

INTERFACE METAL/SEMICONDUTOR E PERFIL DE PROFUNDIDADE

W. Losch e H. Niehus*

COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro

Laboratório de Estudos de Superfícies e

Interfaces (LESI)

C.P. 68505, Rio de Janeiro

*Institut für Grenzflächenforschung

und Vakuumphysik (IGV)/KFA

Jülich, Alemanha

As espessuras das interfaces entre paládio e silício cristalino ou amorfo em filmes finos são medidas através do método de perfil de profundidade usando "sputtering" com íons de argônio de 2 KeV. Observam-se variações entre 180 e 900 Å dependendo do material e do seu tratamento. O efeito "knock-in" parece ter a maior influência no alargamento da espessura da interface.

Palavras chaves: interface, sputtering, knock-in.

INTRODUÇÃO

O método de análise em perfil de profundidade, i.e. perfuração da amostra por "sputtering" com um feixe de íons medindo-se simultaneamente a concentração atômica com a espectroscopia de elétrons Auger, é uma técnica muito usada na pesquisa das interfaces e interdifusão em filmes finos (1,2). Este método, porém, exige uma aplicação cuidadosa, especialmente nas interfaces metal/semicondutor, pois vários efeitos introduzem erros e limitam a resolução, que depende de:

- profundidade da medida (3)
- rugosidade da superfície (4)

- mistura dos átomos por choques (5)
 - implantação (knock-in) (6)
 - profundidade de saída de elétrons (1.2)
- e outros efeitos.

Neste trabalho estudamos algumas interfaces variando-se o material dos filmes, tratamento térmico e profundidades de medidas.

EXPERIMENTAL

As amostras são de silício mono-cristalino (100) de alta pureza, filmes finos de silício amorfo obtidos por evaporação e de silício amorfo hidrogenado produzidos por decomposição do gás silana, SiH_4 , em descarga de R.F. Os filmes de a-Si:H foram depositados a uma temperatura de substrato $T_s=300^\circ\text{C}$. Filmes metálicos de paládio e vanádio foram depositados por aquecimento com feixe de elétrons em alto vácuo ($p \approx 10^{-6}$ torr) com temperatura de substrato $T_s=25^\circ\text{C}$. Para as análises usamos uma microsonda Auger tipo SAM 590, fabricada pela Physical Electronics. O "sputtering" foi realizado com um feixe de íons de argônio com $E_1 = 2 \text{ keV}$ e densidade de corrente $J_1 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ A/cm}^2$. O ângulo de incidência na amostra foi $\psi = 30^\circ$. Os parâmetros Auger são: energia primária $E_p = 3 \text{ keV}$, corrente de elétrons $i_p = 50 \text{ nA}$. Todas as análises são feitas em ultra alto vácuo ($p=2 \cdot 10^{-9}$ torr).

RESULTADOS

Primeiro foram determinadas experimentalmente, com filmes de espessura conhecida, as taxas de sputtering. A tabela I mostra os resultados para $E_1=2 \text{ keV}$ e $\psi=30^\circ$:

TABELA I

Material	V	Pd	Pd_2Si	a-Si:H
Taxa [$\text{\AA}/\text{min}$]	110	260	300	480

O efeito de implantação por choques com íons Ar^+ de 2 keV ("knock-in") foi estudado com V e Pd em substratos de c-Si, a-Si (ev) e a-Si:H, aplicando o método descrito por Werner (6),

alternando a energia dos íons entre 2 e 0,5 KeV. Na figura 1 pode se verificar que um filme de V sobre a-Si:H não mostra implantação de V. Mas Pd é fortemente implantado em a-Si(ev), com menor intensidade em a-Si:H e, menor ainda em c-Si.

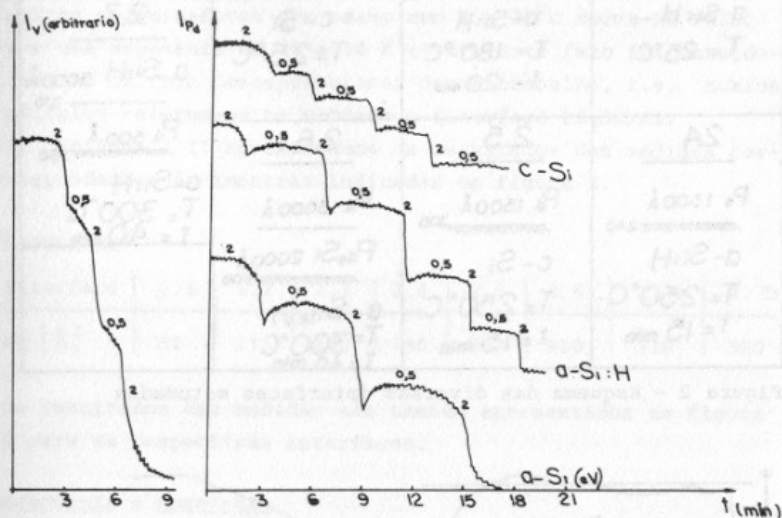


Figura 1 - Teste do efeito "knock-in"

O crescimento do sinal de Pd quando foi utilizado $E_i = 0,5$ keV indica o efeito de implantação.

