

CONTACTOS SELECTIVOS: UMA VIA PARA A ALTA EFICIÊNCIA DE CÉLULAS SOLARES DE SILÍCIO CRISTALINO**Costa I.*, Gaspar G.*, Vilhena D.*, Pera D.*, Cardoso J.*, Lobato K.*, Silva J.A.*, Serra J.M.***

* Instituto Dom Luiz- Faculdade de Ciências Universidade de Lisboa,
Edifício C1, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal, jmserra@fc.ul.pt

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.2045>

RESUMO

Podemos identificar 5 linhas de acção na tecnologia de células solares baseadas em silício cristalino: (1) Migração da célula de Al BSF para células com tecnologia p-type PERC/n-type PERT, (2) células com contactos traseiros (IBC), (3) células com heterojunções (HET), (4) introdução de contactos passivantes e (5) novas células tandem baseadas em perovskites ou materiais III-V. A arquitectura da célula solar proposta no projecto SELCON segue a linha 4 acima apontada, e demonstrou já eficiências também acima de 25%, introduzindo os contactos selectivos mas mantendo uma arquitectura semelhante à que existe na indústria, com contactos opostos e sem padrões de texturização. A estrutura proposta incorpora junções selectivas (CSJs) que permitem ultrapassar a maior limitação das células actuais – as perdas por recombinação – extraindo eficientemente as cargas geradas na célula solar. Neste trabalho foi estudada a melhor alternativa de passivação usando camadas de SiO₂/TiO₂ tendo-se observado que a oxidação térmica a 900 °C tem passivação inferior ao óxido térmico a 775°C.

PALAVRAS-CHAVE: Célula solar, Silício, Contactos selectivos

ABSTRACT

We can identify 5 lines of action for silicon solar cells technology: (1) Migration from the Al BSF cell to p-type PERC/n-type PERT, (2) solar cells with back contacts (IBC), (3) heterojunction solar cells (HET), (4) selective contacts introduction and (5) new tandem solar cells based on perovskites or III-V materials. The architecture proposed by the SELCON Project follows the path (4), with demonstrated efficiencies above 25%, introducing selective contacts while keeping a planar structure with opposite contacts. The proposed structure, with selective contacts, will make possible the overcome the main limitation in today's cells – recombination losses – by efficiently extracting the generated charges inside the solar cell. In this work, the best passivation method was evaluated, and we show that the best option is to use a stack of SiO₂/TiO₂, using thermal silicon oxide obtained at 775 °C.

KEYWORDS: Solar Cell, Silicon, Selective contacts

INTRODUÇÃO

Podemos identificar 5 linhas de acção na tecnologia de células solares baseadas em silício cristalino: (1) Migração da célula de Al BSF para células com tecnologia p-type PERC/n-type PERT, (2) células com contactos traseiros (IBC), (3) células com heterojunções (HET) (Yablonovitch 1985), (4) introdução de contactos passivantes (Glunz 2015) (Feldman 2014) e (5) novas células tandem baseadas em perovskites ou materiais III-V.

A “locomotiva” da indústria, a célula com campo eléctrico embutido no contacto traseiro (Al BSF) com eficiências de conversão de ~19.5%, está actualmente em fase de migração para a tecnologia p-type PERC (Min 2015). A eficiência actual dessas células industriais está ligeiramente acima de 22% (Brendel 2015).

É importante realçar que o custo do módulo é já mais baixo do que o custo dos restantes componentes do sistema (BOS). Isto mostra que a única via para além de ganhos incrementais é o aumento da energia produzida por m². Altas eficiências são portanto a via óbvia para reduzir os custos dos sistemas da electricidade solar.

Embora as células IBC e HET (Yoshikawa 2017) tenham demonstrado eficiências acima dos 25%, usam processos complexos de fabrico e baseiam-se em infraestruturas de produção especiais, não compatíveis com as existentes na maioria da indústria, o que acarreta custos elevados de reconversão.

A arquitectura da célula solar proposta no projecto SELCON segue a linha 4 acima apontada, e demonstrou já eficiências também acima de 25%, introduzindo os contactos selectivos (Tao 2016) mas mantendo uma arquitectura semelhante à que existe na indústria, com contactos opostos e sem padrões de texturização. A estrutura proposta incorpora inovação constituída por junções selectivas (CSJs) que permitem ultrapassar a maior limitação das células actuais – as perdas por recombinação – extraíndo eficientemente as cargas geradas na célula solar.

Neste trabalho explorou-se a passivação com óxido de silício, obtido por vias diferentes e associado a uma camada de TiO₂.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para se estudar a passivação das camadas de SiO₂, as amostras foram submetidas a tratamento nas duas faces das bolachas de silício. Foram utilizadas bolachas de silício “float-zone” (FZ) com 1-5 Ohm.cm de resistividade e 125 mm de diâmetro, clivadas em 9 partes. Antes da oxidação, todas as amostras foram limpas com uma solução de HCl+H₂O₂+H₂O e de NH₄OH+H₂O₂+H₂O durante 10 minutos a 85°C, e lavadas em água desionizada.

