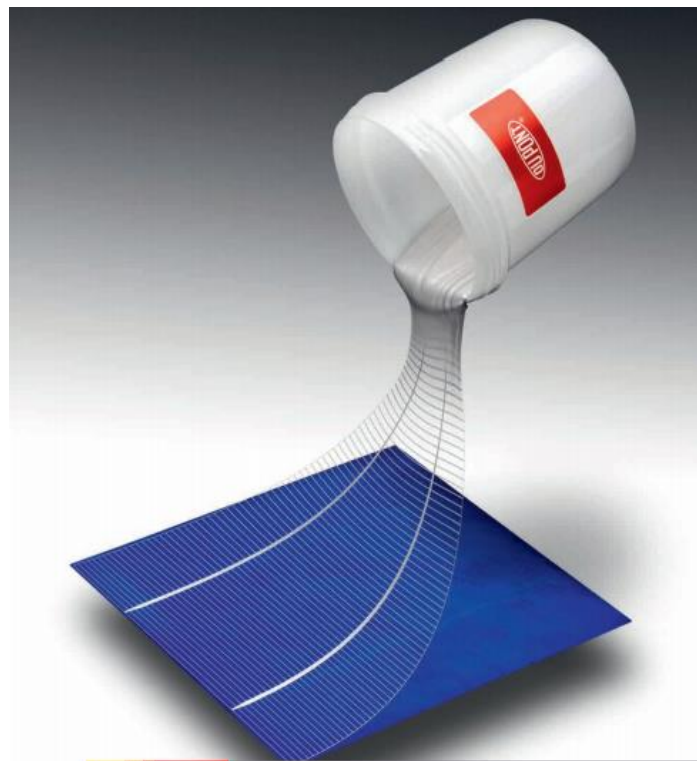
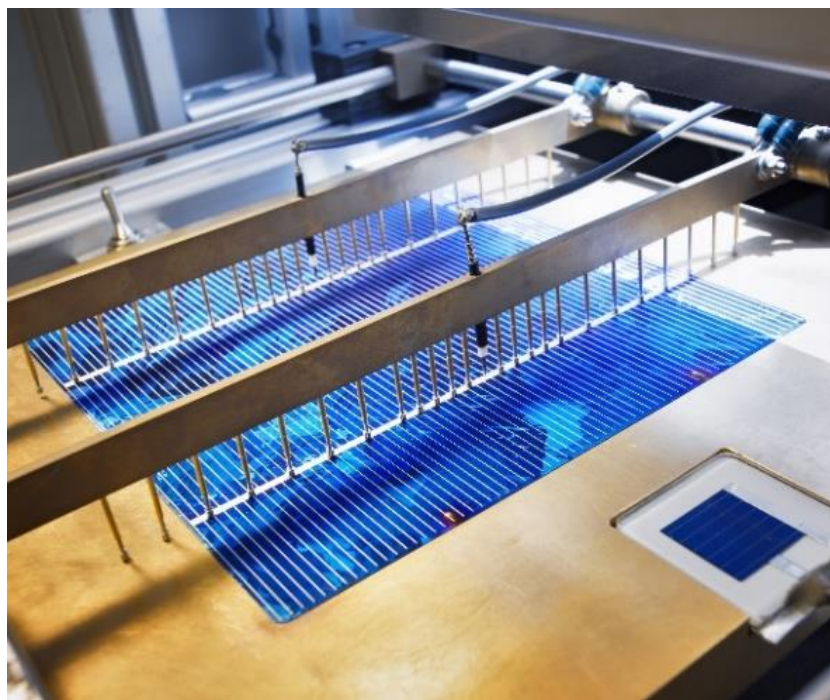
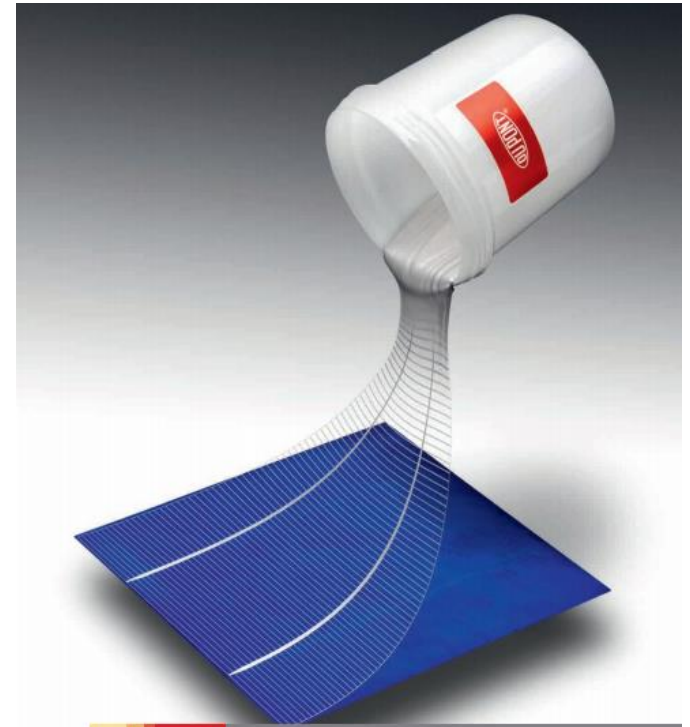


用於太陽能電池的導電銀漿技術研究



大綱

- 導電銀漿於太陽能電池的應用
- 銀漿介紹（材料特性、廠商資訊）
- 銀漿研究文獻報告（材料特性研究）
- 高低溫銀漿差異
- 低溫銀漿規格
- 太陽電池金屬化製程

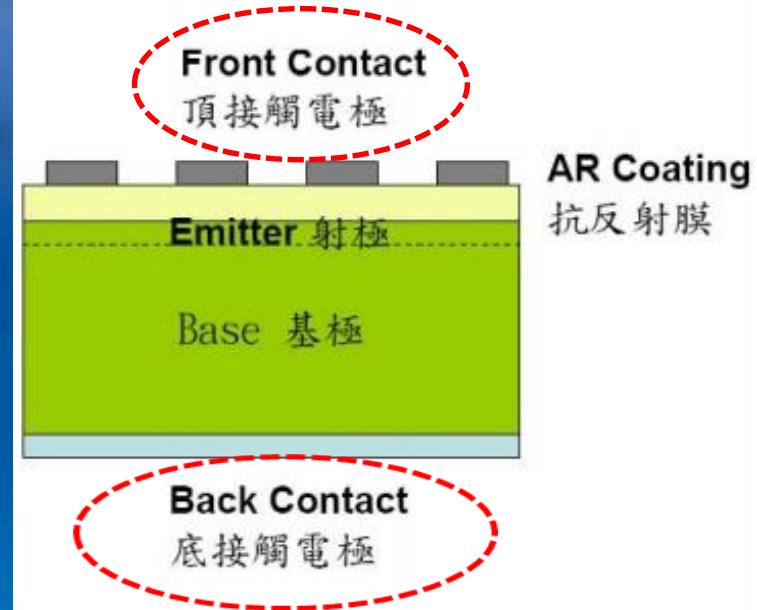
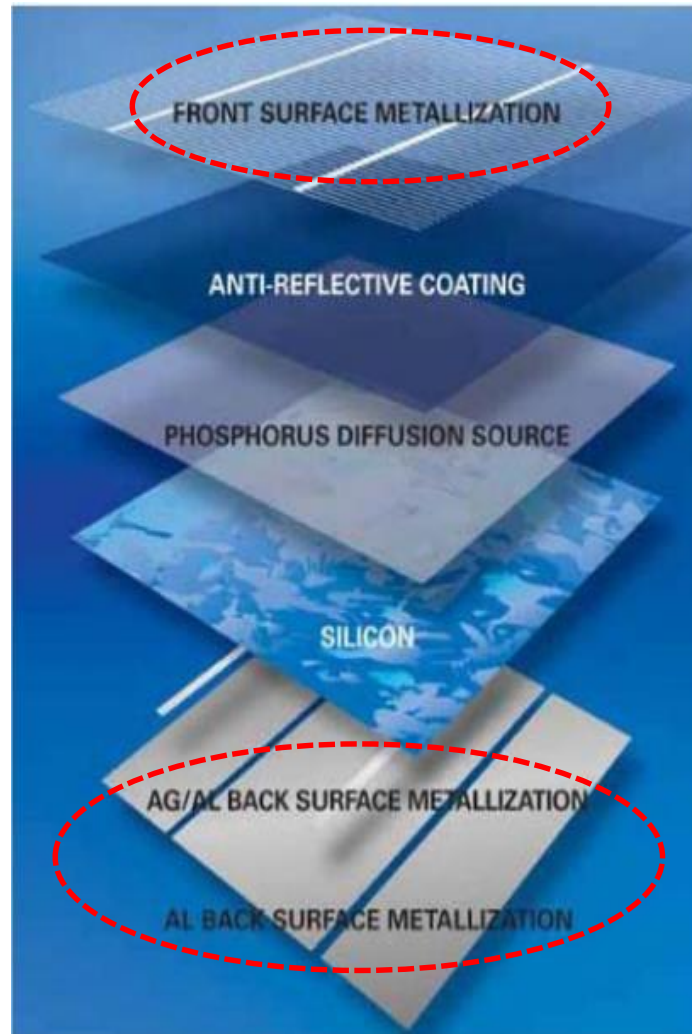
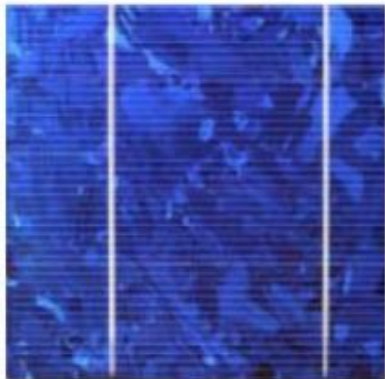


