印刷工藝—實現眞正100%開口之太陽能鋼版印刷技術

Realizable 100% Opening Mask for Solar Cell Stencil Printing Technology

正中科技股份有限公司研發部

服務於兩岸三地，耕耘網版與鋼版產業接近四十年的正中科技，專注於技術扎根以及資源整合，服務對象遍及半導體業、電子零組件業、觸控面板業、生物科技業以及太陽能產業，數十年來對於產業合作以及研究單位共同開發案更是不餘遺力，無論在產業創新及專利布局，始終為客戶及產業提出解決方案，更是科技業界印刷製程的領航者。近年來持續深耕於太陽能電池片的正面電極印刷，已成功開發出28微米細柵線寬及寬高比超過0.75的完美印刷成果，為一新型態鋼版印刷技術，顛覆過往傳統印刷模式，此技術需包含一鋼/網版載具、封閉式墨匣總承等機構件（取代傳統的橡膠刮刀或平板刮刀），這系統將引領印刷製程直接推向低於30微米的新境界，未來的20微米以及10微米的細柵線將可實現。

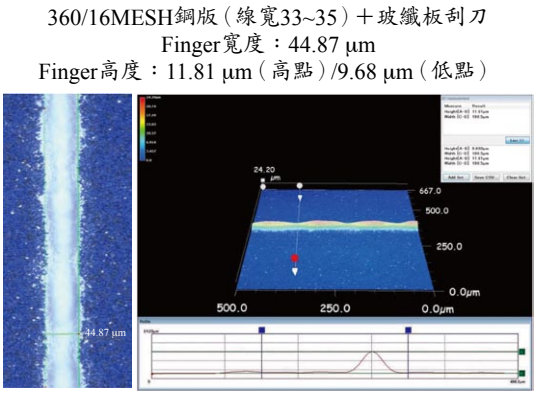
Faithful Technology, serving printing screens and stencils in China and Taiwan for nearly 40 years, has been dedicated to technology deepening and resource integrating. We have provided customers in semi-conductor, electronic component, touch panel, biotechnology and solar industry for years, and have made every effort in industrial cooperation and research units' joint development. Faithful Technology, the navigator in the printing manufacturing process of technology industry, has proposed customers possible solutions through industrial innovation and patent's deployment for long. For the past few years, Faithful has continuously devoted to solar cells' front-side printing. Successfully, our novel solar stencils' printing technology breaking up the traditional printing mode has exhibited the printing's results in fine line of 28 μm and higher aspect ratio of 0.75. This novel solar stencil's technology is engineered by a substrate of screen/stencil & closed silver paste's designed cartridge (replacing the traditional squeegee). This novel solar stencil's technology will guide the final prints toward the fine line under 30 μm. The super fine line of 20 μm and 10 μm is achievable and expectable in the near future.

關鍵詞/KeyWords
太陽能(Solar Energy)、太陽能電池(Solar Cell)、網版印刷(Screen Printing)、鋼版(Stencil)、刮刀(Squeegee)、墨匣(Cartridge)、寬高比(Aspect Ratio)、指狀電極(Finger Electrode)、正面電極(Front Side Electrode)

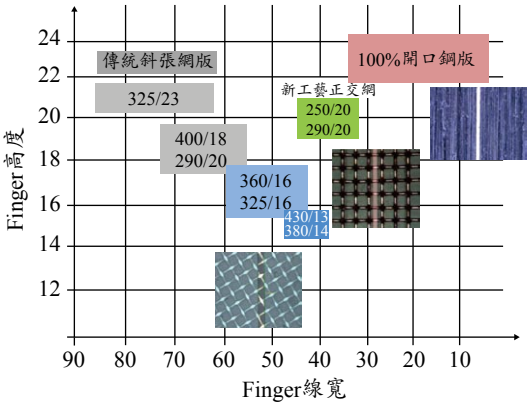
自從2010年起太陽能電池(Solar Cell)正式在市場上大量開始進行生產與製造，電池片導電層的成形，在製程的選擇上採用了傳統網版印刷(Screen Printing)製程將導電銀漿印刷於電池片上，主要因素在於網版印刷有著快速、低成本、高精密度等特性，適合用於太陽能產線的規模化生產形式。進而在這七年間的光景，無論是在鋼絲網的選擇（325目/290目/360目/400目）或是紗徑的演化上（23微米/20微米/16微米/13微米甚至到最新穎的11微米），網版印刷技術不斷的精進。在材質上的演變，已由一般張力的不銹鋼材質，到高張力的不銹鋼材質，進而轉變到鎢鋼或複合式材質；同時在印刷刮刀形態上也略有所變化，從方形橡膠刮刀轉變為具有玻璃纖維板的橡膠刮刀（圖一）。這些轉變皆專注於獲得更高的太陽能(Solar Energy)轉換效率以及更穩定的印刷量產品質（圖二）。

