

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO ÓTICA DO SILÍCIO AMORFO
HIDROGENADO POR ESPECTROSCOPIA DE DEFLEXÃO FOTOTÉRMICA

Herval R. Paes Jr. e Wolfgang Losch

Gottfried H. Bauer

LEMI/PEMM/COPPE/UFRJ
Cx. Postal: 68505
CEP.: 21945 - Rio de Janeiro-RJ.

Institut fuer Physikalische
Elektronik
Universitaet Stuttgart -
Pfaffenwaldring 47
D-7000 - Stuttgart - 80-Alem.Ocid.

RESUMO

Neste trabalho é apresentada e discutida a técnica de espectroscopia de deflexão fototérmica (PDS).

Através desta técnica foram caracterizados ópticamente filmes intrínsecos de silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) produzidos por RF glow-discharge. Esta caracterização, permitiu a determinação do coeficiente de absorção entre 2,4 eV e 0,8 eV, da borda de Urbach (E_0) e da densidade de estados ($N(E)$) no gap do semicondutor. Os resultados obtidos $\alpha(1,0 \text{ eV}) = 1,44 \text{ cm}^{-1}$, $E_0 = 51,6 \text{ meV}$ e $N(E_F) = 8 \times 10^{16} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ próximo ao nível de Fermi atestam a excelente qualidade dos filmes intrínsecos de a-Si:H produzidos no nosso laboratório e viabilizam sua aplicação como camada intrínseca de uma célula solar de a-Si:H.

I - INTRODUÇÃO

Uma das conseqüências da desordem e dopagem na estrutura eletrônica dos semicondutores amorfos é a introdução de estados no sub-gap, também conhecidos como defeitos, provocando alterações nas propriedades do material. Portanto a informação sobre a natureza, densidade e níveis de energia destes estados é de grande interesse.

No estudo de defeitos, um dos métodos mais utilizados consiste na determinação da absorção ótica no sub-gap. Contudo a detecção de pequenas absorções utilizando as técnicas convencionais de medida de transmitância e refletância apresentam limitações, pois é necessário detectar-se pequenas diferenças entre o feixe incidente e o transmitido. As limitações destes métodos levaram ao desenvolvimento da espectroscopia de deflexão fototérmica (PDS) [1 e 2] para medida de pequenas absorções óticas.

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados obtidos na caracterização ótica de filmes intrínsecos de a-Si:H produzidos no LEMI através desta técnica.

II - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A espectroscopia de deflexão fototérmica (PDS) consiste na determinação da absorção ótica ($\alpha(h\nu)$) de um material através da medida indireta da elevação da temperatura de uma amostra ocasionada por absorção de luz. Esta elevação é monitorada através do gradiente de temperatura que ocorre num líquido no qual a amostra está imersa. Este gradiente provoca uma modulação no índice de refração do líquido e deflexiona um feixe de laser que passa paralelamente a superfície da amostra e incide num sensor de posição. Através da medida da deflexão do feixe mede-se o fluxo de calor transversal ao mesmo, e obtem-se a elevação da temperatura da amostra.

Jackson et al [2] demonstraram que o sinal de deflexão do feixe (S) é dado por

$$(S) = C \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot l)] \quad \text{Eq. (1)}$$

onde C é uma constante de proporcionalidade.

A constante C pode ser determinada na região de fótons de alta energia onde o a-Si:H é altamente absorvedor e o sinal de deflexão fica saturado.

Através da eq. (1) demonstra-se que é possível determinar $\alpha(h\nu)$ utilizando a espectroscopia (PDS) conhecendo previamente a espessura do filme, sem que nenhuma medida ótica adicional seja requerida.

O arranjo experimental utilizado é o apresentado na fig. (1). O sistema utilizado na caracterização pertence ao Instituto de Física-Eletrônica da Universidade de Stuttgart na Alemanha Ocidental.

Como fonte de excitação ótica é utilizada uma lâmpada a arco de Xenônio de 1 kW de potência acoplada a um monocromador e um conjunto de filtros para eliminar ordens de difração indesejadas. A modulação no feixe de excitação é dada por um chopper mecânico.

