

FILMES FINOS DE SILÍCIO AMORFO:  
PREPARAÇÃO E PROPRIEDADES ÓTICAS.

René Brenzikofer e Cesar Constantino\*  
Instituto de Física/UNICAMP  
C.P. 6165 Campinas, SP, 13.100

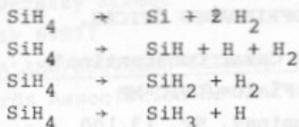
Descrevemos o equipamento projetado e montado no Grupo de Conversão Fotovoltáica da UNICAMP para crescimento de filmes de silício amorfo hidrogenado a partir da decomposição do silano numa descarga luminescente de rádio frequência. Apresentamos resultados de medidas sobre as primeiras amostras: taxa de crescimento, índice de refração, coeficiente de absorção. A banda proibida do material produzido está em torno de 1,8 eV.

Em 1975, W. E. Spear e P.G. Le Comber [1] mostraram que o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) pode ser produzido tanto do tipo n como p, através de dopagem. Este progresso colocou o novo material em evidência para aplicações em dispositivos de conversão fotovoltáica de energia solar. A possibilidade de fabricação em grandes áreas a baixo custo autoriza as mais favoráveis expectativas em relação a essas e outras aplicações. Atualmente já se produzem células solares baseadas em a-Si:H ou a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H com eficiências de 8% ou mais [2].

Os três processos mais utilizados para a obtenção de filmes de a-Si:H são: "sputtering" de um alvo de silício em atmosfera contendo hidrogênio, "CVD" utilizando SiH<sub>4</sub> ou Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, e a deposição a partir de uma descarga luminescente ("glow discharge") numa atmosfera contendo silano,

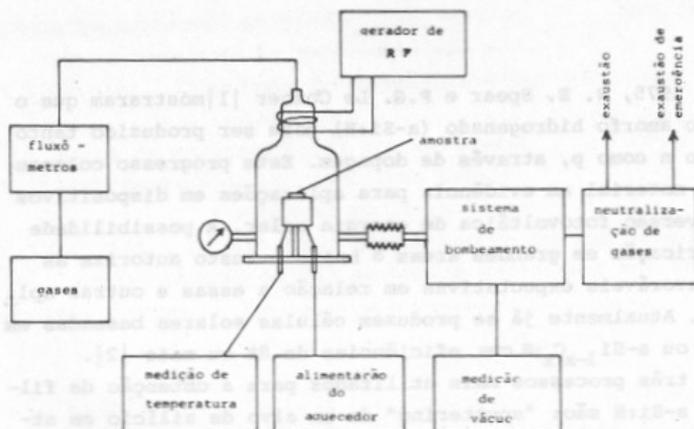
O método mais bem sucedido e que permitiu obter os melhores dispositivos foi o da descarga luminescente de rádio-fre-

-quência (RF), que foi adotado no Grupo de Conversão Fotovoltáica da UNICAMP. Na descarga a molécula de silano é quebrada, ocorrendo as seguintes reações principais:



Alguns destes radicais podem estar ionizados. Sabe-se da necessidade de minimizar a presença dos radicais  $\text{SiH}_2$  e  $\text{SiH}_3$  nas camadas de a-Si:H, favorecendo a incorporação de Si H. As principais variáveis que permitem esta otimização são a temperatura e a polarização do substrato.

Por outro lado, os contaminantes oxigênio, cloro e hidrocarbonetos criam defeitos importantes e sua presença deve ser reduzida ao mínimo. No sistema montado em nosso grupo a contaminação por microfugas e degasagem das paredes é inferior a 0,2 ppm, ou seja, menor que a das impurezas previstas no próprio silano. A figura 1 mostra um esquema do equipamento.



**Figura 1:** Esquema do equipamento para produção de filmes de silício amorfo a partir de um plasma de silano.

Três geometrias de reatores estão sendo testadas, diferindo entre si principalmente pelo tipo de acoplamento da potência RF e pelos eletrodos de polarização. Os três reatores são esquematizados na figura 2 a seguir.