導電銀漿在太陽能電池的應用

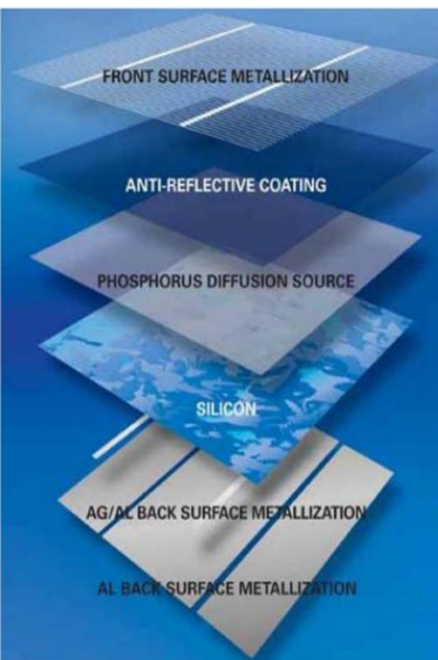
• 單晶



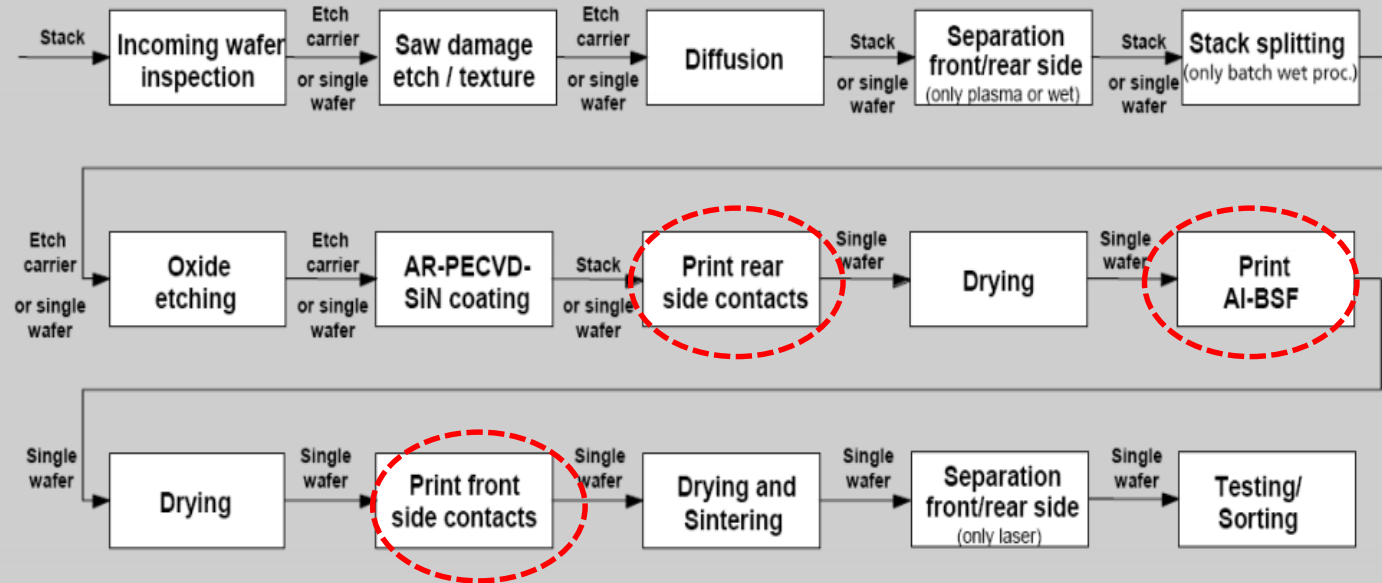
• 多晶



晶矽太陽能電池的製程

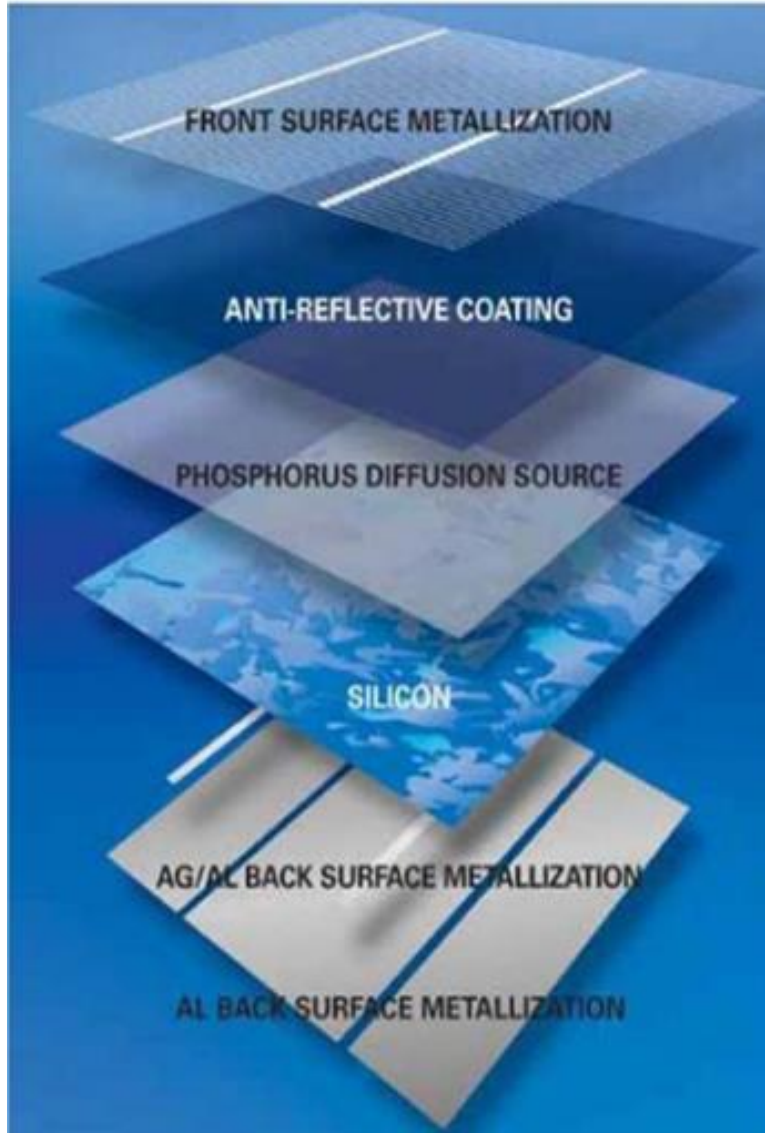


Solar Cell Process Sequence



Centrotherm

晶矽太陽能電池的金屬漿材



Application	Paste material
Front surface contact metallization	Silver
Back surface contact metallization	Silver/Aluminum
Back surface field metallization (BSF)	Aluminum

導電銀漿在太陽能電池的重要性

- ◆ 銀漿主要用當做太陽能電池的（1）正面金屬電極及（2）背面金屬電極，在成本考量上，鋁漿也能當作背面金屬電極。
- 銀漿導電率佳、附著力佳，可增加其太陽能元件之電流密度、提升填充因子、降低串聯電阻，進而提高光電轉換效率，同時可與模組之導線接著。
- 太陽能電池的成本結構中，矽晶圓約佔70%，銀膠約有10%。