近年來在網版(Screen)製造工藝上因細柵線寬已經演進到了極致，所謂的傳統斜張網版則因為鋼絲網編織的過程，導致網結存在於細柵線圖形的開口區域，設計線寬在小於30微米的條件下，極容易造成印刷上的虛印，以及導電銀漿塞版等情形發生，造成太陽能電池廠在大量生產時的極大困擾以及電池片的品質瑕疵。進而在國內外網版製造商的創新努力下，突破了傳統的斜張網製程，開發出張網角度為0度的網版製造工藝（業界俗稱為「無網結網版或正交網版」）。使細柵設計開口，從整體角度而言，這樣的工藝並非屬於一個可實現大量生產的網版製造工藝，其主要的因素來自於，每張網版所呈現的圖檔狀態不一致，以及每一片細柵線必須精準地依照相對應之網紗狀態來進行刻劃，如此一來，規模性的網版製造以及穩定的轉換效率提升及網版壽命將成為這類型網版普及化的最大課題（表一）。

反觀，刮刀(Squeegee)的演變，其印刷的模式並無明顯改變，傳統印刷的程序仍維持在將大量的導電銀漿於印刷初期塗抹於網版的刮刀面側，並藉由回墨刀等機構，將其導電銀漿均勻的刮平於網版上，做為後續刮刀加壓於網版上時，可順利的將表面的導電銀漿轉移到被印物（太陽能矽

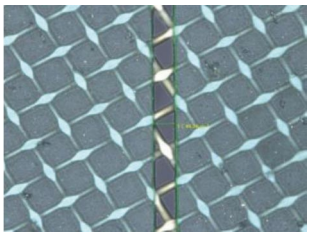
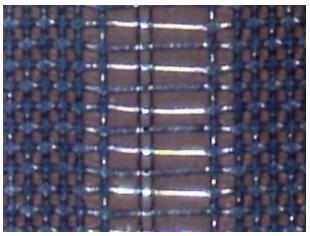
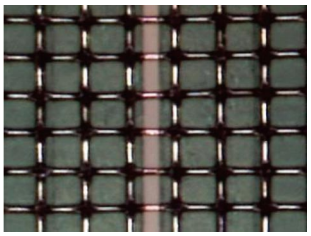


