



P型雙面鈍化射極與背面電池介紹

The Introduction of P-type Silicon Crystalline Bifacial PERC

陳松裕 S. Y. Chen、林鈺璇 Y. H. Lin
工研院綠能所(GEL/ITRI) 研究員

鈍化射極與背面電池已被證實是一種有效提高電池效率的技術，從2014年導入量產至今，其在以矽基為主的太陽電池市場占有率已經達到了15%，且預估到2026年更可以達到驚人的45%。受益於此技術的日益成熟，以其P型矽晶製程為基準，將電池背面原本網印整面電極改成指尖狀圖案的設計，被稱之為P型雙面鈍化射極與背面太陽電池。本文主要在介紹P型雙面鈍化射極與背面太陽電池的結構優勢與技術發展，其主要優勢有三點：①背面使用較少的電極材料，所以成本相對低廉；②雙面照光可以有更高的發電量；③紅外光部分可以穿透電池不會造成廢熱，使電池可以在較低溫的環境下發電。從2014年至今，包含SolarWorld、ISFH、天合光能與工研院等單位對其進行技術研發，至今已被SolarWorld驗證其雙面玻璃模組，在戶外的發電功率比一般單面玻璃模組多5~25%，說明了P型雙面鈍化射極與背面電池確實是高效率矽晶太陽電池趨勢的大未來。

Passivated emitter and rear cells have already been proven that is a useful technology for improving cell efficiency and there are feasibility for mass production. Today, the market share is reach on 15% in Si-based solar cells and ITRPV predicts that it will keep growing up to amazing 45% in 2026. In this paper, we will introduce high-efficiency p-type bifacial PERC solar cells with an industrial typical PERC process flow applying a screen-printed aluminum finger grid on the rear side instead of a full-area aluminum layer. The bifacial PERC solar cells offer several advantages. In particular, reducing the Al paste consumption as using just screen-printing Al finger grid on the rear side, preventing power loss of module by double side generating electricity, and operating in lower temperature due to higher infrared-ray (IR) transparency. Bifacial PERC solar cells are currently investigating by several institutes such as SolarWorld, ISFH, Trina Solar and ITRI since 2014. SolarWorld demonstrated the glass-glass module of bifacial PERC solar cells and showed an increase in annual energy yield between 5% to 25%. It is indicated that p-type bifacial PERC solar cells indeed have potential for high-efficiency solar cells in the future.

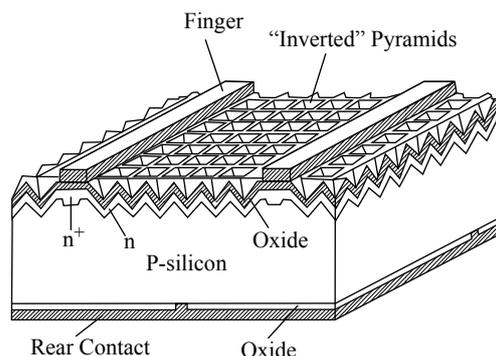
關鍵詞/Key Words

雙面(Bifacial)、鈍化射極與背面電池(Passivated Emitter and Rear Cells; PERC)、矽晶太陽電池(Silicon Solar Cells)、背鈍化(Rear Passivation)、高效率(High Efficiency)

