

CARACTERIZAÇÃO DE CONTATOS PARA
RESISTORES EM FILME FINO

Célio A. Finardi, Alexander Flacker
José Kléber da Cunha Pinto

Laboratório de Microeletrônica da E.P.U.S.P.
Deptº de Eng. Eletricidade - CP 8174 - S.P.

Este trabalho descreve um método para avaliar os efeitos dos contatos metálicos de resistores. Confeccionaram-se resistores de nitreto de tântalo sobre alumina com contatos de NiCr-Au e Ti-Pd-Au. Estes resistores após uma passivação foram submetidos a 150°C e 250°C em 2 lotes durante mais de 900 hs efetuando-se medições periódicas de suas características.

sputtering, resistores, contatos

1 - INTRODUÇÃO

No projeto de resistores em filme fino, além do filme resistivo escolhido, deve-se estudar o tipo de estrutura dos contatos que serão empregados, para garantir boa estabilidade nas características dos mesmos. Nos contatos as estruturas empregadas são compostas basicamente de duas camadas: uma superior de material condutor (usualmente ouro) e outra intermediária que apresente baixa resistência e boa aderência sobre o filme resistivo. Desta forma pode-se considerar a resistência constituída de três elementos: a) resistência do material resistivo (Ta₂N), b) resistência do material condutor (Au) e c) resistência de interface entre as duas anteriores, como mostra a figura 1

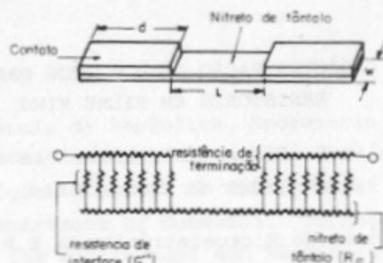


Figura 1 - Modelo de um resistor em filme fino

A degradação da resistência de interface ao longo do tempo, devido a efeitos de interdifusão, migração eletroquímica ou oxidação térmica na camada intermediária, torna-se fator predominante no desempenho de resistores de valores baixos. Este efeito pode ser avaliado através de medidas da resistência e índice de ruído dos resistores, ou testando-se a aderência do contato sobre o filme resistivo.

Neste trabalho estudaram-se duas estruturas para contatos e são apresentados os resultados comparativos obtidos após 900 horas de testes.

2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Como é apresentado na figura 1, o modelo de um resistor inclui a resistência de interface que é caracterizada por uma condutância G distribuída uniformemente pela área dos contatos, a resistência pelicular do filme resistivo R_s e do material condutor R_c . Tem-se portanto

$$R = R_s \cdot \frac{L}{W} + R_c \cdot \frac{2d}{W} \left(1 + \frac{R_c}{R_s}\right)^{-1} + \frac{2}{W} \left(\frac{R_s}{G}\right)^{1/2} \quad [1]$$

sendo L o comprimento do filme resistivo, d o comprimento dos contatos e W a largura de ambos. O primeiro termo da expressão [1] representa a parte principal do resistor, o segundo é a combinação paralela da resistência do condutor com a do filme resistivo ao longo dos contatos, e o terceiro é a resistência de interface. Deve-se notar que os dois últimos termos são inversamente proporcionais a W , e podem ser reduzidos se a largura do corpo do resistor for bem menor que a dos contatos.

Através do modelo assumido o envelhecimento de um resistor

caracterizado pela sua variação porcentual pode ser expresso por

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_s}{R_s} + 2d \frac{\Delta R'_s}{R_s} + \frac{2}{L\sqrt{R_s}} \Delta(G^{-1/2}) \quad [2]$$

Como nos experimentos realizados o segundo termo de [2] pode ser considerado desprezível ($\Delta R'_s \approx 0$), o último termo é a diferença entre o envelhecimento de um resistor de comprimento infinito e um de comprimento L , onde o efeito da resistência de interface se torna presente.

3 - MÁSCARA - TESTE

Para caracterização dos contatos projetou-se uma máscara-teste para gerar, em lâminas de 1"x1", um conjunto de resistores composto de 3 resistores intermitentes e 3 contínuos, além de uma área para testes de aderência. Os resistores intermitentes são constituídos de 100 resistores em série de pequeno valor (1 quadrado de 0,1 mm x 0,1 mm) separados por contatos de área 0,35 mm x 0,1 mm como mostra a figura 2. Desse modo pode-se avaliar os efeitos da resistência de interface em resistores de comprimento pequeno (L pequeno) com boa precisão nas medidas. Os outros resistores (150 quadrados de 0,1 mm x 0,1 mm) são usados para avaliar $\Delta R_s/R_s$ uma vez que os efeitos dos contatos não aparecem pois tem-se L grande e largura dos contatos 35 vezes maior que a do corpo dos resistores.