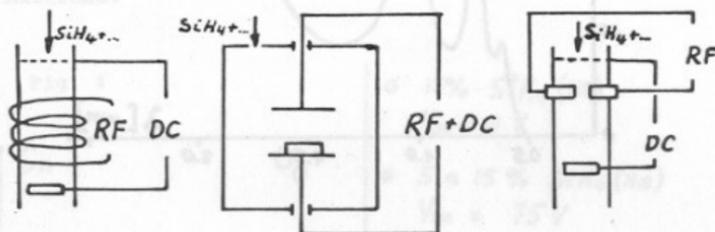


Fig. 2: Geometria dos Reatores

a) acoplamento indutivo, reator pyrex, depósitos inhomogêneos; b) acoplamento capacitivo, reator de aço inox; depósitos homogêneos; c) acoplamento capacitivo transversal, reator de pyrex, depósitos homogêneos.

Deposição de amostras e medidas - As amostras estudadas neste trabalho foram todas obtidas no reator de pyrex, com acoplamento RF capacitivo transversal. A flexibilidade das condições de funcionamento deste equipamento é grande e os parâmetros de crescimento estão sendo otimizados. As condições típicas usadas são:

- atmosfera:  $\text{SiH}_4$  puro ou diluído em He.  
Pressão 0,1 a 1.0 Torr  
Fluxo total até 150 sccm
- substratos: vidro ou quartzo, a temperaturas entre 250 e 450°C, polarização DC  $\bar{\bar{}}$  - 70V.

As vinte primeiras amostras foram caracterizadas através de medidas de transmitância, T, e refletância, R, no visível e infra-vermelho próximo. A figura 3 mostra um espectro de transmitância típico.

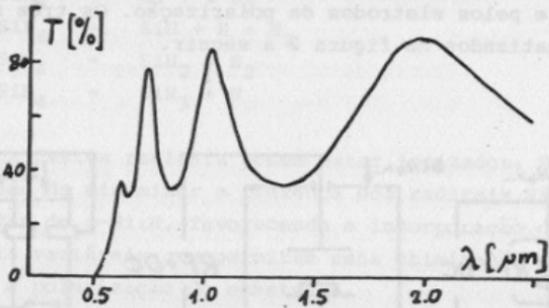


Fig. 3: Espectro de transmitância de um filme de silício amorfo.

Na região de baixa absorção aplicamos o método de Manifacier et al. [3] que permite calcular, a partir dos máximos e mínimos de interferência do espectro de transmitância, a espessura, o índice de refração e o coeficiente de absorção. Com essas medidas de espessura fizemos um estudo das taxas de crescimento em função da concentração de  $\text{SiH}_4$ , polarização e temperatura do substrato.

Na região de forte absorção, o coeficiente de absorção foi calculado usando as medidas de T e R e a espessura do filme t:

$$\alpha = -\frac{1}{t} \ln \left( \frac{T}{1-R} \right)$$

## RESULTADOS

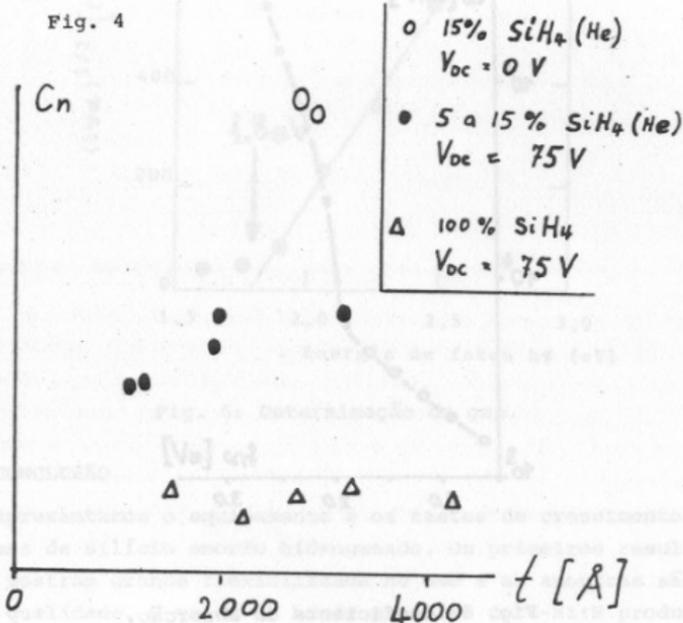
### a) Taxa de crescimento.