Oxidação das amostras

Para a formação do SiO₂, foram utilizadas maneiras diferentes definindo uma via de alta temperatura, usando oxidação térmica e uma via de baixa temperatura, usando evaporação por canhão de electrões ou oxidação química. A via de alta temperatura envolveu oxidação seca a 775°C e 900 °C, ambas com a duração de 90 minutos. A oxidação química foi feita por imersão das amostras em HNO₃ concentrado a 90 °C durante 30 minutos, seguida de lavagem com água desionizada.

Camada de TiO₂

Foi depositada uma camada de TiO₂ por evaporação, com 10 nm de espessura, tendo em vista a preparação de contactos selectivos. Todas as amostras foram submetidas a um tratamento térmico com “forming gas” durante 5 minutos a 350°C, depois da evaporação do TiO₂.

RESULTADOS

A espessura do SiO₂ foi medida por elipsometria para a oxidação térmica e química e pelo sistema de cristal oscilante no caso da evaporação em vácuo. Os resultados estão indicados na Tabela 1.

Mediu-se a evolução do tempo de vida dos portadores de carga minoritários ao longo do processo de preparação das amostras. As medidas foram efectuadas usando o equipamento Sinton WTC-120: 1) após a formação do SiO₂, 2) após a evaporação do TiO₂ e 3) após o tratamento térmico.

Ambas as alternativas, da via de baixa temperatura para a formação do SiO₂, isto é a oxidação química (Fig. 1) e evaporação de SiO₂ (Fig. 2), apresentam evolução similar, revelando aumento dos tempos de vida com o tratamento térmico e sem melhoria com a deposição do TiO₂.

Tabela 1. Espessura de SiO₂

SiO ₂ thickness (nm)	
Oxidação térmica a 900°C	20
Oxidação térmica at 775°C	3
Oxidação química	1
Evaporação por canhão de electrões	10

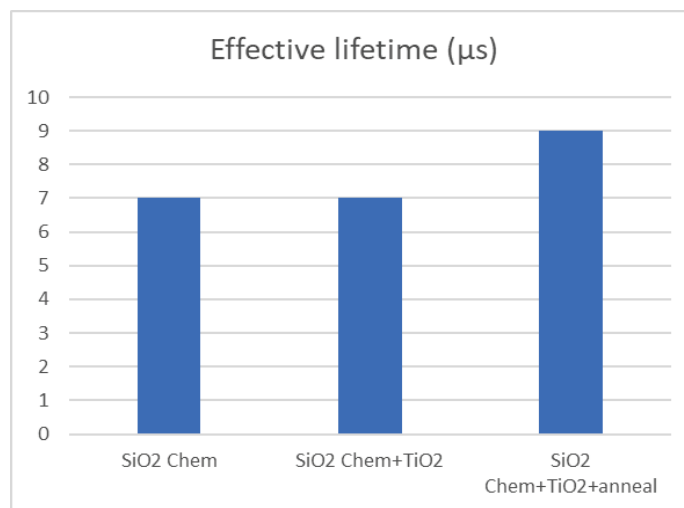


Fig 1. Tempos de vida efectivos dos portadores minoritários ao longo do processo de preparação usando óxido formado por via química.

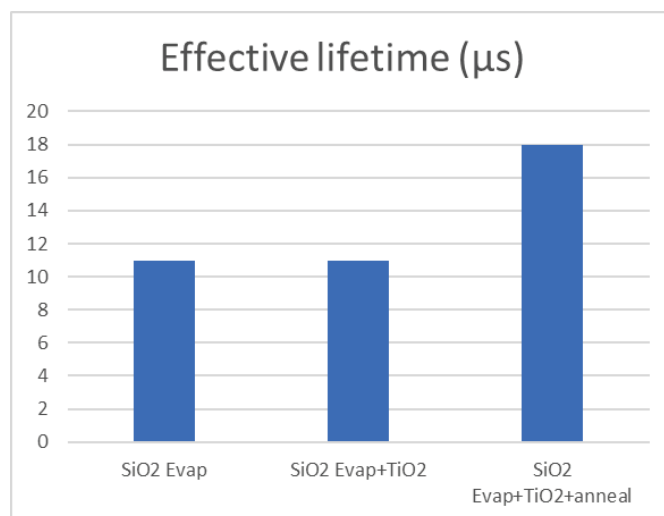


Fig. 2. Tempos de vida efectivos dos portadores minoritários ao longo do processo de preparação usando óxido depositado por evaporação em vácuo.

