

DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS DE PRODUÇÃO PARA
FABRICAÇÃO DE CÉLULAS SOLARES E MÓDULOS FOTO-
VOLTAICOS NO BRASIL.

Reynaldo Mouta e Valentino Carlos Mirica
Heliodinâmica S.A.-Rodovia Raposo Tava -
res km 41 - Fone: 493.3888.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento executado na obtenção de processos industriais para fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos a partir de silício cristalino.

Como toda nova tecnologia que se pretende aplicar industrialmente, esta também se defrontou com sérios problemas de suprimento de equipamentos e materiais de consumo. Para que estes problemas fossem solucionados, diferentes técnicas e ferramentas foram desenvolvidas. Estas medidas estimularam a ampliação, e em certos casos, o desenvolvimento de produtos por parte dos fornecedores.

Serão apresentados os resultados mais significativos, obtidos desde a fabricação das primeiras células e módulos até os atuais, mostrando a marcante evolução das técnicas utilizadas.

O desenvolvimento de materiais e processos alternativos para confecção de células, metalização, difusão, encapsulamento e teste, vem sendo amplamente incentivado e praticado para se melhorar a eficiência das células e módulos, visando principalmente a redução da relação custo/benefício.

Fotovoltaico, Células, HD

Como primeira tentativa para estabelecer um processo básico para a fabricação de células solares, adotou-se a sequência de etapas da figura 1.

Uma curva característica típica das células obtidas com este processo pode ser vista na figura 2a. Pode-se notar a existência de uma alta resistência série e baixa resistência paralelo.

Após uma análise destes primeiros resultados, foram identificados os seguintes problemas:

- O polimento químico dificultava a aderência da metalização.
- O fotoresiste não cobria totalmente a lâmina, permitindo a metalização em locais inapropriados.
- A sinterização da metalização (eletroless) criava um curto circuito na junção.
- O óxido de silício não possuía propriedades anti-refletivas.

Identificados estes principais problemas, uma tentativa de melhorar no processo foi iniciada, criando-se então, normas de controle durante e após cada etapa. Isto permitiu uma sensível melhora no desempenho elétrico das células como mostra a figura 2b. No entanto, a resistência série ainda era grande e notou-se a existência de uma junção residual não totalmente removida.

Apesar da característica geral ter melhorado, tínhamos ainda uma corrente baixa devido à falta de uma camada anti-refletiva.

Foi feita então, uma tentativa de se obter uma camada de SnO_2 a partir de SnCl_4 , aplicado para aspersão.

Esta técnica e as propriedades óticas do SnO_2 foram facilmente alcançadas em escala de pesquisa (1 a 1), contudo, ao aplicarmos na produção (algumas centenas por hora) surgiram problemas na remoção deste SnO_2 , tornando inviável esta técnica em escala industrial.

Devido à inexistência, na época, de materiais como isopropóxido de titânio ou solução orgânica de tântalo no mercado nacional, optou-se por fazer uma mudança radical na preparação da superfície. A técnica escolhida foi a

texturização, isto é, a criação de minúsculas pirâmides na superfície da lâmina que através de reflexões múltiplas reduzem a refletividade da superfície, que anteriormente era polida.

Devido a esta nova condição da superfície da lâmina foi necessário rever todas as técnicas utilizadas nas etapas subsequentes compatibilizando assim todo o processo.

A primeira etapa a ser atacada foi a aplicação de fotoresiste que já anteriormente não se mostrava satisfatória e que agora, devido as suas características viscosas, não permitia uma completa cobertura das pirâmides, facilitando ainda mais o aparecimento de curto-circuito nas junções.

Procurou-se então desenvolver um tipo de cobertura que preenchesse estes espaços, de fácil aplicação e remoção e que permitisse uma boa definição. Foi implantada a técnica de Silk Screen que resolveu o problema.

Os banhos químicos que antecedem a metalização, bem como a própria metalização também sofreram modificações no que diz respeito à concentração, composição e pH em função da nova superfície. Paralelamente dispositivos especiais, equipamentos e capelas foram projetadas e construídos pela Heliodinâmica e por terceiros para atender às novas necessidades.