太陽能電池正面金屬電極

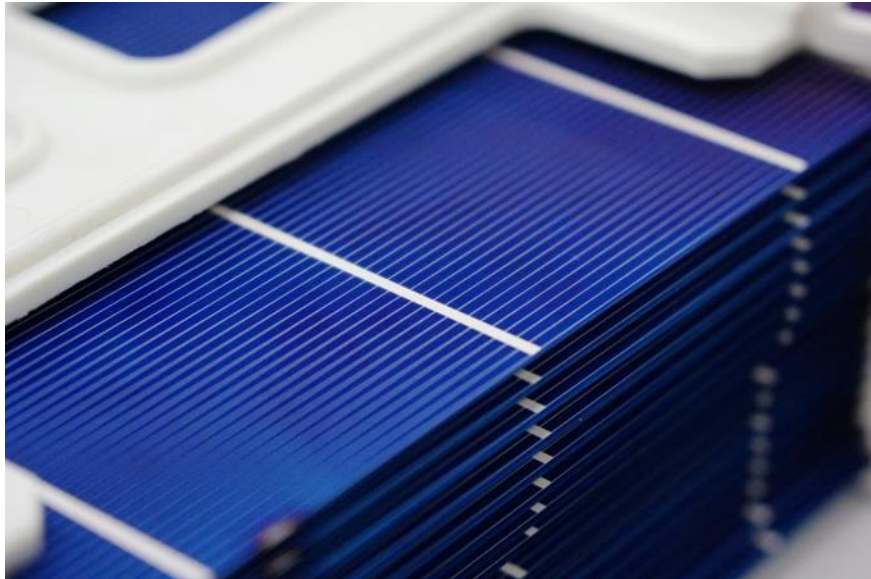


太陽能電池背面金屬電極



太陽能電池用正面銀漿

- 正面銀漿需與SiNx反應性佳、導電率高，能提高太陽能電池轉換效率0.2%以上。

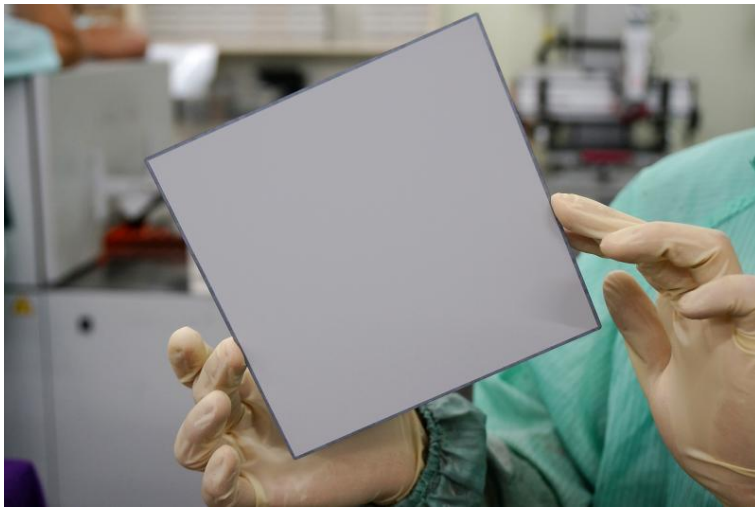


特性要求：

1. $30\mu\text{m}$ 細線化技術
($30\mu\text{m narrow grid}$)
2. $80\sim 100\ \Omega/\text{sq}$ 面電阻
($80\sim 100\ \Omega/\text{sq surface resistance}$)
3. 最佳的SiNx抗反射層
(Suitable for SiNx ARCs)
4. 低接觸電阻
(Low contact resistance)
5. 無鉛製程
(Lead free)

太陽能電池用背面鋁漿

- 背面鋁漿與矽結合性佳，產生均勻背面電場，提高開路電壓及短路電流，效率提高0.1%



產品特性:

1. 高效率

High efficiency

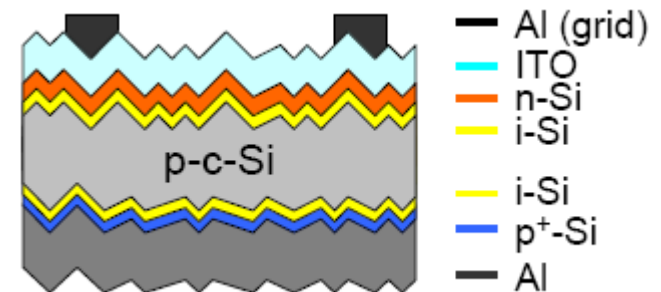
2. 低翹曲

Low bowing for 150μm thin wafer

3. 無鉛製程

Lead free

HIT solar cell



- HIT solar cell無採用背面鋁漿產生均勻背面電場之製程，以PECVD 鍍製p⁺-Si取代產生背向電場。**

資料來源：碩禾

太陽能電池用背面銀漿

- 背面銀漿需與Ribbon的焊接力強 (單位 : N)



特性要求

1. 高黏結強度(> 3N/mm)
High adhesion capacity (> 3N/mm)
2. 可焊性佳
High soldering capacity
3. 與Si-wafer結合性佳
High compatibility with Si-wafer
4. 厚膜印刷之覆墨性佳
High quality printing capability
5. 與鋁漿相容性佳(重疊部分不易剝落)
High compatibility with Aluminum paste
6. 無鉛製程
Lead free

銀漿完整的測試方法和設備

- 細度計 Fineness of Grind Gauges (FOG)
- 黏度計 Brookfield Viscometer
- 拉力測試 Tensile strength tester
- 熱重分析儀 Thermogravimetry Analysis (TGA)
- 電池 測試 Photoluminescence (PL)
- 模組 測試 Electroluminescence (EL)
- 電池 效率測試 Solar Simulator IV Test (Burger)
- 掃描式電子顯微鏡 Scanning Electron Microscope (SEM)
- 模組層壓機 Solar Module Laminator
- 環境測試 Environmental test chamber (Thermal Cycle)

用於PV的銀膠特性

■ 用於PV的銀膠的各種品牌嗎？材料原始資料？以及其對應特性

杜邦	銀品	碩禾
1. 杜邦™ Solamet® PV19x 正面銀漿	晶矽太陽能電池正面銀漿	太陽能電池用正面銀漿
1. 細柵線印刷性 (適用網版印刷) 2. 透過燒結穿透鈍化層 3. 在硼摻雜射極層上形成低接觸電阻 4. 低電阻 (高導電性) 5. 可和背面導電漿料共同燒結 6. 良好的焊接性與拉力	1. 提升固含量至91% 2. 降低燒結溫度 3. 良好印刷線性 4. 細線銀漿: 38 μ m 5. ESR:40-120 Ω /□ 6. 提高轉換率 7. 降低直接材料成本 8. 可應用於單晶及多晶	1. 30 μ m細線化技術 2. 80~100 Ω /sq 面電阻 3. 適合SiNx抗反射層 4. 低接觸電阻 5. 無鉛製程

銀漿材料廠分析

廠商	產品	國別	備註
杜邦 (Dupont)	銀鋁漿/鋁漿/銀漿	美國	- 市佔率全球第一 - 杜邦已於2014年底在美國啟動專利戰爭，增加競爭者客戶的疑慮，藉此切斷競爭者和其客戶的合作 - 杜邦主打銀漿市場，在正銀漿市占率5成以上、背銀漿市占達7成，但杜邦在鋁漿市場並無太大著墨。
福祿(Ferro)	銀鋁漿/鋁漿/銀漿	美國	
賀利氏 (Heraeus)	銀漿/銀鋁漿	德國	正面銀導電膠銷售在2014年全球市占率第三名。
三星		韓國	三星自2013年來，所供應的銀膠占中國市場約4成，碩禾約3成，分居市佔率一、二名，對杜邦、賀利氏造為威脅。
Analog	生產銀鋁漿/鋁漿	俄羅斯	早期搭配設備廠Turn-key獲得許多歐美廠商的採用，然而由於其價格較高，加上CELL的製造逐漸由歐美轉移到台灣和大陸，市佔率正逐漸流失
Toyo	鋁漿	日本	客戶則是以日本CELL廠為主，售價亦較高，在日本以外市場較缺乏競爭力。
儒興	鋁漿	中國	
碩禾(Giga Solar)		台灣	- 碩禾的正面銀導電膠銷售在2014年第三季已超越三星，全球市占率為21%，僅次於杜邦、第三名為賀利氏。 - 碩禾的背銀全球市占25%~30%，為全球第三名。 2014年公司主要產品<u>營收</u>比重：鋁漿21%、銀鋁漿18%、銀漿61%。鋁漿的市佔率為全球第二大，僅次於大陸儒興

- 太陽能電池的成本結構中，矽晶圓約佔70%，銀膠約有10%，為因應貴金屬對成本的影響，近年來銀膠中銀含量已低於5成。銀膠配方須依據客戶的需求客製化，在通過1~2年產品驗證後方能投產，因此僅在必要情況下才會更換銀膠供應商。