O feixe de análise utilizado é um laser de He-Ne que deve passar paralelamente a superfície da amostra e incidir no detector de posição que vai medir a deflexão. O sinal de saída do detector é co-

nectado a entrada diferencial de um amplificador lock-in. Como meio defletor é utilizado tetracloreto de carbono (CCl_4).

Os filmes finos de a-Si:H foram depositados no reator RF "glow-discharge" disponível no LEMI e descrito em trabalhos anteriores [3]. Como substrato foi utilizado vidro corning 7059.

Os filmes intrínsecos de a-Si:H analisados neste trabalho foram depositados nas seguintes condições:

Ts (temperatura de substrato)	= 250°C
ϕ (fluxo de gás)	= 16,5 SCC/min
P (potência)	= 7W ou 0,14W/cm ²
p (pressão no reator)	= 0,7 mbar
d (distância entre eletrodos)	= 2,5cm
taxa de deposição	= 100 Å/min
λ (espessura)	= 1,16 μ m

III - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para o coeficiente de absorção ótica $\alpha(h\nu)$ são apresentados na fig. (2). Observa-se que utilizando (PDS) é possível determinar α na região de absorção exponencial, também conhecida como borda de Urbach, e na região de baixa absorção do espectro do a-Si:H. Nesta última região detetam-se valores de α da ordem de 1 cm⁻¹ atestando a sensibilidade do método e a boa qualidade do filme analisado, já que a absorção nesta região está relacionada com defeitos presentes no interior do gap.

A definição da região de absorção exponencial, como indicado na fig. (2), região "A", permite o cálculo da borda de Urbach (E_0) através da seguinte equação:

$$\alpha = \alpha_0 \exp (h\nu/E_0) \quad \text{Eq. (2)}$$

A determinação de E_0 é importante, pois traz informações sobre a densidade de estados no prolongamento da banda de valência. Os valores de E_0 normalmente encontrados [1, 4 e 5] para filmes de a-Si:H depositados em diversas condições estão entre 50 e 150 meV. Para os filmes de a-Si:H analisados obteve-se $E_0 = 51,6$ meV. Este resultado é excelente pois quanto menor E_0 , menor será a densidade no prolongamento da banda de valência.

A partir dos valores obtidos para $\alpha(h\nu)$ pode-se estimar a densidade de estados $N(E)$ [1]. Na fig. (3) é apresentada a distribuição de $N(E)$ com $(E - E_v)$ onde E_v é a borda de mobilidade da banda de valência. A região "A" desta distribuição se refere ao prolongamento da banda de valência no gap estando relacionada com a energia de Urbach. A região "B" é de transição. A região "C" está relacionada a região de baixa absorção ótica do a-Si:H, ver fig. (2).

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que os filmes intrínsecos de a-Si:H produzidos no LEMI são de excelente qualidade. Estes resultados aliados aos obtidos na caracterização elétrica dos

mesmos viabilizam sua aplicação como camada intrínseca de uma célula solar de a-Si:H.

AGRADECIMENTOS

- Agradecemos a FINEP, CNPq e DAAD pelo apoio financeiro.

- Um dos autores (H.R. Paes Jr.) agradece ao Prof. W.H. Bloss, diretor do IPE - Universidade de Stuttgart, e aos demais membros desta instituição pelo apoio recebido durante sua visita.

BIBLIOGRAFIA

- [1] N.M. AMER e W.B. JACKSON - Semiconductors and Semimetals, volume 21, Parte B, capítulo 3 - Academic Press - 1984.
- [2] W.B. JACKSON, N.M. AMER, A.C. BOCCARA e D. FOUNIER - Applied Optics, volume 20, nº 8 - Abril de 1981, pp. 1333-1344.
- [3] H.R. PAES JR. - Tese Mestrado - COPPE/UFRJ, Agosto 1986.
- [4] B. ABELES, C.R. WRONSKI, T. TIEDJE e G.D. CODY - Solid State Communications, volume 36, 1980, pp. 537-540.
- [5] L. LEY - Topics in Applied Physics - volume 56 - The Physics of Hydrogenated Amorphous Silicon II - capítulo 3 - Springer-Verlag - 1984.