▲圖一　傳統斜張網版與刮刀印刷結果



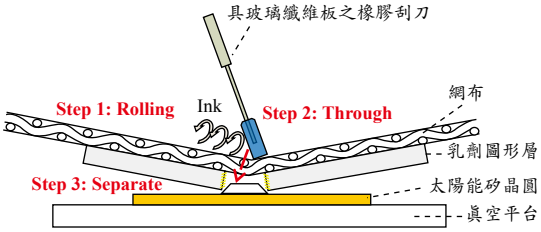
▲圖二　太陽能正銀印刷網/鋼版發展趨勢圖

▼表一　傳統網紗技術與市售正交網版（0度張網）技術之比較表

	網版工藝技術		
	斜張網	正交網	
		抽紗技術	調圖形技術
優點	1. 現階段大量使用之印刷治具。 2. 價格便宜，具高度CP值。 3. 操作熟悉，現階段之治具皆以此爲發展基礎。	1. 網版製造具高度量產性。 2. 無需額外設備投資。 3. 網版價格具競爭優勢。	1. 使用現有絲網材料，無料源受限問題。 2. 無需更改現有製程，即可獲得效率提升。 3. 細柵數無限制，無需客製。
缺點	1. 30微米下線寬無法成就。 2. 高目數細紗徑網布材料費高。 3. 乳劑解像要求高。 4. 紗徑微小化開發困難。	1. 需要特製網紗，供貨源被限制。 2. 圖形細柵線數固定。 3. 細柵線開口邊緣，乳劑容易破損崩落，對乳劑材質要求極高。 4. 側邊框線容易造成線粗，產生晶圓外觀問題。	1. 網版製造良率低，重工率高。 2. 因圖形需置放在開口區域內，其紗線直線度要求極高，紗網形變難控制。 3. 細柵線間距無法固定，無法製作雙層印刷，或應用在SE的製程上。 4. 每片網版圖形皆有些微不相同，造成效率較不穩定。 5. 網版製作工時長，量產產能低。 6. 具潛在側邊框線線粗外觀問題。
產品特徵			

晶圓）上，持續往復此循環，做為連續式印刷程序。

傳統刮刀印刷程序其導電銀漿的轉移機制，可細分為三個步驟（圖三）：①滾動態(Rolling)，其功能在於提供一導電銀漿向下的移動方向，使銀漿可順利的通過鋼絲網布以及乳劑層。此導電銀漿滾動的能力與印刷的角度成反比，舉例說明：印刷角度70°其滾動效果優於印刷角度80°；與離版間距成正比，舉例說明：離版間距越大其導電銀漿可被帶動的旋轉滾動的程度則越大。明顯的，導電銀漿在印刷過程中滾動能力將直接影響細柵線高度的均勻性以及斷線率。②穿越態(Through)，其功能需考慮到導電銀漿的流動特性及網版的適當導



▲圖三　現有量產型具玻璃纖維板橡膠刮刀之印刷模型

電銀漿流動性，可有效的將開口區的空間填滿導電銀漿，而此導電銀漿的成型將可獲得較佳的細柵線的寬高比例，反之若導電銀漿的流動性不足以通過網版厚度，即會產生斷柵或高度偏低等不良現象的發生。③分離態(Separate)，其功能在越細

▲圖四　現有量產型具玻璃纖維板印刷放大圖

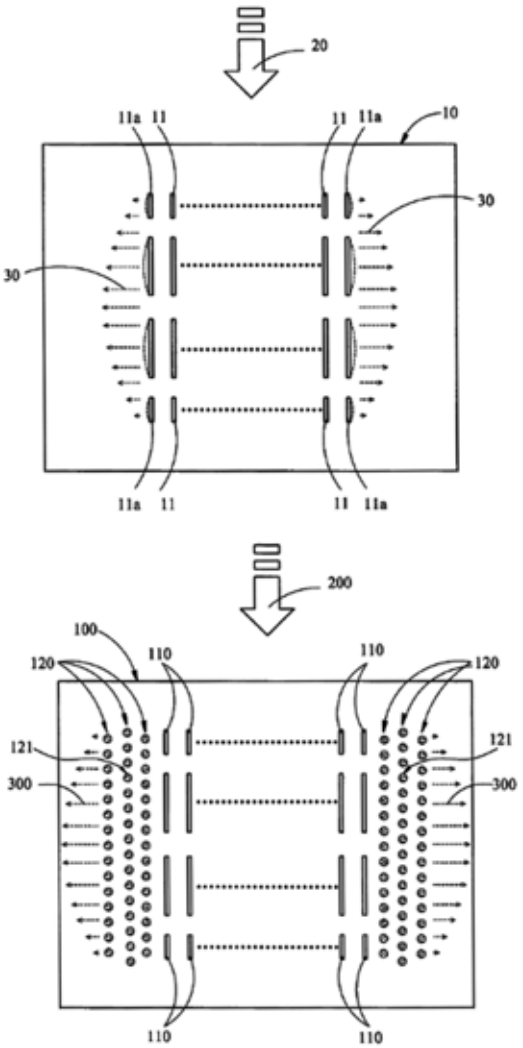
的細柵線寬條件下，此問題越趨嚴重，如何讓已被順利通過網版總厚度並順利填滿開口區之導電銀漿順利的在網版回彈時分離，而不會被網版的網結結構以及乳劑的斷面外型所影響。另外太陽能矽晶圓的表面粗糙度也影響其導電銀漿分離的好壞，當太陽能矽晶圓表面粗糙度高時，其導電銀漿被從網版上轉移下來的程度較高，也就是說，其太陽能矽晶圓表面粗糙度高者所經過印刷成型後的細柵線高度會優於粗糙度低者。