銀漿專利訴訟大事記

- 杜邦在2011年9月2日、2012年6月20日對和賀利氏提出侵權訴訟(案號1:11-cv-00773、3:12-cv-01104)，在2013年10月底雙方和解，因此在銀膠爭端中，採用杜邦或賀利氏的產品成為最安全的選擇。
- 2014年8月21日，美國杜邦向德拉瓦州聯邦地方法院(Delaware District Court)控告SunEdison及其子公司NVT, LLC侵權，認為被告生產、製造與銷售的太陽能電池模組使用三星SDI的正面銀導電膠(front-side silver photovoltaic paste)侵犯其專利權。
- 2014年11月杜邦對台灣各太陽能電池廠寄送警告函，要求輸美產品禁用碩禾的銀膠，台廠昱晶及昇陽科為避免糾紛，已停止由碩禾供貨。碩禾的正面銀導電膠銷售在2014年第三季已超越三星，全球市占率為21%，僅次於杜邦、第三名為賀利氏。碩禾的背銀全球市占25%~30%，為全球第三名。
- 2015年6月9日賀利氏(Heraeus)在台灣台北智慧財產法院控告台灣漿料廠碩禾專利侵權，侵權範圍為太陽能電池所使用的三款正銀漿料，侵權內容與碲玻璃技術(Tellurium Technology)有關。
- 2015年12月31日賀利氏 (Heraeus) 或中國國家智慧財產權局專利複審委員會證實，其導電漿擁有中國專利「201010529562.7」的專利有效性，駁回先前由協力廠商發起的專利無效上訴。

新聞面消息

- 未來五年漿料印刷仍將是太陽電池提效關鍵

新聞來源: PV-Tech (2014.4.3)

<http://www.semi.org/ch/node/54076>

- 新日光與杜邦攜手合作 開發高效太陽能電池相關技術 (2015-4-17)

新聞來源: <http://pv.energytrend.com.tw/news/20150417-11027.html>

- 2016年矽晶導電漿(C-Si Paste)市場可望達到34億美元

新聞來源: <http://www.semi.org/ch/node/14916>

- 漿料於太陽電池產業所佔角色甚為關鍵！！

太陽能電池用光伏導電銀漿技術分析（1/3）

分析層面	說明
1.組成	導電相銀粉、無機粘結劑玻璃料、有機載體及改善電池性能的微量添加劑組成，其中有機載體包括有機溶劑和有機樹脂，通過網印或其他噴塗技術將承印在基底表面，乾燥成膜後形成電極。
2.要求	(1)穩定良好的銀-矽歐姆接觸。 (2)高導電率較低成本。 (3)良好的焊接性、附著力、印刷性能以及適宜大規模生產的工藝性。 (4)與矽晶圓連接牢固，對酸鹼、水氣等的侵蝕有一定抵抗力。
3.差別	銀漿主要原料的一個成分搭配比率，每個銀漿企業都不一樣，這個配方是每個企業核心技術秘密之一。另外，因為技術實力與技術路線不一樣有些企業的銀漿產品穩定性最優，有些是焊接性最優，有些企業的產品雖然沒有突出表現但各方面都比較均衡。
4.效果	高性能光伏銀漿不僅穿透力強、印刷性能好，能使電池表面的柵線達到更好的高寬比，減少電池表面的遮光面積，還可以降低電池內部串聯電阻，減少光生電流的內部功率損耗，有效提高光伏電池的光電轉換效率。

太陽能電池用光伏導電銀漿技術分析（2/3）

材料分析層面	說明
銀微粒的含量	金屬銀的微粒是導電銀漿的主要成份。金屬銀在漿料中的含量直接與導電性能有關。從某種意義上講，銀的含量高，對提高它的導電性是有益的，但當它的含量超過臨界體積濃度時，其導電性能並不能提高，一般含銀量在80-90%（重量比）時，導電量已達到最高值，當含量繼續增加，電性不再提高，電阻值呈上升趨勢；當含量低於60%時，電阻的變化不穩定。在具體應用中，銀漿中銀微粒含量過高，被連結樹脂所裹覆的幾率低，固化成膜後銀導體的粘接力下降，有銀粒脫落的危險。故此，銀漿中的銀的含量在60-70%是適宜的。
銀微粒的大小	銀微粒的大小與銀漿的導電性能有關。在相同的體積下，微粒大，微粒間的接觸幾率偏低，並留有較大的空間，被非導體的樹脂所佔據，從而對導體微粒形成阻隔，導電性能下降。反之，細小微粒的接觸幾率提高，導電性能得到改善。微粒的大小對導電性的影響，從上述情況來看，只是一種相對的關係。由於受加工條件和絲網印刷方式的影響，既要滿足微粒順利通過絲網的網孔，又要符合銀微粒加工的條件，能使導電微粒順利通過網孔，密集地沉積在承印物上，構成飽滿的導電圖形。
微粒的形狀	銀微粒的形狀與導電性能的關係十分密切。對於形狀需要綜合考量來選用。

太陽能電池用光伏導電銀漿技術分析（3/3）

材料分析層面	說明
玻璃粉的作用	1.腐蝕晶體，通過腐蝕sinx，形成導電通道。2.在漿料-發射極介面間作為傳輸媒介
粘合劑的含量	粘合劑又稱結合劑，是導電銀漿中的成膜物質。導電銀漿對結合劑樹脂的選擇，有多方面的考慮。不同結合劑的粘度、凝聚性、附著性、熱特性等有較大的差異。導電銀漿的製造者對於導電銀漿所作用的基材、固化條件、成膜物的理化特性都需要統籌兼顧
溶劑：導電銀漿中的溶劑的作用	a.溶解樹脂，使導電微粒在聚合物中充分的分散； b.調整導電漿的粘度及粘度的穩定性； c.決定乾燥速度； d.改善基材的表面狀態，使漿料與基體有很好的密著性能。導電銀漿的溶劑的溶解度與極性，是選擇溶劑的重要參數，這是由於溶劑對印刷適性與基材的結構固化都有較大的影響。此外，溶劑沸點的高低、飽和蒸氣壓的大小、對人體的有無毒性，都是應該考慮的因素。溶劑的沸點與飽和氣壓對印料的穩定性與操作的持久性關係重大；對加熱固化的溫度、速率都有決定性的影響。一般都選用高沸點的溶劑，常用的有bca（丁基溶酞乙酸脂）、二乙二醇丁醚醋酸酯、二甘醇乙醚醋酸在、異佛爾酮等
助劑	導電銀漿中的助劑主要是指導電銀漿的分散劑、流平劑、金屬微粒的防氧劑、穩定劑等。助劑的加入會對導電性能產生不良的影響，只有在權衡利弊的情況下適宜地、選擇性的加入。導電銀漿按燒結溫度不同，分為高溫銀漿，中溫銀漿和低溫銀漿。其中高中溫燒結型銀漿主要用在太陽能電池，壓電陶瓷等方面。低溫銀漿主要用在薄膜開關及鍵盤線路上面

高低溫銀漿差異

Product overview of Materials metallization offerings for crystalline silicon (c-Si) and thin film solar cells

Fired-on compositions for c-Si applications

Application	Metal	Product Code	Comments
Front side contact	Ag	PV17A	High efficiency, excellent solderability, low laydown
Front side contact	Ag	PV17D	New – High efficiency, excellent solderability, very low contact resistance
Front side contact	Ag	PV17F	New – High efficiency, excellent solderability, highest aspect ratio
Front side contact	Ag	PVD2A	Second Layer Double print paste. Highest conductivity, excellent solderability
Front side contact	Ag	PV173	Pb-free*, high adhesion, high efficiency
Back side contact	Ag	PV51G	New – Tabbing silver, Pb-free*, low laydown, lowest Ag content, compatible with rear side Al metallizations
Back side contact	Ag	PV51M	New – Tabbing silver, Pb-free*, low laydown, low Ag content
Back Side Contact and Via Fill	Ag	PV701	Via fill paste and p-contact for MWT cell designs

Air-dried compositions for thin film PV applications

Application	Metal	Product Code	Comments
Front side contact	Ag	PV412	Second generation front side. Excellent adhesion to TCO, fine line resolution, good conductivity and lower contact resistance
Front side contact	Ag	PV410	First generation front side grid and bus bar. Good adhesion to TCO, fine line resolution, high conductivity and low contact resistance
Front side contact	Ag	PV414	Front side grid and bus bar suitable for rotary screen printing
Front side contact	Ag	PV416	New – Improved front side Ag, fine line capability <100µm, highest as printed conductivity
Rear side contact	C	PV480	For CdTe cells
Solderable contact	Ag/Cu	PV430	Solderable, compatible with PV410

• 杜邦以晶矽太陽電池與薄膜太陽電池兩類別產品來界定高低溫銀漿。

• 低溫銀漿除低溫乾燥特性外尚須要求與TCO之結合特性良好。

資料來源：DuPont

低溫銀漿

Materials for Thin Film Solar Cells

- The main purpose of the **low temperature curing Ag paste** is for use as a front side current collector grid and bus bar to reduce the resistive losses due to the relatively low conductivity of the transparent conductive oxide (TCO) layer used in thin film PV devices.
- To be effective in this role, the Ag paste must **have excellent adhesion to the TCO**, combined with low contact resistance and high sheet conductivity.