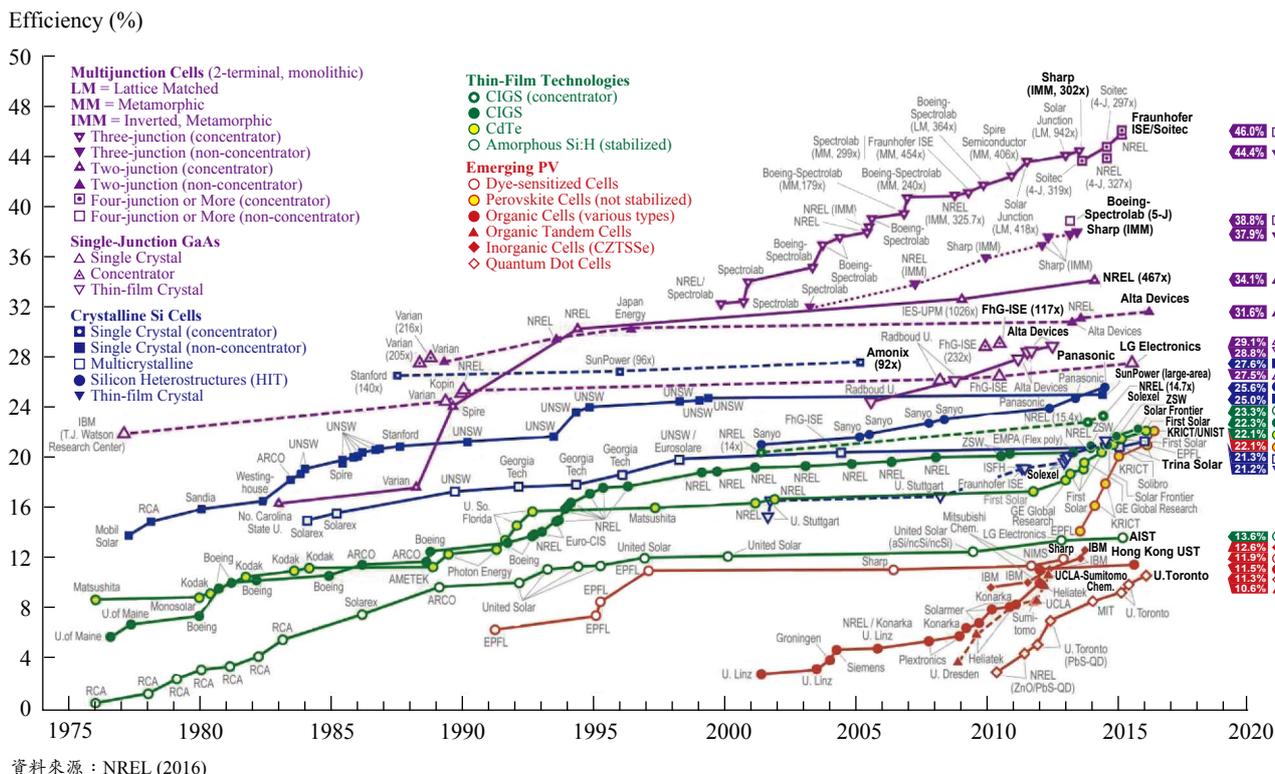
前言

鈍化射極與背面太陽電池(Passivated Emitter and Rear Cells; PERC)的概念最早是在1989年由澳洲新南威爾斯大學(University of New South Wales; UNSW) Blakers等人所提出，主要重點在於針對矽晶電池的背表面進行鈍化及採用局部之金屬電極接觸，可達到降低表面載子複合速率，增加光在電池背面之反射率及紅外光之吸收的目的，該實驗室原型電池是採用P型FZ矽晶片、面積大小為2 cm × 2 cm的小電池，光電轉換效率最高可達22.8%，其結構如圖一所示。數年後，UNSW以PERC電池概念為基礎，衍生出射極鈍化背面局部擴散(Passivated Emitter and Rear

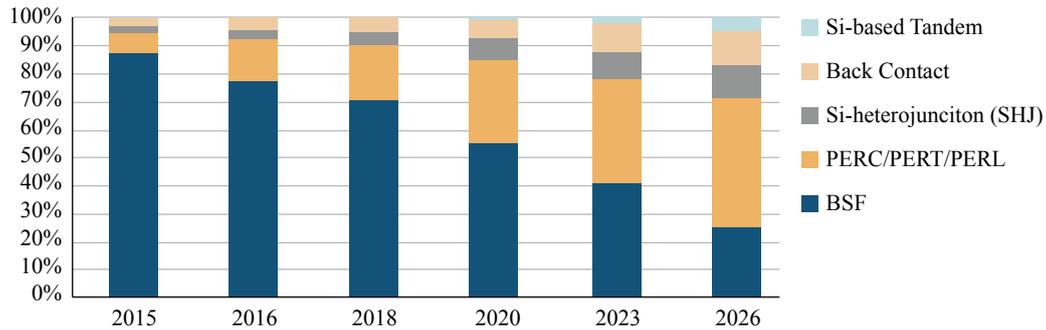
Locally Diffused; PERL)的高效率電池結構，其轉換效率可以達到25%，在世界紀錄保持相當長一段時間，如圖二所示⁽¹⁻⁴⁾。當今工業界的PERC電池仍以UNSW所提出的PERC和PERL概念為基礎，歷經國際間



▲圖一 實驗室原型之PERC電池結構⁽¹⁾



▲圖二 最佳實驗電池效率 (彩圖請見材料世界網<http://www.materialsnet.com.tw>)