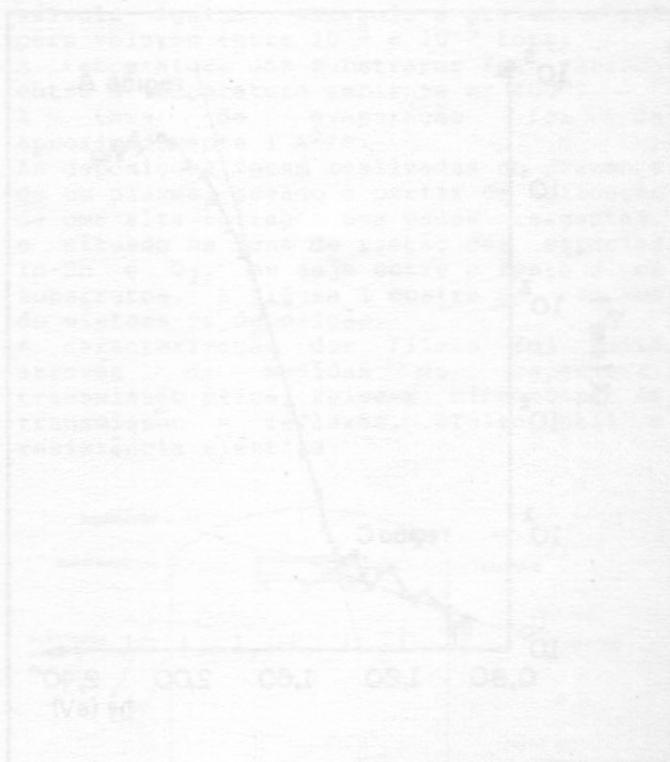


Fig. 2 - Absorção ótica $\alpha(h\nu)$ versus energia $h\nu$ para filmes intrínsecos de a-Si:H depositados em diversas condições. A região "A" refere-se ao prolongamento da banda de valência no gap, a região "B" é de transição e a região "C" refere-se à região de baixa absorção ótica.

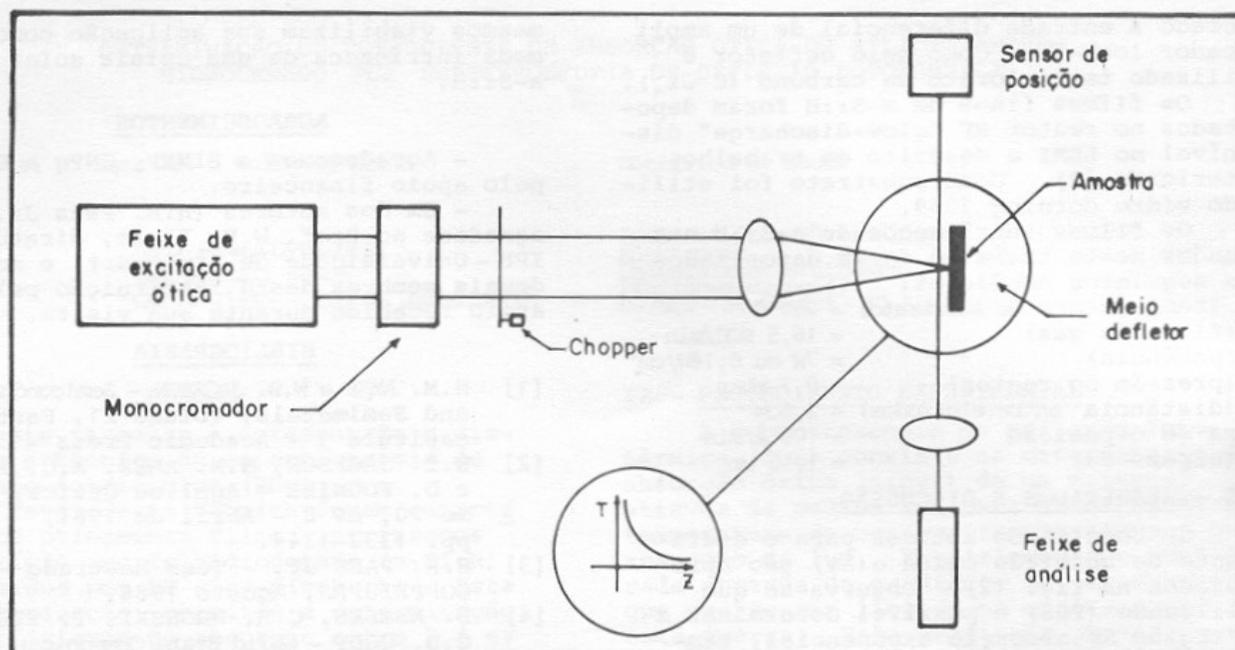


Fig. (1) - Diagrama esquemático do arranjo experimental utilizado (PDS)