由上述可清楚得知，傳統印刷工藝的程序，其導電銀漿需大面積的暴露在網版的表面，故在印刷過程中，其導電銀漿的溶劑會持續的揮發，導致導電銀漿黏度上的持續改變，新漿料與舊漿料其印刷特性將有明顯差異，同時在傳統型具玻璃纖維板的橡膠刮刀（圖四）因製程條件參數的不相同（如：印刷壓力、離版間距、印刷速度等）以及橡膠耐溶劑的變動時間都將直接影響其印刷導電銀漿的透墨程度，進而影響印刷品質。

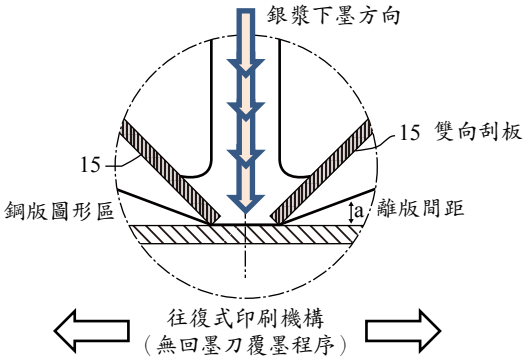
從過往至今網版印刷製程的演進即可得知，在網版規格以及刮刀形態上的變革來自於太陽能轉換效率的提升，細柵線寬的持續縮減，與寬高比(Aspect Ratio)同步提升，才能有效且具體的提升轉換效率，再者具有一定程度的印刷壽命以及印刷成本的持續下降，將必須同步的予以考慮；「具特殊應力分布之100%開口鋼版印刷技術」為其最具潛力之製程方案。

100%開口鋼版(Stencil)的優點：其開口區域並無任何紗線等支撐性阻隔物所干擾，因此導電銀漿可直接透過開口圖形，直接將導電銀漿沉積在電池片上，其細柵外觀型態幾乎可與鋼版開口型態相似度達80%。舉例說明：鋼版設計線寬26微米搭配鋼版厚度設計30微米，其印刷完成後線寬可達30微米，線高可達24微米，尤其在開口區域並無遮蔽物存在（如：傳統斜張網鋼絲網版之網結或0度張網之鋼絲網版之橫向鋼絲阻隔），因此其印刷後的細柵線高度均勻平坦，其高低段差小於1微米；進而從鋼版製作技術探討其細小化可行性，來了解其製程之未來性，其設計線寬可小於10微米的設計寬度，搭配專利版厚設計技術，其版厚與設計線寬比可大於2倍，這將大幅地提供電池設計者寬裕的製程設計條件，以最佳化電池結構，達到顯著的提升轉換率之成效。

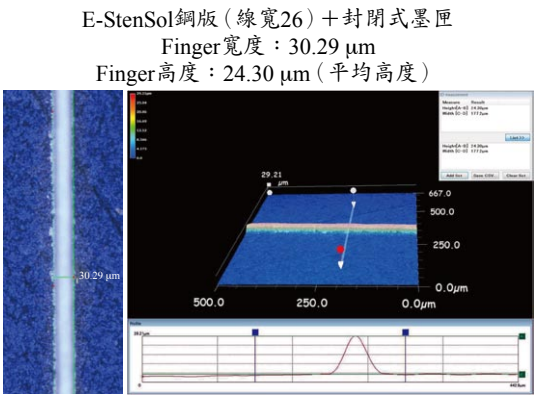
100%開口鋼版的缺點：由於其開口區域並無任何紗線等支撐物存在，因此會造成側向結構性不穩定等問題的產生，舉例說明，在100%開口鋼版的設計，其垂直於印刷刮板方向的兩側最外圍的細柵線，會在具有離版間距的印刷過程中，造成擴線產生電池片外觀問題，此現象與0度網版所產生的外側擴線問題相同，為了解決此