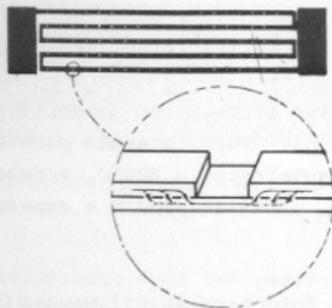


Figura 2 - Resistor intermitente

4 - RESISTORES

Confeccionaram-se resistores de nitreto de tântalo (Ta_2N) sobre substrato de alumina com 2 tipos de contatos: a) níquel cromo 80/20 (400 Å) e ouro (5 µm) b) titânio (900 Å), paládio (3000 Å) e ouro (5 µm). Em todas as deposições empregou-se um sistema de "Sputtering DC" da Balzers. Os metais dos contatos foram depositados em pressão parcial de argônio 10^{-3} Torr com os substratos à temperatura de 200°C.

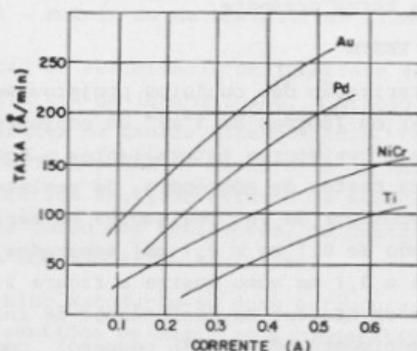


Figura 3 - Taxa de deposição em função da corrente de bombardeamento do titânio, paládio, níquel cromo e ouro (tensão de catodo 1,6 KV)

A camada de ouro obtida no metalizador 1500 Å foi criada eletroliticamente até 5 µm, empregando-se as soluções AUROBOND-TN e PUR-A-GOLD 401 fornecidas pela Oxy-Metal Finishing Brasil.

O filme resistivo de Ta_2N foi depositado à pressão parcial de nitrogênio 8.10^{-5} Torr, pressão parcial de argônio 10^{-3} Torr e com os substratos a 200°C, apresentando as características: $R_s = 50 \Omega/\square$, $TCR = -40$ ppm/°C e espessura 1000 Å.

5 - FOTOLITOGRAFIA

No processo de fotogração utilizou-se o fotorresiste AZ 1350J aplicado no espalhador centrífugo, obtendo-se uma camada de 1,7 µm. As exposições foram realizadas à luz ultra-violeta e na revelação do fotorresiste empregou-se Developer AZ 1350 diluído em água deionizada.

- No ataque químico dos filmes empregaram-se as seguintes soluções:

- ouro: decapante cianídrico Oxytron 62-B à temperatura de 60°C velocidade de ataque 3000 A/min.

- paládio: cloreto férrico hidratado 0,13 molar à temperatura de 30°C velocidade de ataque 2000 A/min.

- titânio: 50 ml de água destilada, 15 ml de hidróxido de amônio e 15 ml de água oxigenada, temperatura ambiente, velocidade de ataque 400 A/min.

- níquel cromo: 500 gr de nitrato cérico amoniacal, 200 ml de ácido nítrico a 70% em volume e 3000 ml de água deionizada à temperatura 30°C, velocidade de ataque 900 A/min.

- nitreto de tântalo: 9 partes de hidróxido de sódio a 30% em volume, 1/2 parte de água oxigenada à temperatura ambiente, velocidade de ataque: 1000 A/min

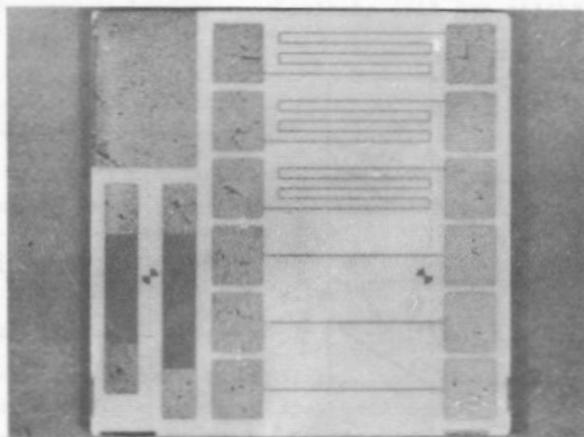


Fig.4 - Foto de uma lâmina com os resistores para testes

6 - RESULTADOS

Os resistores obtidos após uma passivação inicial a 250°C durante 5 horas, foram divididos em 2 lotes e submetidos a 150°C e 250°C em atmosfera ambiente, durante mais de 900 horas. Durante o envelhecimento dos resistores efetuaram-se medidas de variação percentual da resistência e índice de ruído, e testes qualitativos de aderência com fita

adesiva após 30, 150, 300, 600 e 950 horas.

Nos gráficos da variação porcentual da resistência para os dois tipos de estruturas a diferença entre as curvas dos resistores intermitentes ($\Delta R/R$) e dos contínuos ($\Delta R_s/R_s$) mostram a variação da resistência de interface da camada intermediária. As curvas de índice de ruído apresentam também os efeitos da resistência de interface, uma vez que os contatos imperfeitos nas estruturas geram corrente elétrica de ruído elevada.

