mayer, J. Appl. Phys., Vol. 46, 11(1975) 4678.
3. Y. Wada and S. Neshimatsu, J. Electroch Soc., Vol.125, 9(1978) 1499.
4. Handbook of Auger Electron Spectroscopy, Second Edition, Physical Electronics Industries, Inc.
5. R.G. Pereira, W. Iosch, L.C. Molina, não publicado.

OBS.: As amostras foram preparadas no laboratório de microeletrônica da USP e analisadas no laboratório de estudo de superfícies e interfaces da UFRJ.