Applications

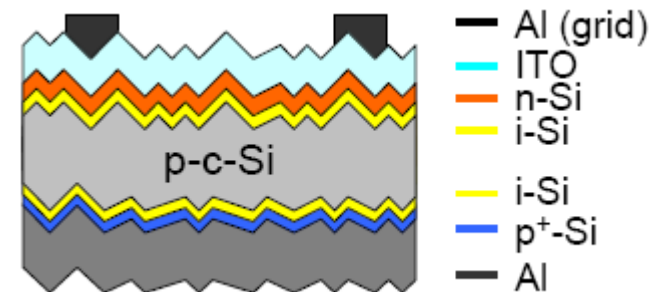
- a-Si/ μ c-Si – Ag grid and bus bar
- CIGS – Ag grid and bus bar
- **Heterojunction – Ag grid and bus bar**
- CdTe – Carbon ink (back contact)

低溫銀漿特性

Key Front Side Ag Paste Properties

- High conductivity and low contact resistance to minimize series losses
- Good line resolution to reduce shadowing loss
- Good flex properties for durable flexible thin film cells
- **Excellent adhesion to a variety of TCOs**
- **Dry at low temperature, typically 130 °C to 200 °C**
- Designed for screen printing on reel-to-reel/mass production
- Customizable technology platform for other thin film cell structures.

HIT solar cell



低溫銀漿產品規格

杜邦低溫銀膠規格 (1)

Technical Data Sheet

Product Description

DuPont™ Solamet® PV414 photovoltaic metallization paste is a silver based polymer composition. It is designed for Rotary Printing for use as a FS conductor in CIGS, a-Si and other thin film solar cells.

Product Benefits

- Low grid line resistance (Rgl)
- Low contact resistance (Rc) to ITO and other TCO's
- Excellent printability and fine line capability
- Excellent adhesion to TCO

Processing Summary

- **Printing Equipment**
Rotary Printing (reel-to-reel)
- **Substrates**
Flexible with sputter coated TCO
- **Screen Type**
RotaMesh SP 190 or similar
- **Typical Drying Conditions**
Substrate/cell dependent,
150–180°C/5 min
- **Typical Circuit Line Thickness**
8µm for 150µm track width
- **Clean-up Solvent**
Ethylene Glycol diacetate or Methyl propasol acetate

Table 1
Typical Composition and Physical Properties

Solids (%) at 750°C	73–78
Viscosity (Pa.s.) (Brookfield 1/2 RVT, spindle #14, 10rpm)	18–30
Thinner	8260
Resistivity (mΩ/sq/25µm)	8–12
Coverage (cm ² /g) (150µm track width, 8µm thickness)	~220
Abrasion Resistance (ASTM Pencil Hardness)	2H

Paste Preparation

The composition should be thoroughly mixed before use. This is best achieved by slow, gentle hand stirring with a clean burr-free spatula (flexible plastic) for 1–2 minutes. Jar rolling is NOT recommended, as this could change the rheology of the material. Care should be taken to avoid air entrapment.

Drying

Depending on the temperature tolerance of the cell and substrate, Solamet® PV414 can be dried at temperatures between 150°C and 180°C. Drying times can vary depending on the efficiency of the drier. Longer drying times and higher drying temperatures will improve the adhesion, resistivity and abrasion resistance.

杜邦低溫銀膠規格 (2)

Product Description

DuPont™ Solamet® PV416 photovoltaic metallization paste is a silver based polymer composition. It is designed for Screen Printing for use as a front-side conductor in CIGS, a-Si and other thin film solar cell applications.

Product Benefits

- Low contact resistance (R_c) to ITO and AZO
- Low grid line resistance (R_{gl})
- Excellent fine line capability with minimal flow-out
- Excellent adhesion to TCO

Processing Summary

- **Screen Printing Equipment**
Reel-to-reel, semi-automatic, manual
- **Substrates**
Rigid/Flexible with sputter coated TCO
- **Screen Type**
PET or stainless steel (SD 67/25 (280 mesh))
- **Typical Drying Conditions**
Substrate/cell dependent,
130–180°C/5–60 min
- **Typical Circuit Line Thickness**
18µm for 100µm track width
- **Clean-up Solvent**
Ethylene Glycol diacetate

Table 1

Typical Composition and Physical Properties

Solids (%) at 750°C	81–84
Viscosity (Pa.s.) (Brookfield RVT, spindle #14, 10rpm)	90–130
Thinner	8260
Resistivity (mΩ/sq/25µm)	8–12
Coverage (cm²/g) (100µm track width, 18µm thickness, with SD 67/25 mesh)	~115
Abrasion Resistance (ASTM Pencil Hardness)	2H

Paste Preparation

The composition should be thoroughly mixed before use. This is best achieved by slow, gentle hand stirring with a clean burr-free spatula (flexible plastic) for 1–2 minutes. Jar rolling is NOT recommended, as this could change the rheology of the material. Care should be taken to avoid air entrapment.

Drying

Depending on the temperature tolerance of the cell and substrate, Solamet® PV416 can be dried at temperatures between 130°C and 180°C. Drying times can vary depending on the efficiency of the drier. Longer drying times and higher drying temperatures will improve the adhesion, resistivity and abrasion resistance.

銀品 低溫銀膠SYP-4570規

Conductive Silver Paste 格

SYP-4570

Products	SYP-4570
Silver Solids	70±2%
Viscosity (25±1℃)	20 ± 5 K cps / By Brookfield Dv-II+No.SC4-14/10R
Substrates	ITO/PET, ITO/glass, glass, PET, Polyimide, Polyester , Polycarbonate , etc.
Application	EMI & Electric circuitry /Flexible printed circuits Thermoplastic type
Printing Screen	Normal 225-325 mesh stainless steel net Tension $30 \pm 5 \text{ (N/CM)}^2$ Emulsion Thickness 12-25μm
Curing Temperature	30 minutes at 130 ~ 150℃
Resistivity (Ω-cm)	$< 10.0 \times 10^{-5} \text{ Ω-cm}$ Temperature: 25±1℃
Hardness	$\geq 2H$; 2H: OK
Thinner	DBC or Terpinol
Storability	Guaranteed for 6 months at room temperature under 25℃ .
Packing	2 KG/Sealed plastic can, or depend on customers ※Packing Specification based on actual quality

導電銀漿分析 (1/2)

銀漿廠牌：銀品科技股份有限公司
SYP-4570

■ 基板：玻璃

■ 銀漿內銀含量 > 70%

■ 退火製程條件：

高溫方形爐

Step1：10分鐘升溫至130°C

Step2：130°C持溫30分鐘

Step3：自然爐冷至室溫

■ 銀漿分析：

四點探針分析

片電阻：50 mΩ/□

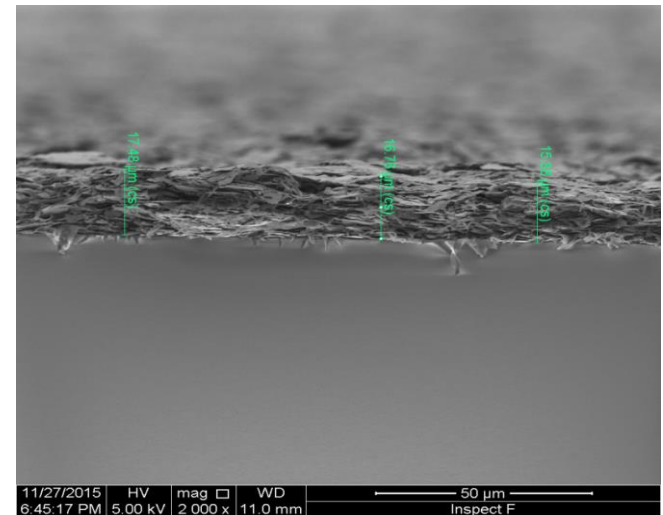
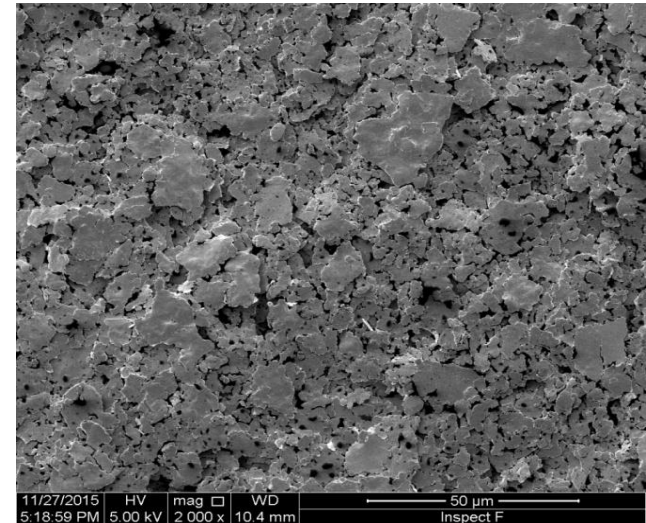
電阻率： $8 \times 10^{-5} \Omega\text{-cm}$

