

高效率太陽電池關鍵材料

Critical Materials for High Efficiency Solar Cells

魏松煙 S.Y. Wei¹、孫文繁 W.C. Sun²、吳儁夔 Alex Wu³、Mike F. Barker⁴

工研究院材化所 (MCL/ITRI) ¹研究員、²研究主任

台灣杜邦股份有限公司 (DuPont Taiwan) ³技術經理

杜邦株式會社 (Du Pont Kabushiki Kaisha) ⁴研發經理

「材料是關鍵」，在2014杜邦太陽能材料與技術研討會場中，隨處可見此標語，杜邦公司即以此做為技術發展之重點及總結，針對太陽能電池技術走向及p型高效電池技術等議題，發表材料開發之成果及進程。除重點發表新穎材料技術外，議程同時涵括太陽能政策剖析、市場趨勢、大型電站戶外實證研究、模組測試標準、模組邊框解決方案以及各種模組失效分析，研討會期程雖僅短短一天，內容即廣泛涵蓋太陽能產業發展趨勢及關鍵技術問題，令與會者除開展視野外，同時也獲得寶貴技術涵養。

“MATERIALS MATTER™.” The slogan was eye-catching in the conference hall of “DuPont 2014 Symposium on Photovoltaic Materials and Technology.” In this symposium DuPont put focus on the issues of “Trend of future solar cells technology” and “Advanced materials for high efficiency p-type solar cells”, in which the advanced solar cells were supported by development of innovative metallization pastes from DuPont’s. Besides the introduction of these novel technologies, the symposium also referred to the policy of photovoltaic, market trend, reliability analysis of field research from power stations, test standards for solar modules, and failure mode analysis.

關鍵詞 /Key Words

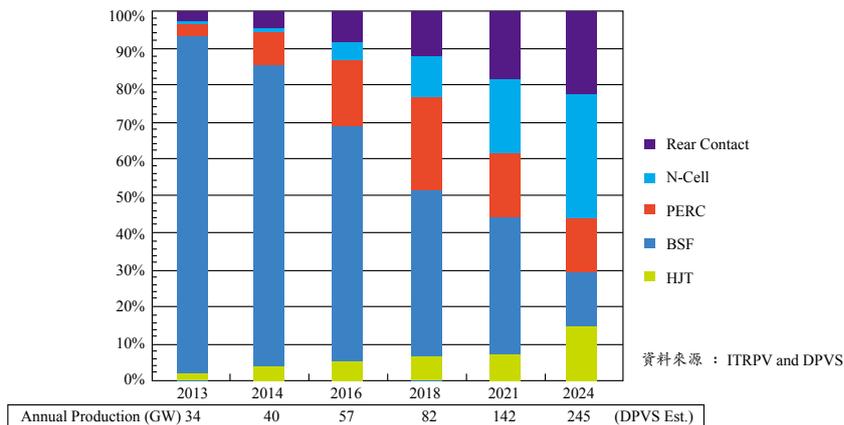
輕摻雜射極(Lightly Doped Emitter; LDE)、n型電池(n-type Solar Cell)、Solamet[®] PV18x、Solamet[®] PV3Nx

未來五年太陽能電池 技術的走向

杜邦公司(DuPont Taiwan)引用ITRPV (International Technology Roadmap for Photovoltaic)在2014年對於太陽能電池結構以及p型及n型晶片使用之發展趨勢圖(圖一)，說明下一階段PERC(Passivated Emitter Rear Cell)結構電池將逐漸取代目前主流之

BSF(Back Surface Field)全背電極電池，而HIT(Heterojunction with Intrinsic Thin Layer)及Rear Contact Cells(包含Interdigitated Back Contact; IBC及Metal Wrap Through; MWT系列結構等)將快速發展，其中n型晶片之使用將為高效率電池結構發展之關鍵。

杜邦公司數十年來，在搭配電池結構上，致力於發展出各種功效之漿料以配合電池之演進，從傳統電池所使用的正面銀漿杜邦™ Solamet[®] PV14x系列起，到高



▲ 圖一 各類結構及p、n型電池之產出預估趨勢

效電池使用的Solamet® PV15x、Solamet® PV16x，搭配i-PERC所使用之Solamet® PV36x1背面鋁漿、Solamet® PV56x背面銀漿以及近年為MWT結構所開發之Solamet® PV70x填孔用銀漿等，今年則在技術研討會上發表為高效LDE(Lightly Doped Emitter)結構元件所開發之Solamet® PV17x、18x等漿料，及為n型電池如雙面電池(Bi-Facial)所開發之Solamet® PV3Nx及適用於IBC結構的導電漿料解決方案，以供下世代新穎結構、電池參數設計之實現使用。