Na figura 2 apresentamos um esquema das diversas interfaces, com os respectivos tratamentos térmicos, cujas espessuras foram medidas. A espessura da interface é calculada com a obtenção de $\Delta z = S \cdot \Delta t$ onde $\Delta t = t_1 - t_2$ é o intervalo de tempo de "sputtering" com $t_1 \approx 84\%$ da concentração inicial e $t_2 \approx 16\%$ da concentração final do material estudado. S é a taxa de "sputtering" do material em consideração. A figura 3 mostra um típico perfil de uma interface, com os pontos t_1 e t_2 . Não se utilizou uma varredura no feixe de íons pois o diâmetro dele é muito maior que o diâmetro do feixe dos elétrons.

A amostra V/a-Si:H foi produzida para a calibração da resolução instrumental de nosso sistema. Como mostrou o teste apresentado na figura 1 não existe um notável efeito "knock-in".

2.1 <u>V 500 Å</u> 52 a-Si:H T = 25°C	2.2 <u>Pd 500 Å</u> 190 a-Si:H T = 180°C t = 20 min	2.3 <u>Pd 2500 Å</u> 180 c-Si T = 25°C	2.7 <u>a-Si:H 3000 Å</u> 210 <u>Pd 500 Å</u> 350 a-Si:H T = 300°C t = 40 min
2.4 <u>Pd 1500 Å</u> 240 a-Si:H T = 250°C t = 15 min	2.5 <u>Pd 1500 Å</u> 205 c-Si T = 250°C t = 15 min	2.6 <u>Pd 3000 Å</u> 900 <u>Pd₂Si 2000 Å</u> 900 a-Si (eV) T = 300°C t = 40 min	

Figura 2 - Esquema das diversas interfaces estudadas

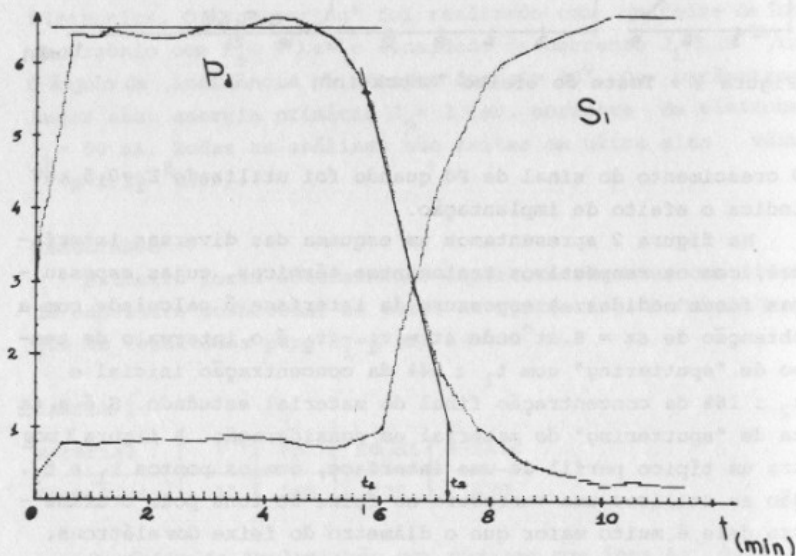


Figura 3 - Perfil de profundidade típico de Pd/Si

Sabe-se também que a interface 2.1 (ver. fig. 2) não mostra sinal de interdifusão, representando então uma interface realmente abrupta (7).

No caso da deposição de Pd sobre Si foi demonstrado por muitos pesquisadores que mesmo com $T \leq 25^\circ\text{C}$ forma-se Pd_2Si com uma espessura de 20 a 50 Å (7,8). Este fato foi considerado no cálculo das espessuras Δz deste trabalho, i.e. nossos cálculos referem-se na verdade a interface $\text{Pd}_2\text{Si}/\text{Si}$.

Na tabela II apresentamos os resultados das medidas correspondentes às amostras indicadas na figura 2.

TABELA II

Interface	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7a	2.7b
Δz [Å]	52	195	180	240	205	900	210	350

Os resultados das medidas são também apresentados na figura 2 para as respectivas interfaces.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O resultado da interface 2.1 mostra que a resolução instrumental é boa. Não se pode esperar uma resolução muito melhor já que a mistura por choques está na faixa de $\Delta z \approx 25$ Å (5) e a profundidade de saída dos elétrons da transição do vanádio é da ordem de $\lambda_v = 15$ a 20 Å.