O resultado destes esforços pode ser observado na figura 2c. Com o intuito de se observar a compatibilidade destas células com o processo de encapsulamento uma série de módulos foram laminados pelo método utilizado na época cuja curva característica pode ser observada na figura 3a.

Para melhor visualização da grande dispersão nos valores de potência dos módulos montados com estas células foi feito o histograma de distribuição de potência da figura 4a. Uma das causas deve-se ao fato da não existência, na época de critérios mais específicos para o agrupamento de células. Após uma rápida análise destes critérios e de como atingi-los em produção, foi especificado e construído um equipamento apropriado que permitiu sentir uma melhora nos resultados e o melhor aproveitamento destas células.

Remoção de defeitos, Redução da espessura, Polimento químico.

Difusão de fósforo.

Remoção da junção do verso.

Aplicação de fotoresiste, exposição, Revelação.

Metalização dos contatos por eletroless.

Remoção de fotoresiste.

Metalização com liga Pb-Sn.

Fig 1- Etapas de fabricação do processo básico.

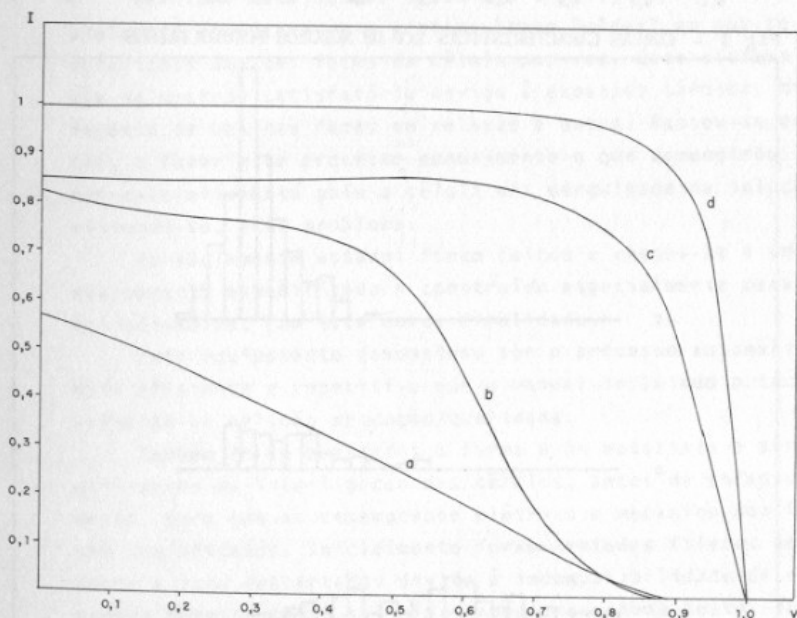


Fig-2-CURVAS CARACTERÍSTICAS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.

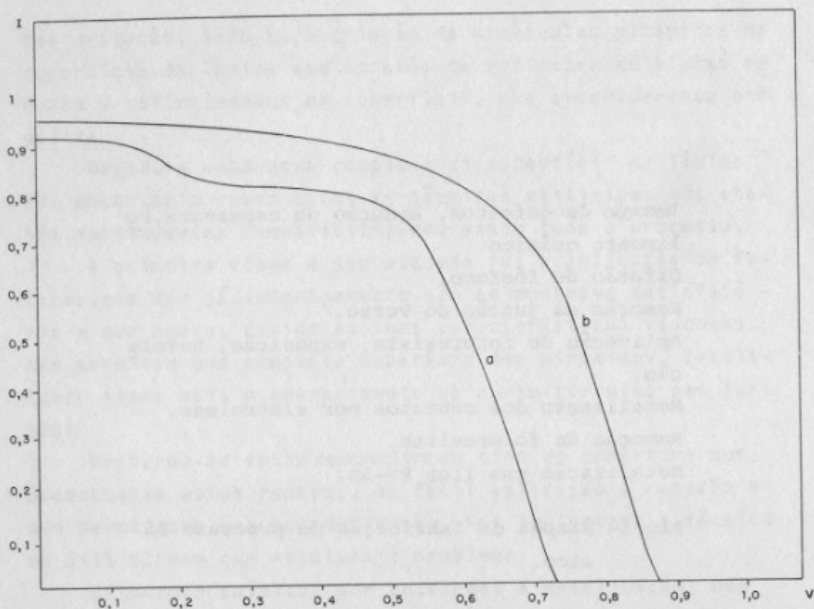


Fig 3 - CURVAS CARACTERÍSTICAS $I \times V$ DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