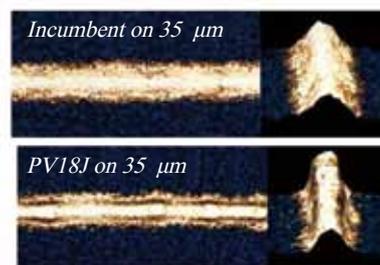
p型電池

1.全背式BSF電池技術發展

傳統型全背BSF電池以原有之Solamet® PV16x系列產品，演進至Solamet® PV17x以及PV18x漿料，網版改良後開孔由80 μm降至35 μm，搭配改良之漿料，膠料印重可由0.22克降至0.11克，與LDE形成良好之接觸特性以維持高填充因子(Fill Factor; F.F)。新一代的Solamet® PV18J漿料改善載體特性，與現行漿料相比之下具有極佳之高寬比特性，如圖二所示。可使網印線寬更窄，窄

線寬則可使導線數目增加，提升光電流收集之效率。Solamet® PV18J在LDE元件應用上與LDE具有良好之接觸特性，使F.F值在LDE之高阻抗特性下仍得以維持，使LDE元件轉換效率得以提升。

針對p型電池之金屬化製程，杜邦公司由早期提供高摻雜射極所使用之Solamet® PV16x系列發展至提供LDE使用之Solamet® PV17x系列漿料，現階段為提供增強型LDE (Enhanced LDE; EnLDE)之金屬化製程使用，演進開發Solamet® PV18x系列之漿料，其目標皆為發展創新化學技術以改善EnLDE區域之金屬接觸特性，使元件V_{oc}及效率可進一步提升。LDE為p型電池提高效率之一項關鍵設計，利用降低射極中之磷

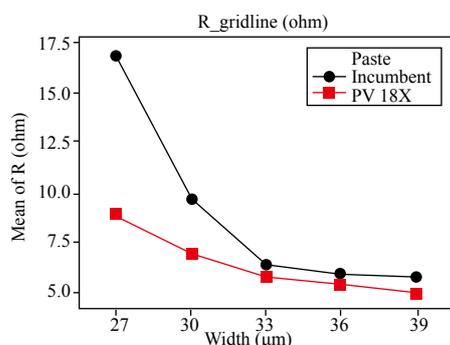


▲ 圖二 35 μm 細線印刷製程中PV18J漿料與現行漿料之導線形態分析

摻雜濃度，可使晶片表面大幅度減少缺陷態、降低光生載子複合機會，減少晶片表面因能帶窄化(Bandgap Narrowing)所造成的多餘光子吸收效應，提升藍光區的内部量子效率，提升 J_{sc} 及 V_{oc} 來增進轉換效率。但LDE之使用則使得晶片表面之阻抗大幅提升，金屬電極不易與晶片表面矽層形成良好之歐姆接觸，以至於大幅降低導電性。基於杜邦公司的Tellurium專利技術以提升金屬漿料之特性，杜邦公司前期針對LDE開發Solamet® PV17x系列漿料，LDE之歐姆接觸特性已有大幅改善，該技術主要在漿料當中加入0.5~15 wt%之鉛碲氧化物粉體粒子，其中碲及鉛之比例調控在5/95~95/5之間，粒徑約為0.1~3 μm ，藉以使金屬漿料可在低溫即達成絕緣層(如 SiN_x 、 TiO_2 或 SiO_2 等光學或鈍化薄膜)之穿孔以及燒結，提升電極接觸電導性以及黏著性，達成提高元件效率之目標。以杜邦公司的Tellurium Technology(碲技術)專利技術為主軸發展的Solamet® PV17x、PV18x系列漿料，經由各大電池廠在擴散最佳化之條件下進行測試，與傳統漿料比對，在LDE上平均可獲得0.5%之效率增益，目前以達到22%之元件效率為2015年之目標。在Solamet® PV18x系列中，近期發展之Solamet® PV18J漿料具有改