■ 均勻度：

目前為手動刮刀製作

均勻度約 $\pm 3 \mu\text{m}$

如果有網印設備可大量提升均勻度



導電銀漿SEM圖

導電銀漿分析 (2/2)

銀漿廠牌：銀品科技股份有限公司
SYP-4570

■ 基板：玻璃

■ 銀漿內銀含量 > 70%

■ 退火製程條件：

高溫方形爐

Step1：10分鐘升溫至200°C

Step2：200°C持溫30分鐘

Step3：自然爐冷至室溫

■ 銀漿分析：

四點探針分析

片電阻：40 mΩ/□

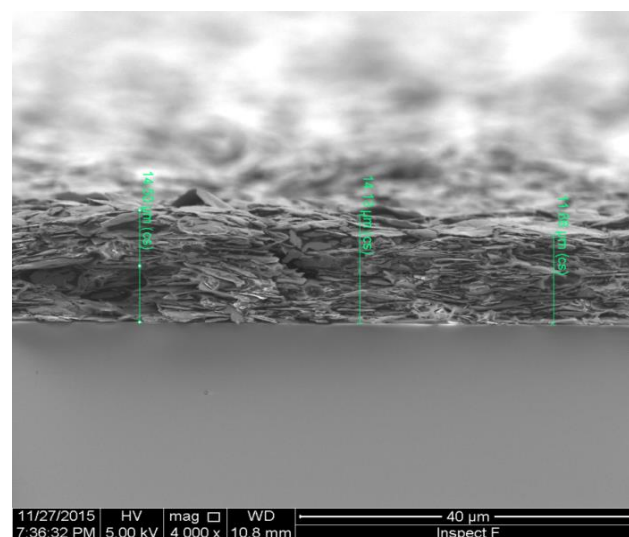
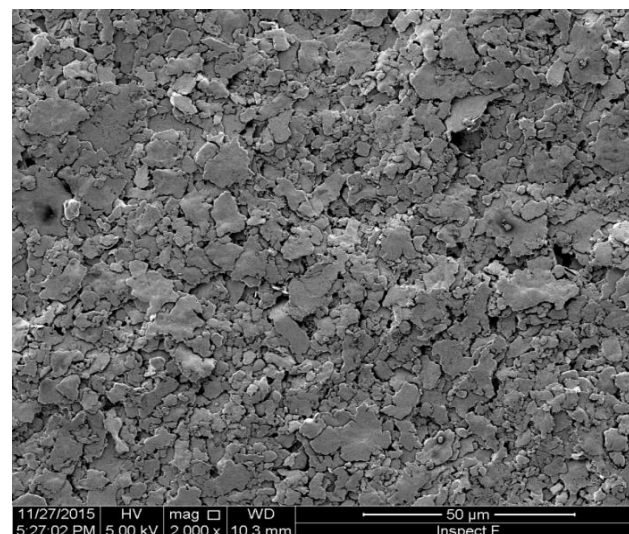
電阻率： 5×10^{-5} Ω-cm

■ 均勻度：

目前為手動刮刀製作

均勻度約 $\pm 3 \mu\text{m}$

如果有網印設備可大量提升均勻度



導電銀漿SEM圖

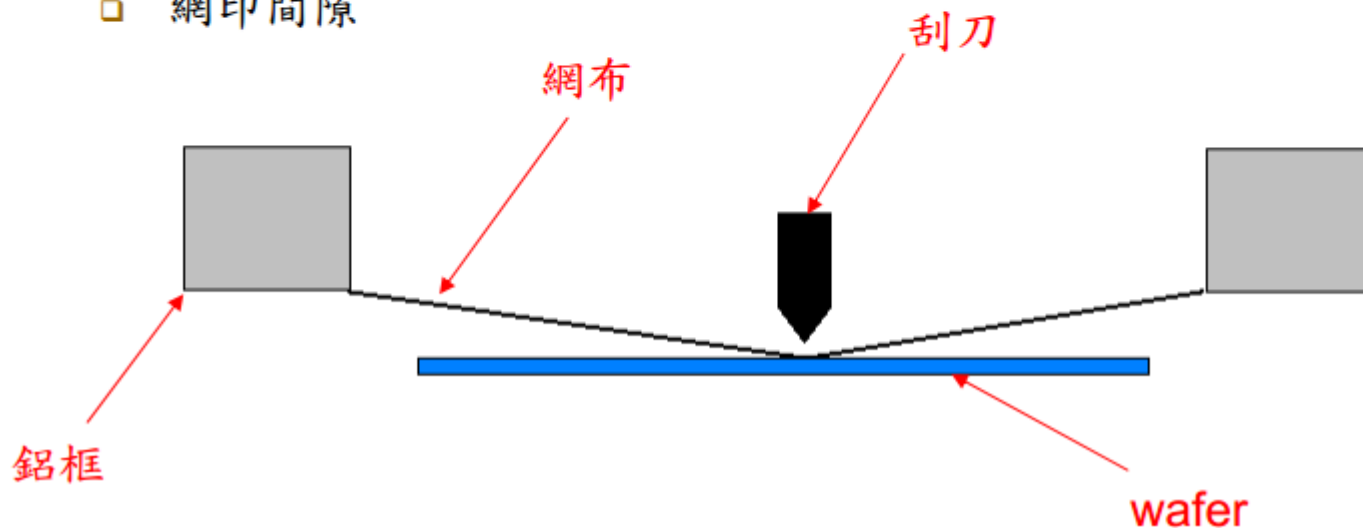
銀膠用於PV製程

- 矽基太陽能電池網印刷技術是將含有金屬的導電漿料透過絲網網孔壓印在矽片上形成電路或電極的過程。印刷過程從矽片放置到印刷臺上開始，非常精細的絲網印版固定在網框上，放置在矽片上方，絲網封閉了除柵格線以外的其他區域，以便導電漿料能夠通過。矽片和絲網的距離要嚴格地控制（稱為印刷間隙，或者網距）。把適量的漿料放置於絲網之上，用刮刀塗抹漿料，使其均勻填充於網孔之中，刮刀在移動的過程中把漿料通過絲網網孔擠壓到矽片上。網印製程的溫度、壓力、速度和其他變數都必須嚴格控制。每次印刷完成後，矽片被放入烘乾爐，使導電漿料凝固。接著翻面網印。所有印刷步驟完成後，將矽片放入高溫爐裡燒結。
- 為了提高太陽能電池的轉換率，儘量降低銀導線對與電池板的遮擋，絲網版上柵格線的寬度應該儘量窄，而柵格線太細有可能造成導電銀漿的厚度太薄，甚至有可能斷。因此，印刷後的銀漿在燒結後的寬度在 $50\mu\text{m}$ 左右。為了降低其串聯電阻，印在電池板上的銀導線的總重量要儘量低，基本在 $0.01 \sim 0.02\text{g}$ 。印刷壓力在 $75 \sim 80$ 牛頓。

晶矽太陽能電池的金屬漿材網印製程

■ 關鍵技術

- 網印速度
- 刮刀壓力
- 網板張力
- 網印定位系統
- 減少化學物質的使用
- 線寬精準度與穩定性
- 網印間隙



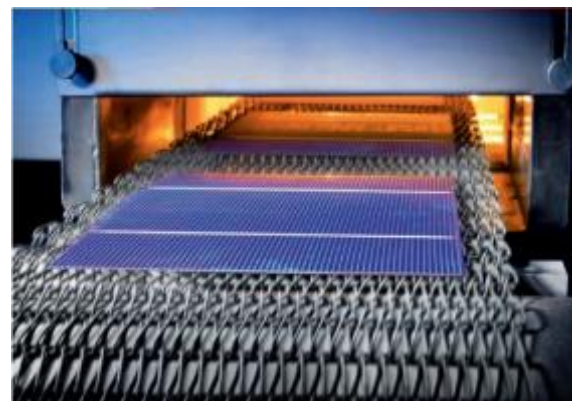
太陽能電池電極網印製程

■ 電極網印製程：

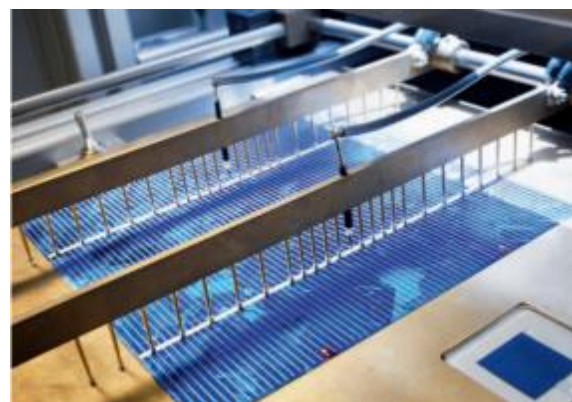
- 電極網印製程準則有四項：(1)保持圖案尺寸與位置的**精確度**；(2)控制印刷的**下銀膠量**與**銀膠厚度**；(3)每次印刷銀膠**厚度的重現精度**；(4)圖案邊緣的**銳利度**與**清晰度**。
- 銀/鉛漿導電漿料，需具有以下特性：**細柵線印刷性**(適用網版印刷的網格)、**透過燒結穿透鈍化層、硼摻雜射極層上低接觸電阻、低網格電阻**(高導電性)、**可和背面接點共同燒結、良好的鋅錫性與黏著性、不含鎘**。