▲圖五　專利應力分散結構



▲圖六　專利封閉式墨匣印刷放大結構圖

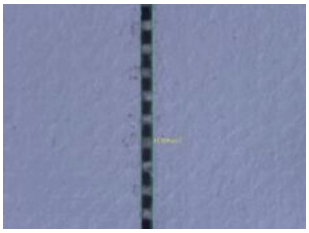
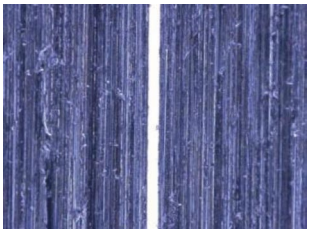


▲圖七　100%開口鋼版＋封閉式墨匣印刷結果

一衍生性問題，其鋼版設計必須搭配專利應力孔設計技術（圖五），將其印刷的應力及因圖形設計所造成的應力分布加以均質化，可有效的改善其側向應力以及順向應力不均所造成的印刷問題（如側邊外圍第一條線擴墨暈線等情事的發生）。同時須搭配我司專利設計之封閉式墨匣(Cartridge)刮刀機構（圖六），可真正實現超低離版間距的鋼版印刷型態以及精準的主動式下墨控制，徹底改善鋼版因應力而產生的形變問題，以及因軟橡膠刮刀所產生的印刷不穩定等問題，同時亦可兼顧完全無紗線或網結阻隔的100%開口細柵線結構（表二）。

100%開口鋼版印刷搭配專利封閉式墨匣印刷機構（圖七）的實現，已成為2017業界衆所矚目的焦點，它具有極為優異的印刷特性以及細柵線寬成型的能力，其太陽能轉換效率的提升及兼顧印刷成本的下降，將為其優勢，正中科技打造了新的印刷模式，一方面克服傳統100%開口鋼版的

▼表二　鋼版工藝技術比較表

	鋼版工藝技術	
	電鑄鋼網	100%開口鋼版
優點	1. 客製化電鑄鋼網，無圖形設計限制或材料源限制。 2. 無需更改現有印刷製程。 3. 圖形精準度可被控制。 4. 細柵線目數與主柵線目數可分別設計。 5. 可做雙層印刷。	1. 可實現100%開口落墨區，建立優異的寬高比。 2. 製作單純，價格具競爭力。 3. 鋼版壽命高，無點破，漏墨問題。 4. 封閉式墨匣刮刀組件系統，可避免導電銀漿黏度之變化，主動式精準控制下墨量。
缺點	1. 生產工序繁瑣，價格昂貴。 2. 鋼網材質硬脆，容易破網。 3. 仍有橫向絲網阻隔。	1. 圖形設計需使用4主柵以上設計。 2. 需具備雙套印刷設備。 3. 需搭配我司開發之封閉式墨匣機構套組件印刷。
產品特徵		

應力結構缺陷，同時也改善銀漿大面積暴露在網版表面的傳統刮刀印刷下墨模式，進而實現下世代印刷製程應用於太陽能正面電極細線寬以及高精準主動式銀漿控制之鋼版印刷技術。

同時，亦完成其專利鋼版設計以及專利封閉式墨匣機構設計與開發，對其單獨以及系統進行完整的專利佈局，目前正尋求與各大知名的太陽能電池的印刷設備系統廠商進行合作、專利授權，經由跨產業的系統整合，相信很快速地將可開發出具微細柵線化及高度成本競爭優勢之商業方案。

太陽能鋼版領導品牌—正中科技
Stencil for Solar Cell = StenSol®
創新技術、專利授權、解決客户問題
您的需求就是我們努力的方向
http://www.faithfulinc.com

正中科技股份有限公司
台灣管理處:
新北市新莊區中正路708-6號10樓
聯絡人: 楊經理 886-2-2903-8189 ext 111
E-mail: grace@faithfulinc.com

昆山正中科技
中國華東華中地區:
江蘇昆山市開發區金沙江南路12號
聯絡人: 林協理 86-512-57633776 ext 8216
E-mail: richard@faithfulinc.com