良之細線網印性、耗量減少及極佳之黏著特性，使模組信賴性提升。Solamet® PV18J漿料具有良好之細線網印性，在35 μm 線寬下可提升超過45%之高深寬比(如圖二)，導電性表現亦顯著提升，其優良之導電性隨著線寬縮減而與現行漿料愈趨明顯(如圖三)，在傳導特性上表現優越。而此Solamet® PV18J漿料透墨性佳，網印不易產生斷線問題，而由EL(Electroluminescence)缺陷分析可知(如圖四)，網印Solamet® PV18J漿料在晶片上並未對晶片造成顯著之缺陷。杜邦公司以Solamet® PV18J漿料進行n型電池驗證，搭配高片電阻射極以及細線印刷技術，可獲得超過0.15%之效率增益，除此之外，Solamet® PV18J應用於LDE上，相較於高摻雜射極元件，可使CTM(Cell-To-Module)損失保持穩定，不造成額外之功率損失。

Solamet® PV18J在網印漿料耗量表現上亦有顯著提升，在35 μm 之細線網印製程中，即便增加導線數目，仍可節省約30%之耗量，降低使用之成本。除此之外，黏著度上表現亦十分優越，在7~8 μm 厚度之網印細線上仍具有超過2 Nt之抗拉力表現，使模組具有更高之信賴性。Solamet® PV18J搭配LDE及細線網印技術可提供超過0.15%之



▲ 圖三 Solamet® PV18x漿料與現行漿料之電阻值對線寬比較圖

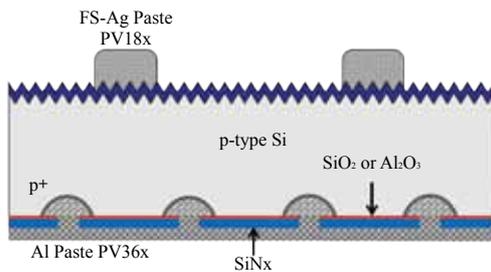


▲ 圖四 Solamet® PV18J漿料之EL Defect Mapping分析影像

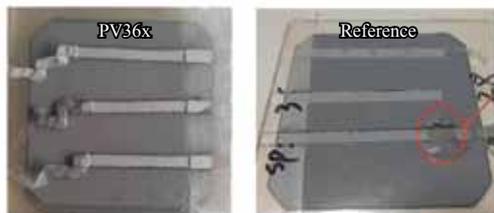
效率增益，即提供額外約2.2 Wp之功率輸出，同時節省耗量並以極佳之黏著性增加模組信賴性，為元件金屬化製程中之優良選擇。

2.局部背電場電池PERC

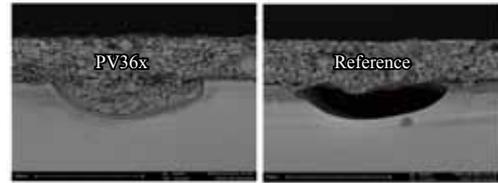
PERC結構太陽能電池具有穩定、高效之特性，商業化製程成熟，目前逐漸取代全面BSF結構電池，成為下一代之電池主流結構(如圖五)。在i-PERC Cell部份，杜邦公司發展正面銀漿Solamet® PV18x系列以及背面鋁漿Solamet® PV36x、背面銀漿Solamet® PV56x系列供正背面金屬化製程使用，i-PERC Cell主要具有低載子表面複合速率、高內部反射率以及較高的 V_{oc} 、 J_{sc} 以及元件效率等優點，由於背鋁膠與矽晶片接觸面積小，故漿料與元件背面之接著性為一大挑戰，杜邦公司藉由創新研究漿料中玻璃質及鋁粉之技術，改善了Solamet®