Printing



Firing

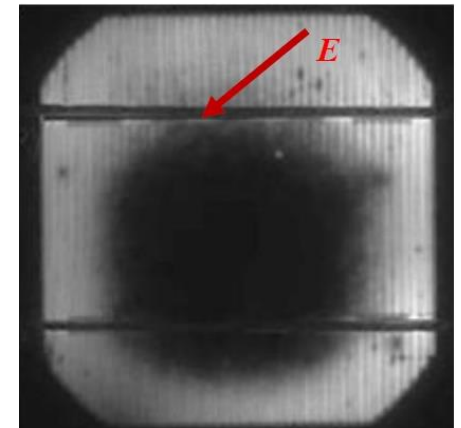
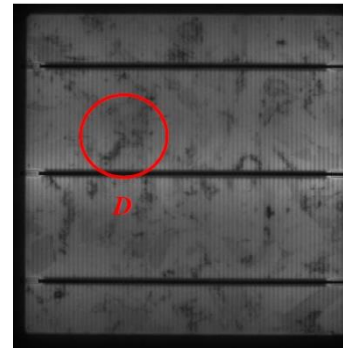
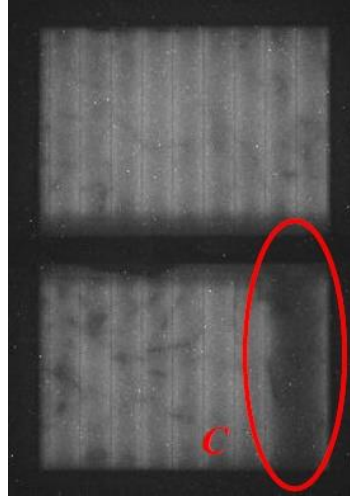
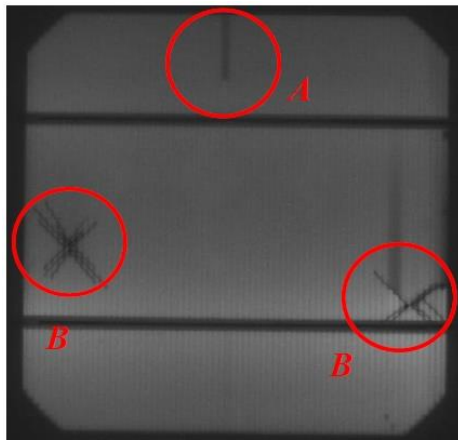


Testing

電極網印製程流程

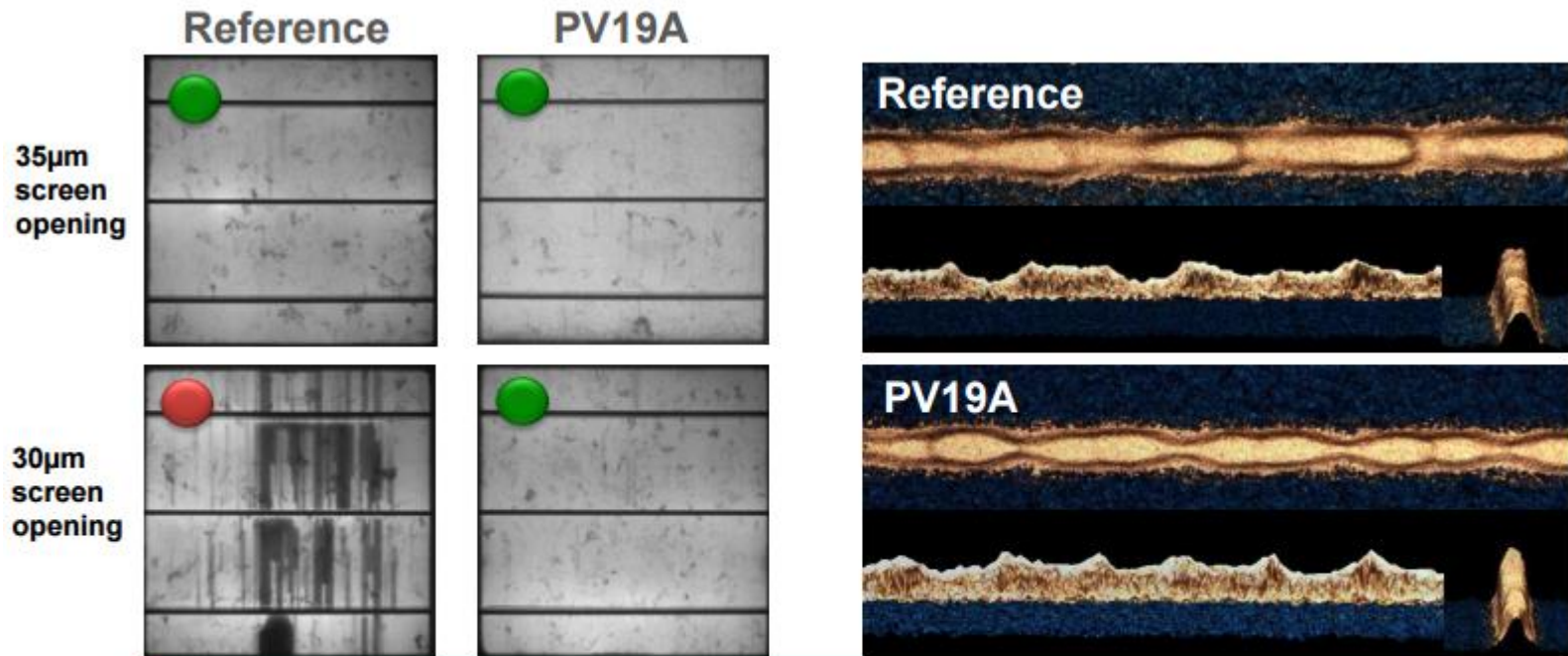
銀膠用於PV檢測分析

- 電致螢光(EL)太陽能晶片檢測
- 電致發光(EL)檢查在業界常用來做太陽能電池外觀缺陷檢測：包含銀電極斷線、虛焊、破片、電阻分布不均、燒結製程污染以及微裂(micro-crack)等缺陷。我們可以在暗室內擷取即時影像，觀察 EL 影像可清楚發現太陽電池中的各種瑕疵。



A：斷柵(Broken finger) B：破裂(Crack) C：過鐸(Over welding) D：晶界、原生缺陷(Grain boundary & Dislocation) E：黑心片(Black core)

銀膠用於PV檢測分析



Excellent printability down to 30 μ m screen opening:

- Reduced line spreading
- Better line definition
- Smoother morphology
- No printing EL defect

資料來源：DuPont

晶矽太陽電池金屬化製程-網印

■ c-Si Solar Cell Processing

- Etch/ Texture
 - Diffusion
 - Edge isolation
 - Antireflective Coating
 - **Screen Printing**
 - Drying
 - Firing/Sintering
- } metallization
- (Included C-SUN Furnace)
- Testing/sorting

網版印刷技術

矽晶太陽電池的電極導線製作，基本上仍以網版印刷技術為主流，為何網版印刷技術在太陽光電的導線應用可以持續興盛？主要的因素是：

- 1.在厚膜製程 上已經應用非常成熟；
- 2.製程與設備都相對簡單；
- 3.可以製作各種功能性的材料；
- 4.具高度彈性可製作各類圖案(Pattern)；
- 5.可以製作高精度的導電線；
- 6.設備與技術人才可以容易由電子產業轉進；
- 7.製造成本相對便宜，產率也相當高。

但是仍 然需要去面對導電膠流變性(黏度隨時間與環境的變化)、粉體分散性不佳(凝聚結 塊)、印刷導線的高線寬/線高比(Aspect Ratio)、導線變細時易斷裂、矽晶片厚度 減少時易破裂與翹曲過大等等材料與製程參數的關鍵問題。