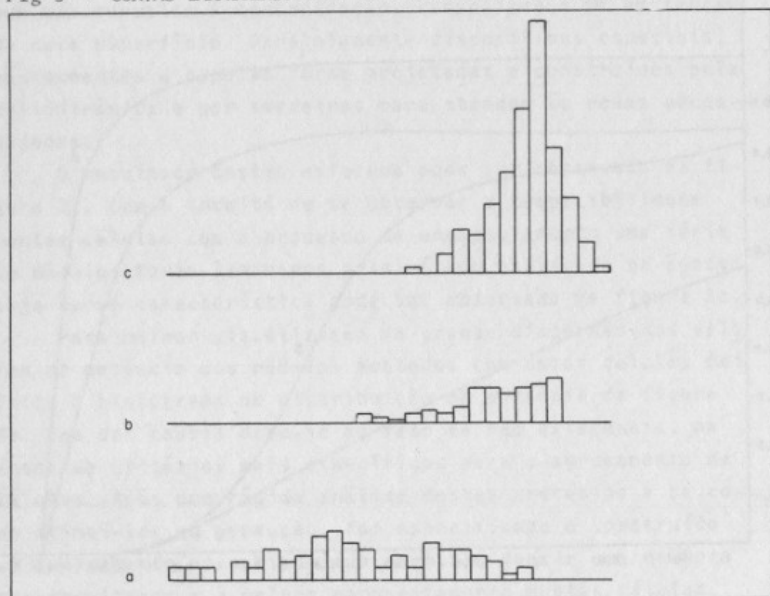


Fig. 4- HISTOGRAMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA DOS MÓDULOS

As figuras 3b e 4b mostram qualitativamente e quantitativamente estes resultados alcançados com os critérios mencionados no que se refere à curva característica e à distribuição de potência dos módulos laminados, respectivamente. Na figura 2d pode ser verificada a alta perfeição gráfica da curva características das células obtidas com o processo otimizado, e hoje utilizado, da figura 5.

Como resultado, o histograma da figura 4c mostra que a dispersão de potência dos módulos atuais é muito pequena com potência média em torno de 30watts.

A título de comparação para que possa ser visualizada a marcante evolução das células processadas, a figura 6 mostra, relativamente às quatro curvas referentes às quatro fases principais (figura 2a a 2d), os parâmetros principais de uma célula fotovoltaica.

Quanto a metalização da célula com liga Pb-Sn, inicialmente utilizava-se o sistema "Wave Solder" em que se metalizava uma das faces da célula por vez. Este sistema não se mostrou satisfatório devido à expansão térmica, diferente de uma das faces em relação à outra. Passou-se então, a fazer este processo manualmente o que demonstrou ser mais eficiente pois a célula era mergulhada na solução, evitando-se, este problema.

Paralelamente estudos foram feitos e chegou-se a um equipamento especificado e construído especialmente para a Heliodinâmica, com essa única finalidade.

Este equipamento demonstrou ser o processo automático mais eficiente e repetitivo que o manual influenciando principalmente na relação produção/qualidade.

Também foram estudados a forma e os materiais a serem utilizados na interligação das células, antes do encapsulamento, para que os desempenhos elétrico e mecânico não fossem prejudicados. Inicialmente foram testados filetes de cobre e logo descartados devido à incompatibilidade de expansão térmica com o silício e após exaustivos testes foram desenvolvidos filetes de liga Fe-Ni, confeccionados especialmente para a Heliodinâmica. A forma de aplicação destes filetes foi especificada e então construído um dispositivo específico para esta interligação de células, usado

Remoção de defeitos, Geração da macro estrutura.
 Obtenção da micro estrutura (texturização).
 Limpezas químicas.
 Difusão de fósforo.
 Remoção de junção do verso.
 Aplicação e sinterização de Al.
 Definição da grade.
 Limpezas químicas.
 Desbaste lateral.
 Metalização com liga Pb-Sn.