Na via de alta temperatura de obtenção do SiO₂, foram testadas duas temperaturas diferentes. A oxidação a mais baixa temperatura (775°C) (Fig. 3), resultou num aumento do tempo de vida quando comparado com o SiO₂ evaporado (Fig. 2). Mas, sobretudo após o tratamento térmico, observou-se um aumento substancial dos tempos de vida. À temperatura mais elevada de oxidação (900 °C) observou-se um comportamento oposto. Após o tratamento térmico

os tempos de vida diminuam, indicando uma passivação de menor qualidade.

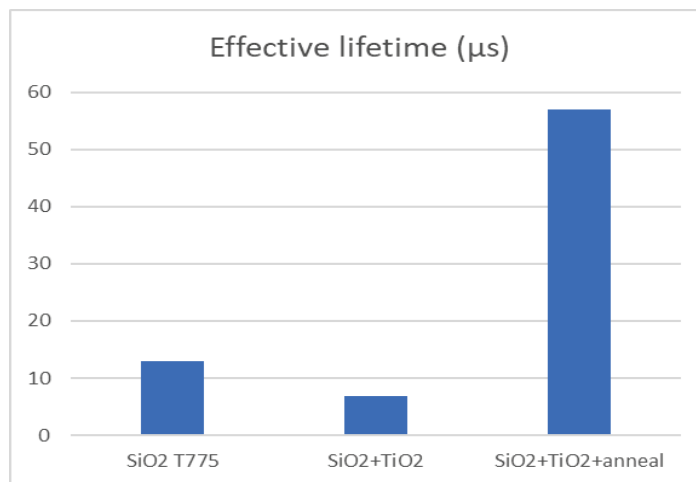


Fig. 3. Tempos de vida efectivos dos portadores minoritários ao longo do processo de preparação usando óxido formado termicamente a 775°C.

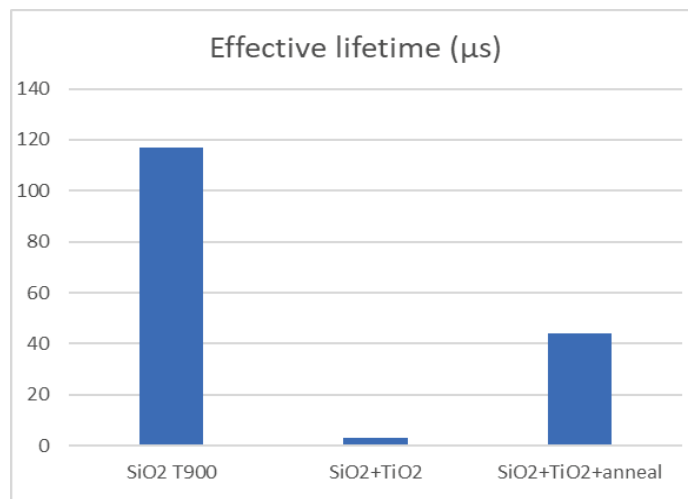


Fig. 4. Tempos de vida efectivos dos portadores minoritários ao longo do processo de preparação usando óxido formado termicamente a 900°C.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a oxidação térmica à temperatura de 775 °C é a que melhor passivação produz. O tratamento térmico é essencial para se obter uma boa passivação da superfície. Para o fase seguinte pretende-se analisar o comportamento das camadas SiO₂/TiO₂ como contacto selectivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento da Fundação de Ciência e Tecnologia dos projectos FCT- PTDC/CTM-CTM/28860/2017 e FCT- UIDB/50019/2020.

REFERÊNCIAS

Brendel R. et al.(2015) Breakdown of the efficiency gap to 29% based on experimental input parameter and modelling, Progress in Photovoltaics: Research and Application, DOI 10.1002/pip.2696.

Feldmann F et al (2014) Passivated rear contacts for high-efficiency n-type Si solar cells providing high interface passivation quality and excellent transport characteristics. Sol. Energ. Mat. Sol. Cells 2014, 120, Part A, 270.

Glunz S. et al.(2015) The Irresistible Charm of a Simple Current Flow Pattern – 25% with a Solar Cell Featuring a Full-Area Back Contact, Proc. of the 31st EU-PVSEC, pp. 259 - 263.

Min B. et al. (2015) Incremental efficiency improvements of mass-produced PERC cells up to 24%, predicted solely with continuous development of existing technologies and wafer materials, Proc. of the 31st EU-PVSEC, 473 - 476.

Tao Y. et al.(2016) Large area tunnel oxide passivated rear contact n-type Si solar cells with 21.2% efficiency, Progress in Photovoltaics: Research and Application, Volume24, Issue6, p 830-835 DOI 10.1002/pip.2739.

Yablonovitch E et al.(1985) A 720 mV open circuit voltage SiO_x:c-Si:SiO_x double heterostructure solar cell. Appl. Phys. Lett. 1985, 47 (11), 1211.

Yoshikawa K. (2017) Exceeding Conversion Efficiency of 26% by Silicon Heterojunction Technology, Proceedings of SiliconPV 2017, April, Freiburg, Germany