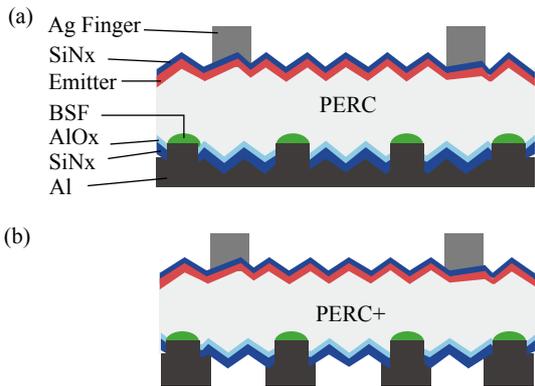
資料來源: ITRPV 2016

▲圖三 不同電池技術之市佔率預測

各研究機構及電池大廠超過25年的技術研發，終於開發出低成本、高效能的製程，並成功將PERC的原型概念導入工業生產，PERC成為轉換效率高且具有量產潛力之電池結構。根據ITRPV(International Technology Roadmap for Photovoltaic)的預測，PERC電池將會是未來的主流結構，其市占率有逐年攀升的趨勢，預期在2026年其市占率將大於45%，如圖三所示⁽⁵⁾。現階段已有SolarWorld、Hanwha、Q-Cell、Trina Solar等多家國際大廠進行PERC之生產製造，其中德國光電大廠SolarWorld於今年元月，採用P-type Cz矽基板與5條匯流排的設計生產線量產的PERC單晶電池，創下了22.04%的高光電轉換效率紀錄⁽⁶⁾，天合光能則是使用反應式離子蝕刻法，於今年7月在多晶PERC電池上創下了20.16%的最佳效率。

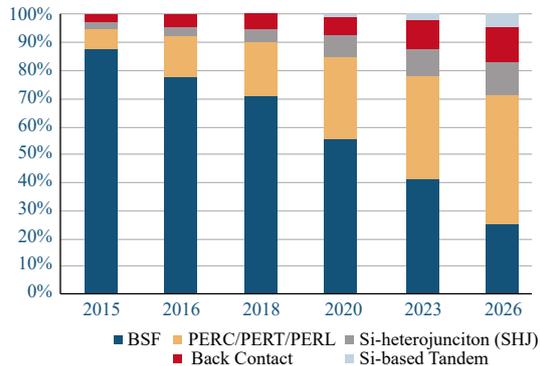
提升光電轉換效率、持續改善製程及降低發電成本，一直是太陽能研發的目標。傳統的PERC電池背面是以網印的方式塗佈整面的鋁膠，平均每片電池需消耗約1.0~1.5公克的鋁膠，而且整面鋁電極會阻擋太陽光從電池背面入射時被吸收的機會，為了解決上述問題，可應用雙面電池的概念。工業的雙面電池概念起初主要是應用於N型矽晶

PERT或異質接面(Heterojunction; HJT)太陽電池上⁽⁷⁻⁸⁾，然而，在PERT及HJT電池正、背面需網印昂貴的銀膠，成本過高；再者，N型PERT需要額外的單面磷或硼擴散製程，因此N型雙面電池並非是一個低成本的選擇。有鑑於此，在2001年德國研究機構Institute for Solar Energy Research Hamelin(ISFH)率先提出了一個新穎的P型雙面電池的概念，該結構是在電池背面網印局部的指狀鋁膠，經燒結後，鋁膠穿透電池背面之氮化矽(SiNx)與矽基板共晶形成背表面電場⁽⁹⁾，但當時電池在轉換效率的表現上並無太大的進展。P型雙面電池經過多年的結構與製程改良，2014年SolarWorld發表的P型雙面PERC電池結構，稱之為Bifacial PERC，背面僅網印指狀鋁膠，同步實現了降低金屬化成本及可利用電池背面吸收太陽光並提高發電量的目的。2015年德國ISFH則發表了可工業量產之雙面PERC+電池，如圖四所示，相較於傳統的PERC電池，鋁膠的用量可由1.6公克降低至0.15公克，其正面轉換效率可達21.2%、背面轉換效率達16.7%⁽¹⁰⁾。相較於單晶矽單片之電池模組，雙面電池應用在太陽光電模組可提升約20%的發電量⁽¹¹⁻¹²⁾。ITRPV更預測了在2023年雙