Estrutura NiCr-Au

A estrutura com 400 Å de NiCr e 5 µm de Au apresentou acentuados efeitos da resistência de interface como mostra a figura 5. Após 600 horas de testes ocorreu degeneração da camada intermediária que pode ser notada através do acréscimo do índice de ruído e pela perda de aderência dos contatos observada nos testes com fita adesiva.

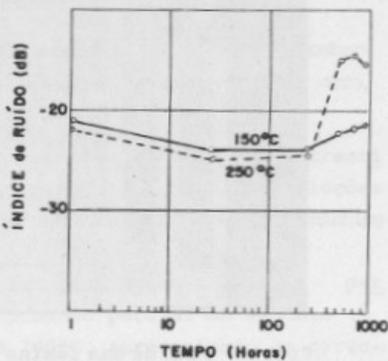
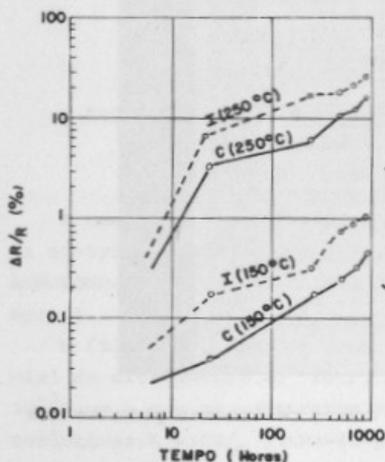


Fig. 5 Curva de $\Delta R/R$ no tempo para os resistores com estrutura de NiCr-Au

Fig. 6 Ruído dos resistores intermitentes com NiCr-Au

Estrutura Ti-Pd-Au

A estrutura 900 Å de titânio, 3000 Å de paládio e 5 µm

de ouro, apresentou resultados melhores uma vez que quase houve superposição das curvas de $\Delta R/R$ para os resistores intermitentes e os contínuos. Os índices de ruído para os resistores intermitentes a 150°C e 250°C foram praticamente idênticos sendo representada no gráfico da figura 8 uma curva média.

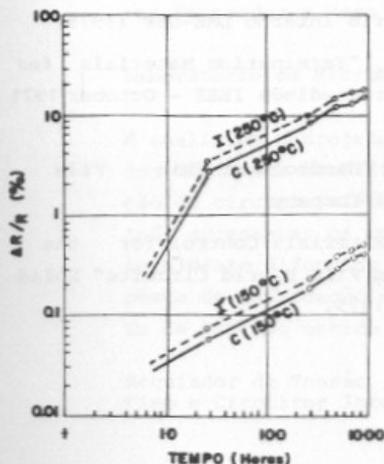


Fig. 7 Curva $\Delta R/R$ no tempo para os resistores com estrutura de Ti-Pd-Au

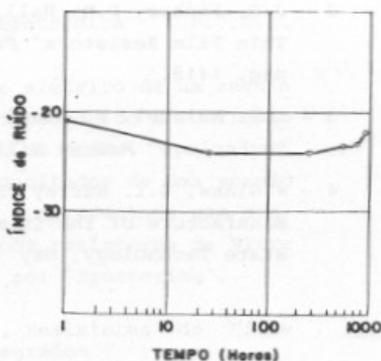


Fig. 8 Ruído dos resistores intermitentes com Ti-Pd-Au

Estes resistores não apresentam problema de aderência nos contatos até as 1000 horas de testes.

7 - CONCLUSÃO

O trabalho apresentado foi realizado com resistores de nítreto de tântalo e os resultados obtidos não podem ser aplicados para estruturas de contatos depositados diretamente sobre um substrato semiconductor. Pretendeu-se neste trabalho apresentar um método de avaliação das estruturas para contatos, através de comparação de resultados obtidos com o envelhecimento de resistores. Na elaboração dos resistores todos os processos foram criteriosamente controlados de maneira a apresentarem a mesma história de fabricação para evitar dispersão de resultados.

Das duas estruturas estudadas a Ti-Pd-Au apresentou as

propriedades necessárias para um contato: baixo ruído, boa aderência e resistência pelicular adequada.

8 - BIBLIOGRAFIA

- 1 - C.A. Finardi, "Desenvolvimento da Técnica de Deposição por Bombardeamento para Confecção de Resistores em Filme Fino". Relatório Interno LME-USP (1979)
- 2 - J.S. Fisher, P.M. Hall, "Termination Materials for Thin Film Resistors" Proceedings IEEE - October 1971 pag. 1418.
- 3 - L.I. Maissel, R. Gland "Handbook of Thin Film Technology" McGraw Hill Company
- 4 - W.Glass, G.I. Murray "Materials Control for the Manufacture of the Thin Film Hybrid Circuits" Solid State Technology, May 1975.