A amostra 2.2, após o tratamento térmico, tem o filme de Pd completamente transformado em Pd_2Si e a interface apresentou pouca estrutura morfológica (9).

Esta interface $\text{Pd}_2\text{Si}/\text{Si}$ foi estudada em vários trabalhos através de métodos de retroespalhamento e de microscopia eletrônica de alta resolução e concluiu-se que a interface também é de forma abrupta não mostrando perfil de interdifusão (8). Em contraste nossa medida mostra uma largura Δz (2.2) bem maior que Δz (2.1).

Atribuímos este fato ao efeito "knock-in" observado (ver fig. 1) no caso de Pd sobre a-Si:H. O mesmo efeito pode ser constatado comparando Δz (2.4) com Δz (2.5). Verifica-se na figura 1 que o efeito "knock-in" é menor em c-Si, consequen-

temente o alargamento da interface na amostra 2.5 é menor que em 2.4.

A espessura do filme de Pd depositado, i.e. a profundidade da análise parece não ter muita influência, como mostra a comparação entre as amostras 2.2 e 2.3.

Interessante são os resultados das amostras 2.6 e 2.7. Na amostra 2.7, tipo sandwich, o Pd também foi transformado completamente em Pd_2Si sem nenhuma estrutura morfológica nas duas interfaces (9). A espessura Δz (2.7a) é quase igual a Δz (2.2) o que é um resultado bem razoável. Observa-se, porém, Δz (2.7b) bem maior que Δz (2.7a). Como o filme Pd_2Si entre as duas camadas de a-Si:H é fino ($\sim 700 \text{ \AA}$) a diferença entre Δz (2.7b) e Δz (2.7a) não pode ser atribuída a maior profundidade da interface 2.7b. Considerando também o resultado da interface Δz (2.6) = $900 \text{ \AA}$, i.e. uma espessura muito grande, chegaremos a seguinte interpretação para os resultados das duas interfaces 2.6 e 2.7b. No caso da amostra 2.6 existem duas razões para se obter uma interface espessa: primeiro a interface mostra uma forte estrutura morfológica (rugosidade) (9), segundo o substrato é a-Si evaporado, não hidrogenado, que conhecidamente apresenta uma má qualidade, com muitos defeitos (10). Devido a isto, o efeito "knock-in" é muito forte em a-Si (ev) (ver fig. 1) alargando bastante a verdadeira espessura da interface a ser medida.

O mesmo pode ter ocorrido na interface 2.7b, pois durante a deposição da camada a-Si:H externa, a amostra fica a uma temperatura $T = 300^\circ\text{C}$ por 40 minutos. Nesta temperatura já ocorre a evolução do hidrogênio (11) deixando o filme a-Si:H interno com mais defeitos provocando assim um aumento do efeito "knock-in".

Concluimos com estes resultados que o efeito "knock-in" tem grande influência na determinação das espessuras das interfaces por "sputtering" em caso de sistema Pd/a-Si:H.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio do convênio CNPq (Brasil) - KFA (Alemanha) e FINEP (Brasil). Sr. Ronaldo L. Neves Pinheiro agradecemos pela preparação das amostras.

REFERÊNCIAS

1. J.M. Marabito, R.K. Lewis, em "Methods of Surface Analysis" A.W. Czanderna, Ed., Elsevier, Amsterdam, (1975).
2. J.W. Mayer, J.M. Poate, em "Thin Film - Interdiffusion and Reactions", J.M. Poate, K.N. Tu, J.W. Mayer, Eds. J. Wiley Sons, New York, (1978).
3. M.P. Seah, J.M. Sanz, S. Hoffmann, Thin Sol. Films 81 (1981), 239.
4. M.P. Seah, C. Lea, Thin Sol. Films 81, (1981) 257.
5. H.H. Andersen, Appl. Phys. 18 (1979), 131.
6. G. Wehner em "Methods of Surface Analysis", A.W. Czanderna, Ed., Elsevier, Amsterdam, (1975).
7. C. Achete, H. Niehus, W. Losch, Jour. Vac. Sci. Technol., a ser publicado.
8. P.S. Ho, Jour. Vac. Sci. Technol, A1, (1983), 745.
9. W. Losch, H. Niehus, 11^o Inter. Conf. Liquid a Amorphous Semiconductor, Roma, (1985), a ser publicado.
10. José Roberto Filho, F. Camelier, R.G. Pereira, W. Losch, III Simp. Brasil. Microeletrônica, São Paulo, (1983).
11. W. Beyer, H. Wagner, Jour. Non - Cryst. Sol. 59, (1983), 161.