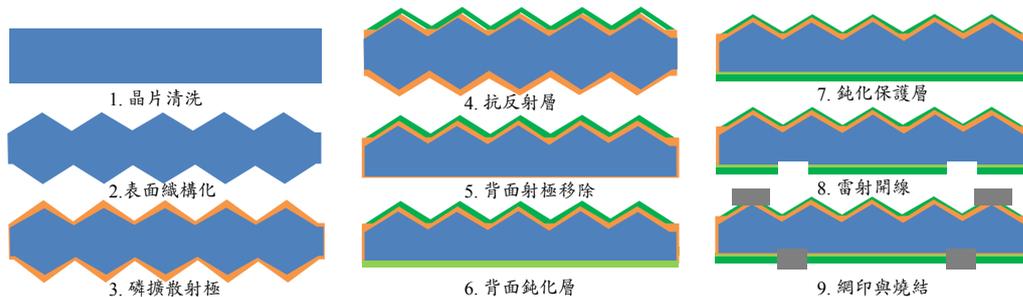
資料來源:31st EU PVSEC

▲圖四 (a)PERC及(b)PERC+電池結構



資料來源:ITRPV 2016

▲圖五 單面電池與雙面電池之市占率預測



▲圖六 P型矽晶雙面鈍化射極與背面太陽電池製程

面電池的市占率將可提升至20%，如圖五所示，顯示該技術仍有發展的潛力。

製程介紹

P型矽晶雙面鈍化射極與背面太陽電池製造流程如圖六所示，一般使用的6吋P型矽晶片電阻率範圍在0.5~2 Ω-cm之間，表面清洗後經由鹼溶液進行非等向性蝕刻，形成雙面織化結構；爾後藉由高溫磷擴散製程在表面形成射極層，射極的片電阻範圍需搭配正面網印的銀膠電極，以形成良好的歐姆接觸，目前約為90~100 Ω/sq。去除磷擴散在表面形成的磷玻璃後，會進行背面單面的酸蝕刻水上漂，除了可移除溢鍍的射極層之外，還能進行平坦

化處理，以利後續的鈍化製程。接著使用增強電漿化學氣相沉積法(Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition; PECVD)在電池正面鍍上氮化矽抗反射層，背面則是氧化鋁與氮化矽雙層的鈍化堆疊層，其中氧化鋁為鈍化層，氮化矽為保護層。為了可在電池背面形成電極接觸，需先行使用雷射開孔(Laser Contact Opening; LCO)製程，用以移除背面鈍化堆疊層，形成電極圖案。接著進行網印正面銀電極與背面鋁電極，其中背鋁電極為局部網印非整面網印，最後進行高溫燒結即完成金屬化製程。

技術與應用

雙面電池的背面效率與正面效率的比



值，稱之為雙面因子(Bifaciality Factor)，P型雙面鈍化射極與背面電池通常會偏低，主要是由於製程步驟上並無任何改變，所以通常正面效率會貼近同參數下的鈍化射極與背面電池數值，但背面效率就會不盡理想。與背面受光最直接相關的就是背表面的吸光結構，如何在不影響界面的鈍化效果並維持住正面發電效率的情況下，持續改善背面結構成了首要的課題。

除此之外，背面的氮化矽保護層對背面入射光而言，同時也扮演著抗反射層的角色，但對正面入射光而言，其為底部的反射層，主要作用在於入射光打到電池底部能反射回來再利用，因此如何從這兩者之間取得平衡成了第二個課題。

傳統電池正面電極圖案需要針對電極材料進行最佳化，考量指狀電極寬度、間距、匯流排數目以及整體的金屬遮蔽率等，以取得短路電流與結構因子間的平衡，雙面電池雖然背面電極材料不同，但同樣也需要進行電極圖案的最佳化。

在電池模組的封裝上，一般模組正面會使用玻璃，背面則為不透光的背板，但雙面電池為了將雙面同時發電的優勢最大化，背板是否需要採用高反射的背板讓正面入射光反射至電池，再利用或是直接使用透明背板，甚至是玻璃，使得模組功率有效增加且成本符合經濟效益，是最關鍵的技術。

目前，雙面玻璃的電池模組已經被證實比一般單面玻璃模組多出約20%的發電量，且較為適用於需要垂直安裝的場址。因為雙面玻璃透光的特性，在上午與下午都能照到陽光而有不錯的發電表現，且易於防止落塵覆蓋與保養；除此之外，雪地或是沙漠等空曠與高反射場合的環境，亦適合安裝以達到最佳效能。