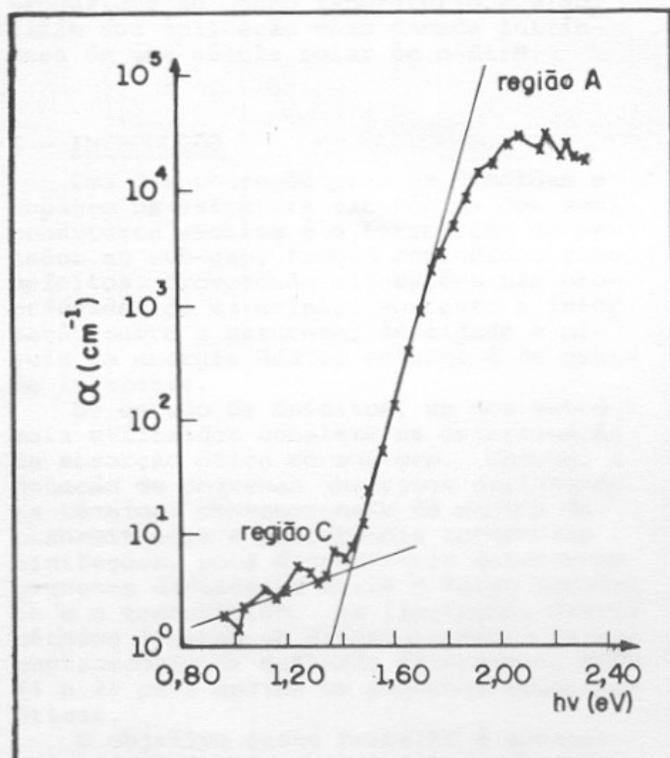


Fig. (2) - Variação do coeficiente de absorção ótica (α) com a energia do fóton ($h\nu$) para filmes intrínsecos de a-Si:H

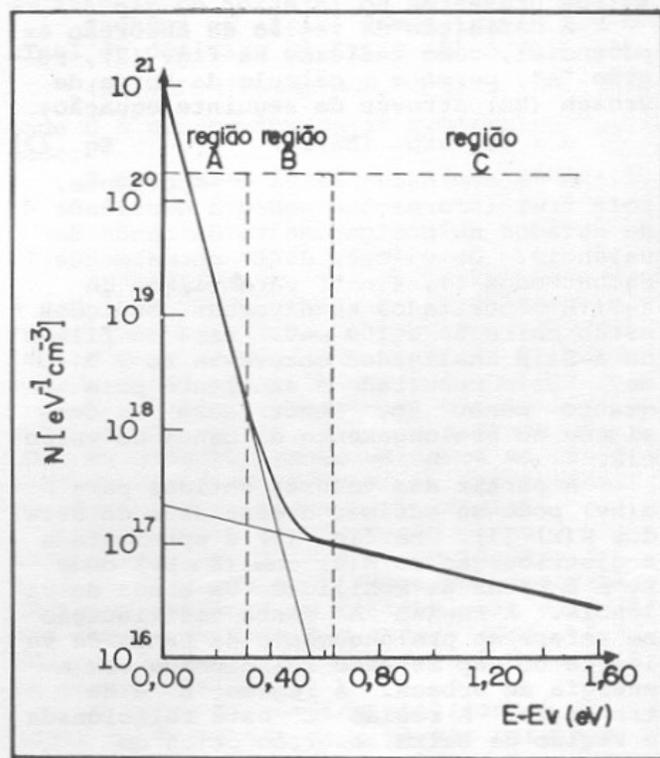


Fig. (3) - Estimativa da distribuição da densidade de estados (N) em função da energia ($E - E_v$) para filmes intrínsecos de a-Si:H