Fig. 5 - ETAPAS DE FABRICAÇÃO DO PROCESSO OTIMIZADO.

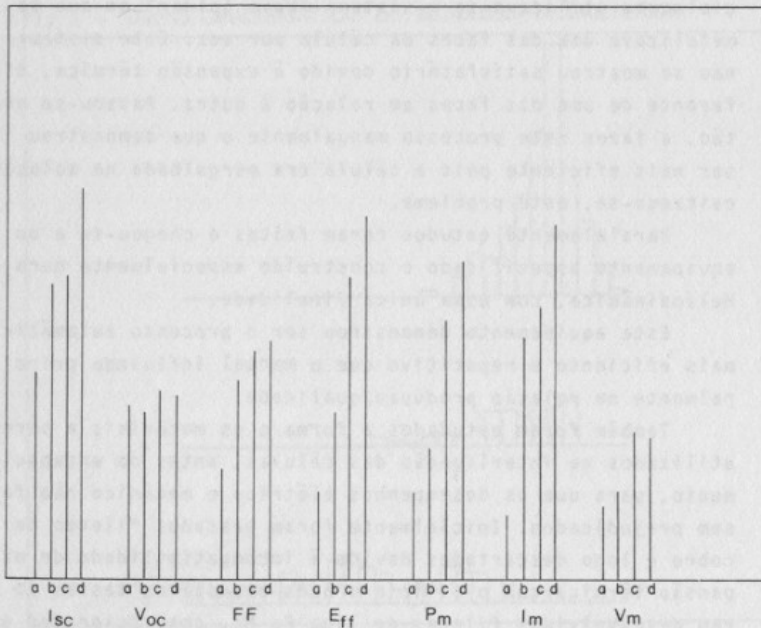


FIG. 6 - PRINCIPAIS PARÂMETROS DE CÉLULAS SOLARES REFERENTES AS CURVAS IxV DA FIGURA 2.

atualmente.

Técnicas de metalização por Silk Screen com pasta de prata foram iniciados e continuam em andamento, objetivando uma melhora na eficiência da célula e redução de consumo de produtos químicos com consequente redução de custo. Após as primeiras experiências, obtivemos resultados satisfatórios contudo abaixo dos obtidos pelo processo normal, porém uma pasta com formulação mais específica vem sendo desenvolvida e espera-se que as características elétricas obtidas destas células sejam da ordem das células obtidas pelo processo normal.

Outro trabalho que vem sendo desenvolvido é o uso de materiais que não seja o silício cristalino.

No caso, estamos trabalhando em células com silício semi-cristalino que, com algumas modificações no processo normal de preparação de superfície, difusão e metalização apresentaram resultados satisfatórios.

A título de informação todos os dados e curvas deste trabalho basearam-se em resultados obtidos durante a produção normal de células e módulos fotovoltaicos. As medidas elétricas foram efetuadas em células de 100mm de diâmetro e em módulos encapsulados com estas células. Temos atualmente os seguintes valores para os parâmetros de uma célula solar e para um módulo:

$I_{sc} = 2,4 \text{ A}$	$I_{sc} = 2,4 \text{ A}$
$V_{oc} = 0,6 \text{ V}$	$V_{oc} = 21,6 \text{ V}$
$I_m = 2,25 \text{ A}$	$I_m = 2,25 \text{ A}$
$V_m = 0,45 \text{ V}$	$V_m = 16,2 \text{ V}$
$P_m = 1,02 \text{ W}$	$P_m = 35 \text{ W}$
$FF = 0,78$	$FF = 0,78$
$Eff = 12,8\%$	$Eff = 9\%$

Célula

Módulo