資料來源：www.solarWorld.de

▲圖七 SolarWorld雙面PERC玻璃封裝模組

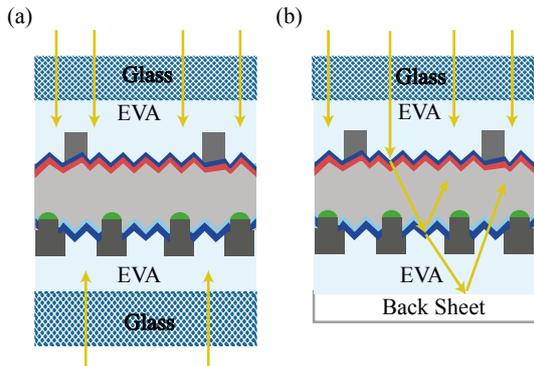
各單位研究近況

1. SolarWorld

SolarWorld於2014年開始進行P型雙面鈍化射極與背面電池之研發，並於2015年導入量產，在Intersolar展示了新型的雙面玻璃PERC+的封裝模組(Glass-glass Bifacial PERC+ Module)⁽¹³⁻¹⁴⁾，同時亦在戶外實驗，證實了此模組的發電量可以比一般模組增加5%~25%；而原本之電極圖案為3條匯流排，後來改善至5條匯流排，2016年最新的模組功率已經可以達到300W，戶外發電可以比單面玻璃模組多25%以上，模組圖案如圖七所示。

2. ISFH

ISFH對雙面電池之研究開始於2014年，該研究機構並於2015年發表了“PERC+”的電池結構(圖八)。該電池的製程與工業的PERC電池幾乎相同，製程包含氧化鋁/氮化矽的背表面鈍化、雷射開孔、網印電極之製程。主要差異在於電池背面是網印指狀鋁電極取代整面鋁電極，這也就



資料來源:31st EU PVSEC

▲圖八 PERC+電池(a)雙面模組；(b)單面模組封裝示意圖

是 PERC “+” 所指的結構差異，相較於傳統PERC電池背面採用整面鋁電極，PERC+的指狀電極經過高溫燒結時，可有高濃度的矽與鋁形成共晶，因此可形成較佳的背鋁電場，提升開路電壓。為了降低接觸電阻，PERC+正銀電極面採用二次印刷製程 (Dual Print)、5條匯流排(Busbar)之設計；背面鋁電極則採用5條匯流排H-pattern之設計。PERC+正面效率可達21.2%、背面效率達16.7%，雙面因子達到79%。

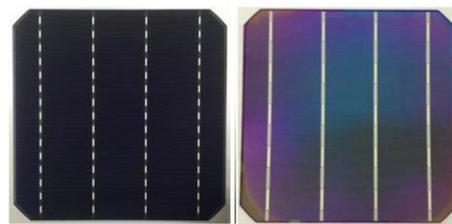
3. 天合光能

天合光能(Trina Solar)於2015年開始研發，於2015年歐洲光電太陽能會議與展覽(31st EU PVSEC)中發表的P型雙面鈍化射極與背面電池模組，藉由調整電池背面氮化矽的厚度可顯現出四種不同的顏色：80 nm、120 nm、175 nm與240 nm的厚度對應的顏色，分別為藍色、黃色、紅色與綠色。除了藍色的電池由於背面氮化矽厚度太薄，導致燒結後破壞背面鈍化效果降低效率之外，其他顏色的電池並不會影響電池效率，正面最佳效率可達20.3%；其雙面



資料來源:31st EU PVSEC

▲圖九 天合彩色雙面PERC模組(彩圖請見材料世界網<http://www.materialsnet.com.tw>)



▲圖十 工研院雙面鈍化射極與背面太陽電池之正、背面圖案

玻璃電池模組用於建築整合太陽能時，也可藉由不同顏色達到裝飾室內的用途。60片的雙面PERC模組，正面最大功率輸出達278W；背面最大功率輸出為120W；雙面因子達到43%，如圖九所示。

4. 工研院(ITRI)

工研院綠能所於2015年中開始進行P型雙面鈍化射極與背面電池的研究，採用4條匯流排，針對背面電極材料選用、圖案參數設計與背面氮化矽參數進行調整，正面效率可與PERC電池達到相同水準21.1%，背面效率則為13.9%，雙面因子達到66%，電池圖案如圖十所示。

結 論

本篇文章我們介紹了P型鈍化射極與背



面電池的演進與優勢，加上近幾年在矽基電池上的市占率節節攀升，市調機構更是認為到了2026年可以達到驚人的45%，因此從鈍化射極與背面電池，進一步演化出的雙面太陽電池更具有競爭性，其結構稱之為P型雙面鈍化射極與背面太陽電池(P-type Bifacial PERC)。