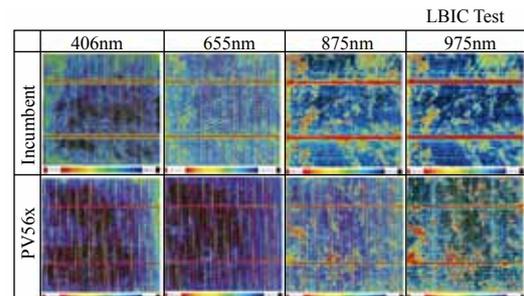
▲ 圖五 PERC太陽能電池結構



▲ 圖六 網印PV36x膠料與參考膠料之電池影像，提供膠料與SiNx薄膜黏著特性之參考



▲ 圖七 開孔處Solamet® PV36x與參考漿料之BSF形成區域SEM截面分析影像



▲ 圖八 Solamet® PV56x與現行膠料之LBIC Mapping分析影像

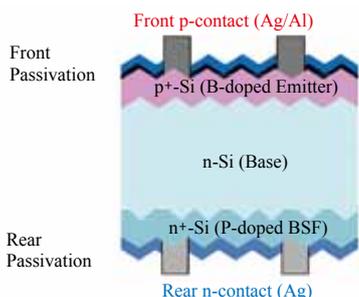
PV36x鋁漿與SiNx之黏著性，與現行漿料粘著特性之比較如圖六，提供良好的Bonding Force，同時也提升選擇性BSF區域中漿料與晶片之接觸特性(如圖七)，Solamet® PV36x改善選擇性BSF形成區域中，因擴散效應所造成之孔洞問題，提高接觸傳導特性，減少電極剝落機會及Kirk Effect之發生。除Solamet® PV36x外，Solamet® PV56x背面銀導電漿料改善玻璃質部分，除了可使Bonding Force及黏著性等特性提升外，同時可提升元件之長效可靠性，由LBIC測試分析可知(如圖八)，相較於現行使用之漿料，網印Solamet® PV56x系列晶片具有較低之鈍化損傷以及均勻性，使元件穩定性更佳。PERC結構元件之正背面鈍化層為達到高效率之關鍵，目前多使用PECVD或ALD進行鈍化層之沉積，並須使用雷射開孔技術，因此使得電池發電成本較高，而元件長效可靠性亦仍須進一步提升。

n型電池

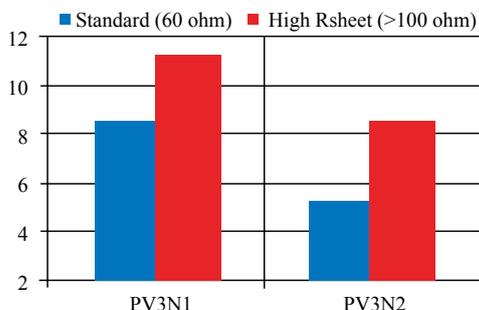
n型晶片具有幾項極佳的優勢，首先，因n型晶片之少數載子為電洞，因此晶片對雜質濃度的耐受度較高。再者，n型摻雜晶片中不具有高濃度之硼原子，因此不會有因硼-氧鍵結所造成的光致衰減(Light Inuced Degradation; LID)問題，最後，多數載子電洞則具有較佳之擴散距離及較高的載子生命期。

n型晶片可供雙面電池結構使用(如圖九)，其雙面結構因可由背面進光，因此可多提供約20~30%之輸出功率增益，目前此類元件最高約具有21.3%之元件轉換效率。以網印法製備金屬電極而言，杜邦公司在雙面電池正面開發銀鋁漿系統，以漿料參數設計來降低銀鋁漿在晶片正面之接觸電阻及導線電阻值，控制降低逆向飽和

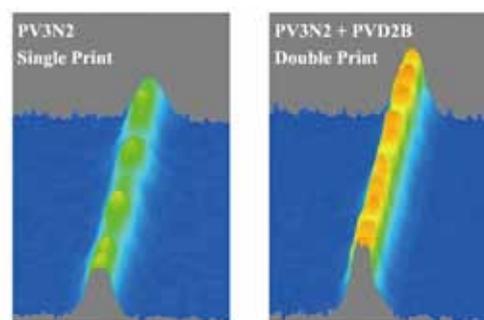
電流 $J_{0,m}$ 值為元件獲得高 V_{oc} 之重要參數，Solamet® PVD2x及PV61B漿料之設計即為降低Busbars下方之 $J_{0,m}$ 值，而Solamet® PV3Nx之設計則可降低Finger下方之 $J_{0,m}$ 值，控制降低逆向飽和電流 $J_{0,m}$ 值為獲得高 V_{oc} 之重要參數，除此之外，因鋁顆粒大小遠大於銀，因此需以調控銀、鋁比例方式達成45 μm 之細線印刷。相較前代之Solamet® PV3N1、PV3N2銀鋁漿料之開發將接觸電阻提升約30%(如圖十)，此較佳之接觸特性可提供製程較廣之擴散及燒結製程窗，而藉由有機載體之修飾使Solamet® PV3N2具有 $<45 \mu\text{m}$ 之細線網印性，此特性提供更具彈性之金屬化製程之選擇，如雙重網印製程等(如圖十一)。雖然杜邦公司在銀鋁膠之發展上有良好之提升，但其特性表現仍較p型電池中之標準電阻值為高，n型晶片之網印金屬化技術，仍有進一步提升之空間。