Nas condições experimentais citadas acima obtivemos taxas de crescimento da ordem de  $1\text{\AA}/\text{s}$ .

A fim de comparar amostras crescidas com diferentes concentrações de  $\text{SiH}_4$ , fluxos e tempos de deposição, definimos uma taxa de crescimento normalizada  $C_n$  da seguinte maneira:

$$C_n = \frac{\text{espessura}}{\text{fluxo} \times \text{concentração de SiH}_4 \times \text{tempo}}$$

A figura 4 mostra  $C_n$  em função da espessura dos filmes obtidos. Os parâmetros com maior influência são a concentração de  $\text{SiH}_4$  e a polarização contínua: o aumento destes parâmetros resulta em substancial redução da taxa de crescimento normalizada.



b) Índice de refração.

Para todas as amostras o índice de refração situa-se entre 3.6 e 3.7 na faixa de energia de ftons entre 0.5 e 1.4 eV.

c) Coeficiente de absorção e banda proibida.

A banda proibida, dependendo das condições de preparação e principalmente do conteúdo de hidrogênio, pode variar entre 1.6 e 2.0 eV; havendo contaminação por oxigênio e outros elementos este valor pode passar de 2.0 eV.

Nos determinamos a largura da banda proibida  $E$  através do gráfico  $(h\nu)^{1/2} \times h\nu$ , obtendo aproximadamente 1.8 eV. Na figura 5 mostramos o coeficiente de absorção em função da energia de fóton e na rig. 6 o gráfico da determinação da banda proibida.

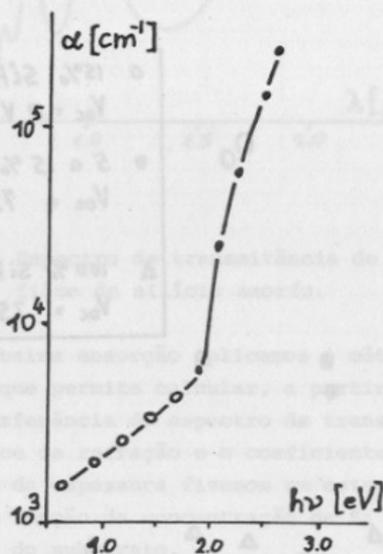


Fig. 5: Coeficiente de absorção.

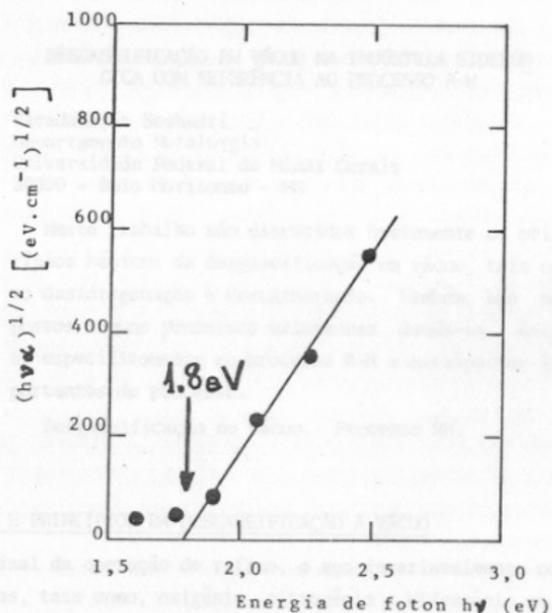


Fig. 6: Determinação do gap.

#### CONCLUSÃO

Apresentamos o equipamento e os testes de crescimento de filmes de silício amorfo hidrogenado. Os primeiros resultados mostram grande flexibilidade no uso e as amostras são de boa qualidade. O valor da banda proibida do a-Si:H produzido está em torno de 1,8 eV.

#### REFERÊNCIAS

- [1] W. E. S and P.G. Le Comber, Solid State Comm. 17 (1975) 1193.
- [2] Y. Tawada et al., 4th EC Photovoltaic Solar Energy Conf. 1982 Stresa (Italy).
- [3] J. C. Manifacier et al., J. Phys. E 9 (1976) 1002.