由於製程步驟上與現行的PERC電池並沒有太大的改變，直接產生的優勢就是不需要額外設備，僅以現有產線即可進行量產；此外，電池背面網印時從原本的整面電極改成指狀的圖案，材料成本的減少顯而易見。就技術觀點而言，由於該結構背面受光，所以需要考慮背表面結構的粗糙度、抗反射層的厚度與折射率、背電極的金屬遮蔽率、圖案設計的最佳化、雙面或單面玻璃模組發電效率與成本的經濟效益。

從2014年至今，計有SolarWorld、ISFH、天合光能與工研院等單位進行技術研發，其中SolarWorld最早，其6×10的電池模組採用雙面玻璃封裝的方式，已經證實了每年可以多5%到25%的發電量；ISFH也證實了在晴朗的夏天，P型雙面PERC電池模組比PERC提高了5.5%的發電量，天合光能與工研院也都各自證實了此一結構的量產性，說明P型雙面PERC電池確實是高效率矽晶太陽電池趨勢的大未來。☒

誌謝

本研究工作承蒙經濟部能源局資助，謹此致謝。

參考文獻

1. A. W. Blakers, A. Wang, A. M. Milne, J. Zhao and M. A. Green, "22.8% efficient silicon solar cell", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 55, pp. 1363-1365, 1989.
2. T. Dullweber and J. Schmidt, "Industrial silicon so-

- lar cells applying the passivated emitter and rear cell (PERC) concept- A review", *IEEE J. Photovolt.*, 2006.
3. J. Zhao, A. Wang, M. A. Green and F. Ferrazza, "Novel 19.8% efficient "honeycomb" textured multicrystalline and 24.4% monocrystalline silicon solar cells", *Apply. Phys. Lett.*, vol. 73, pp. 1991-1993, 1998.
4. NREL Best Research-cell Efficiencies, 2016, available at http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg
5. International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV.net), 2015 Results, March 2016. Available at <http://www.itrpv.net/Reports/Downloads/2016/>
6. G Fischer, M Müller, S Steckemetz, R Köhler, F Lottspeich, F Wolny, C Koch, T Roth, M Kipping, H Neuhäus, E Schneiderlöchner, "Model based continuous improvement of industrial p-type PERC technology beyond 21% efficiency", *Energy Procedia*, vol. 77, pp. 515-519, 2015.
7. D. Song, J. Xiong, Z. Hu, G. Li, H. Wang, H. An, B. Yu, B. Grenko, K. Borden, K. Sauer, T. Roessler, J. Cui, H. Wang, J. Bultman, A. H. G. Vlooswijk and P. R. Venema, "Progress in n-type Si solar cell and module technology for high efficiency and low cost", *Proceedings of the 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, Austin, USA, 2012, pp. 3004-3008.
8. V. D. Mihailtchi, J. Jourdan, A. Edler, R. Kopecek, R. Harney, D. Stichtenoth, J. Lossen, T. Boescke and H. J. Krokoszinski, "Screen printed n-type silicon solar cells for industrial application", *Proceedings of the 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 2010, pp. 1446-1448.
9. S. Steckemetz, A. Metz and R. Hezel, "Thin Cz-silicon solar cells with rear silicon nitride passivation and screen printed contacts", *Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Munich, Germany, 2001, pp. 1902-1905.
10. T. Dullweber, C. Kranz, R. Peibst, U. Baumann, H. Hannebauer, A. Fülle, S. Steckemetz, T. Weber, M. Kutzer, M. Müller, G. Fischer, P. Palinginis, D.H. Neuhäus, "The PERC+ Cell: A 21%-Efficient industrial bifacial PERC solar cell", in *31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 2015,
11. S. Guo, T. M. Walsh and M. Peters, "Vertically mounted bifacial photovoltaic modules: A global analysis", *Energy*, vol. 61, pp. 447-454, 2013.
12. G. J. M. Janssen, B. B. Van Aken, A. J. Carr and A.A. Mewe, "Outdoor performance of bifacial modules by measurements and modelling", *Proceedings of 5th Silicon PV Conference*, Konstanz, Germany, 2015, in press.
13. Habdeksbkatt news paper report, 15.12.2014. Title: "Asbeck versucht Neustart"
14. SolarWorld press release, May 2015. Available at http://www.pv-tech.org/news/intersolar_europe_solarworld_to_launch_glass_glass_bifacial_modules [accessed on 17 Jun 2015]