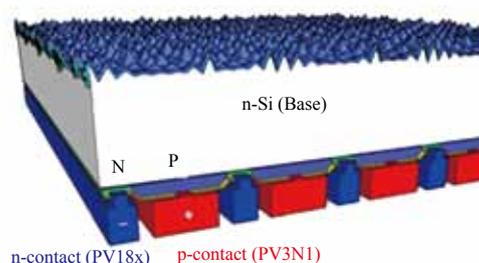
▲ 圖九 雙面太陽能電池結構圖



▲ 圖十 Solamet® PV3N1及PV3N2在不同阻抗射極條件下之接觸電阻比較



▲ 圖十一 Solamet® PV3N2細線印刷及雙重印刷之Mapping分析影像

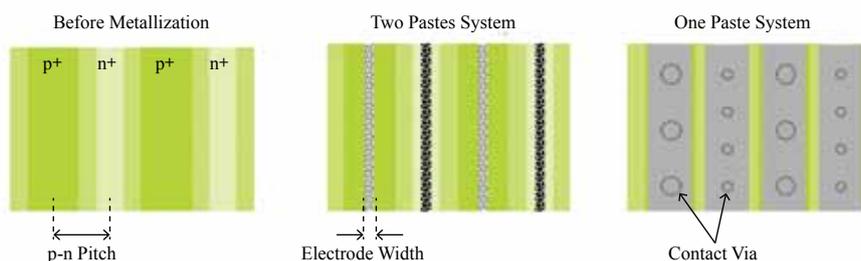


資料來源：into PV 網站

▲ 圖十二 IBC太陽能電池結構圖

▼ 表一 兩道式網印系統及一道式網印系統之製程比較

	Two Pastes System	One Paste System
Print/Dry	2 Times	1 Time
Contact via Opening	No Need(Fire-through)	Need(Laser, Etching)
Firing Temperature	700~800°C	550~600°C
Electrode Width	As narrow as possible	< 600μm less than p-n pitch
Electrode Thickness	As thick as possible	< 10μm
Passivation Area Loss by Metallization	(Electrode Width) (p-n Pitch)	No limitation with electrode width



▲ 圖十三 網印前、兩道式網印系統及一道式網印系統之表面示意圖

除雙面電池外，n型晶片亦常為IBC電池所使用，其電池結構具有n型區及p型區在晶片同一側之特性，即單面金屬化之特色(如圖十二)。現有製程技術為兩道式網印系統，p型及n型區分別使用Solamet® PV3N1以及Solamet® PV18x系列漿料進行網印，兩次網印完成後，進行燒結穿孔及高溫燒結之製程。杜邦公司此階段針對一次性網印製程開發n型及p型區皆可使用之金屬漿料，可節省一道網印製程，並無須使用燒結穿孔，但網印金屬漿料前須搭配一道雷射或蝕刻開孔製程，將鈍化層/光學層開孔，使網印之金屬漿料可膠處擴散區表面，網印完成最後再以低溫進行燒結。相較於傳統兩道網印式系統而言，一道式網印系統除了可減少一道網印製程外，其電極寬度可大幅增加，其限制為小於p型區及n型區之間距即可，寬電極之使用可使導線電阻值有效降低，讓電極厚度可小於10 μm，而鈍化層區域則可不受電極穿孔製程

影響造成鈍化面積損失，目前此一道式網印系統正進行更多之測試以驗證其功效，其電極端結構與兩道式網印系統之比較可如圖十三所示。無論是一道式或兩道式網印系統，在n型IBC結構元件應用上，金屬漿料之接觸介面特性及導電性皆須進一步提升，以達到提升功效及降低成本。☒