

8

Conclusão e Perspectivas Futuras

8.1 Conclusão

Nesta tese foram demonstrados os princípios de uma nova técnica para preparação de fitas de silício para aplicações fotovoltaicas. A técnica apresentada, com a designação SDS – *Silicon on Dust Substrate*, foi pensada para produzir fitas silício de elevada pureza e baixo custo partindo directamente da fase gasosa, dispensando a etapa de obtenção de silício sólido por decomposição térmica dos silanos, que é uma etapa dispendiosa nos processos actualmente existentes.

O processo SDS é composto por duas etapas principais: (1) deposição rápida de silício, por CVD a partir de silano, sobre pó de silício, para formação de uma pré-fita de silício intrínseco, de elevada pureza, contínua, destacável e autosustentada; e (2) dopagem e recristalização por zona fundida, ZMR (*Zone Melting Recrystallization*), da pré-fita, para obtenção de uma fita de silício com qualidade cristalográfica adequada para aplicação fotovoltaica.

Foram procuradas e encontradas condições de preparação de pré-fitas e de fitas cristalizadas de silício, preparadas pela versão actual de demonstração de princípio do processo SDS; com estas amostras foram feitas e caracterizadas as primeiras células solares realizadas em silício SDS, demonstrando desta forma todas as etapas do processo, desde a fonte gasosa até à célula solar.

As pré-fitas crescidas por CVD, resultantes da 1ª etapa, a baixas temperaturas (740-760°C) e elevadas taxas de deposição (5-9µm/min) são autosustentáveis e porosas, embora com qualidade cristalográfica insuficiente (micro- ou nano-cristalina). A segunda etapa eliminou a porosidade, aumentou a qualidade cristalográfica e dopou a pré-fita de

silício que até este passo era do tipo intrínseco. A dopagem, feita pelo método de pulverização superficial com ácido bórico seguida de recristalização, mostrou-se apropriada para fitas deste tipo, resultando em silício do tipo-p com resistividades reprodutíveis entre 0,5 e 1 Ω .cm, precisamente na banda de valores pretendida. No final do processo de dopagem+ZMR, resultam fitas de silício com espessura média entre 500-650 μ m, 30 mm de largura máxima e estrutura cristalina composta por cristais com comprimento da ordem de alguns centímetros e largura da ordem dos milímetros, reunindo desta forma as características necessárias para utilização como substrato de células solares.

As fitas cristalizadas e dopadas foram usadas para formação de células solares simples, que apresentaram como principais características $V_{oc} \sim 500$ mV, $I_{sc} \sim 16-17$ mA/cm², e comprimento de difusão de portadores minoritários $L_n \sim 50-60$ μ m.

As principais vantagens do processo SDS são: (i) utilização de pó de silício como substrato, reduzindo as fontes de impurezas e o custo, podendo o próprio pó ser depositado dentro da sequência do processo, usando decomposição do silano em fase gasosa; (ii) baixo custo energético, uma vez que a deposição por CVD é realizada a baixas temperaturas e à pressão atmosférica, com elevadas taxas de deposição e com elevado rendimento de conversão do silano em silício; (iii) obtenção de fitas de Si autosustentadas de elevada qualidade por dopagem e recristalização sem contacto com materiais estranhos.

O tempo de retorno energético para o processo SDS (<2anos) mostra potencialidade para vir a ser inferior ao dos processos tradicionais de produção de silício cristalino (2 a 3 anos). Esta redução do custo energético resulta sobretudo da eficiência da utilização da matéria-prima, o silano. Este resultado confirma o potencial interesse industrial do processo SDS para a produção de fitas de silício cristalino.

A originalidade deste trabalho está na investigação do comportamento de uma camada de pó de silício, de dimensões nanométricas, utilizada como substrato e em simultâneo como camada sacrificial de separação, e na utilização de parâmetros pouco convencionais na deposição por CVD que permitem taxas de deposição elevadas (baixas temperaturas, pressão atmosférica) e que são compatíveis com baixos custos.

O processo foi objecto de pedido de patente internacional em 2007.

8.2 Perspectivas Futuras

O processo SDS apresentado nesta tese deu apenas os seus primeiros passos, com a demonstração de todas as suas etapas e da qualidade do material final. Existem muitas melhorias e modificações a fazer, sobretudo na perspectiva de torná-lo num processo contínuo, com todas as etapas integradas numa só unidade.

Em relação a estudos fundamentais, é necessário compreender melhor e modelar o processo de CVD, tanto na vertente de deposição de silício sobre o substrato, como na decomposição em fase gasosa para produção do pó de silício à pressão atmosférica. Desta forma poder-se-á integrar a produção de pó de silício e a formação das pré-fitas por CVD num só processo, preservando a pureza elevada que se pretende.

Ainda relativamente ao CVD, é necessário estudar novos parâmetros que permitam a deposição homogénea numa só face do pó, o que deverá ser mais fácil num processo contínuo, em que a camada de pó se mova numa zona quente e em contacto com o gás precursor.

Quanto às pré-fitas e fitas crescidas, muito ficou por caracterizar e compreender, sobretudo no que respeita à estrutura e conteúdo de impurezas e a sua influência no comportamento do silício como substrato de células solares.

Finalmente, para se poder considerar um processo integrado que inclui desde a produção do pó, a formação da pré-fita e a sua recristalização e dopagem, é necessário correlacionar todas estas etapas no que respeita à velocidade de processamento, o que representa ainda muito esforço e trabalho futuro!

Quanto a mim, é com muito orgulho que participei no nascimento deste processo e dele fiz parte durante 10 anos!