晶矽太陽電池網印製程

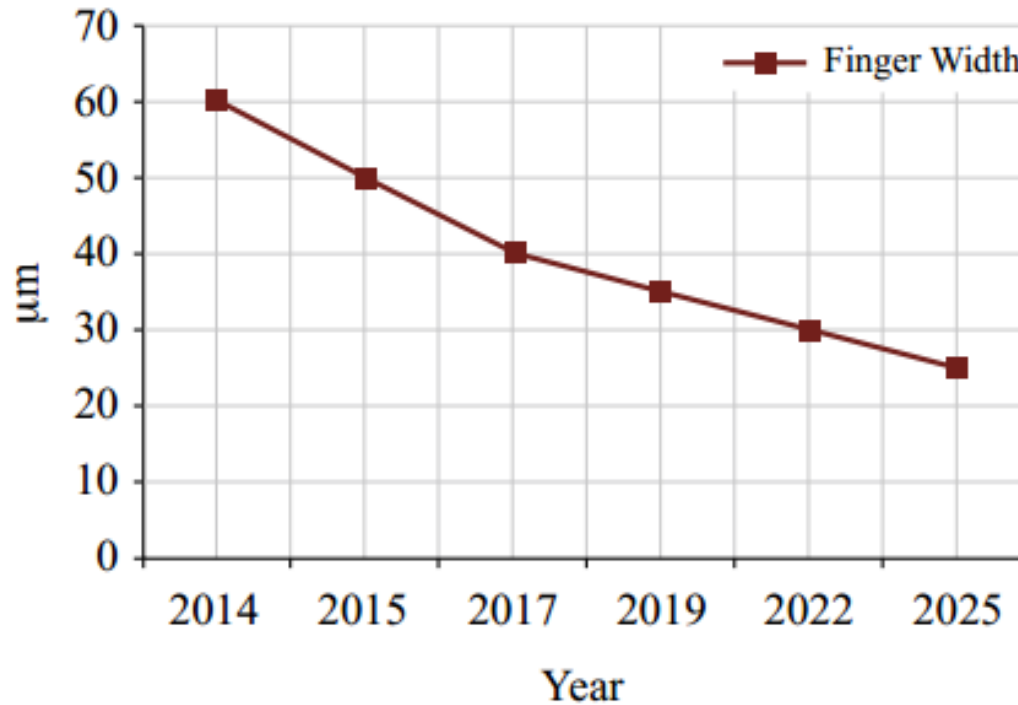
■ 網印順序

- Rear Busbar
- Rear Surface
- Front Busbar & Finger



網印製程趨勢

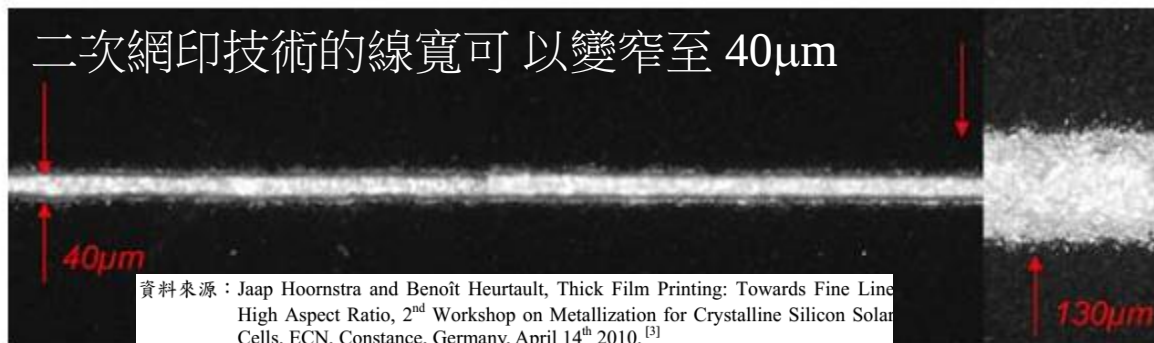
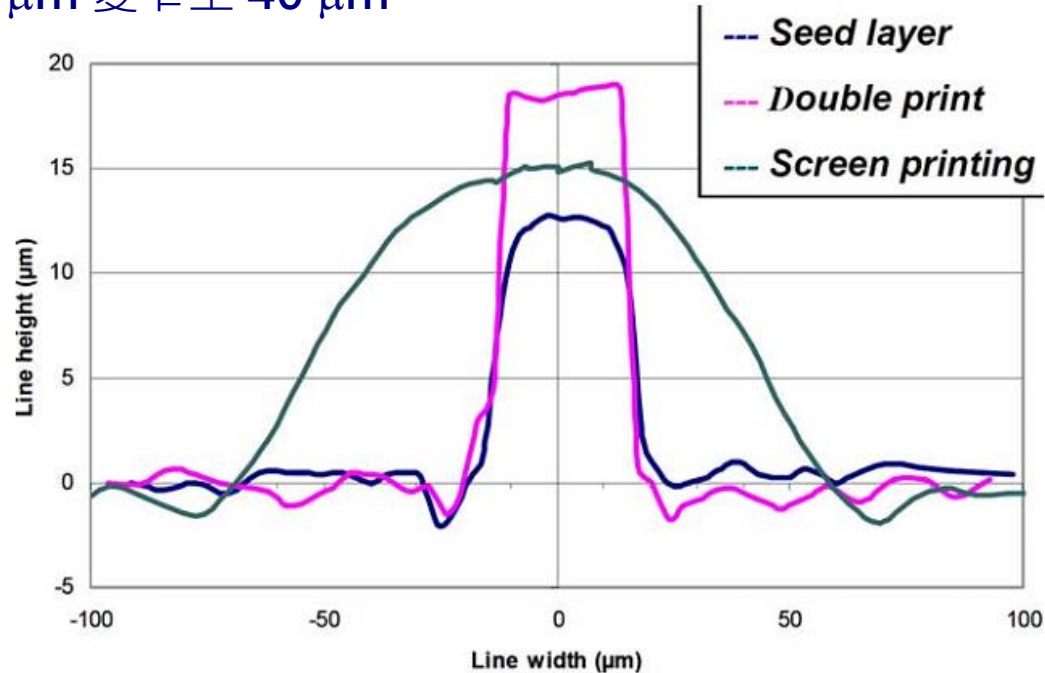
- 目前量產之太陽電池，其正面柵線寬度約為50 ~ 60 μm ，預估在2022年降低至30 μm



資料來源：ITRPV (2015)

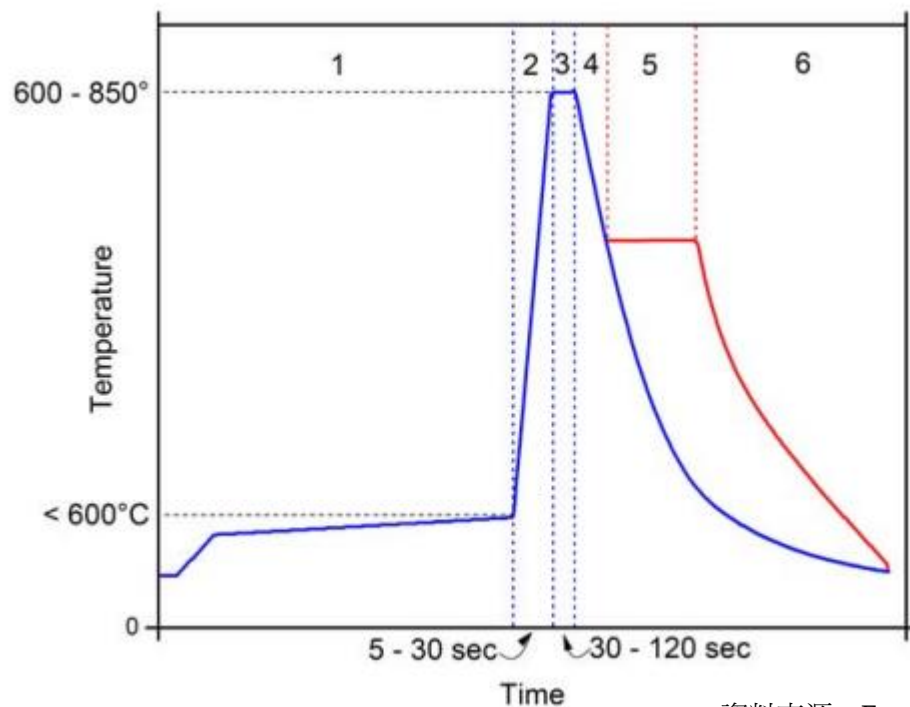
二次網印技術

- 如果要將線寬變窄，可以使用二次網印(Double Printing 或稱為 Print-on-Print)的技術
- 太陽電池二次網印與一般網印導線的線寬比較圖與實際線路對比相片，線寬可以由 $130\text{ }\mu\text{m}$ 變窄至 $40\text{ }\mu\text{m}$



典型的太陽電池用導電膠燒成曲線

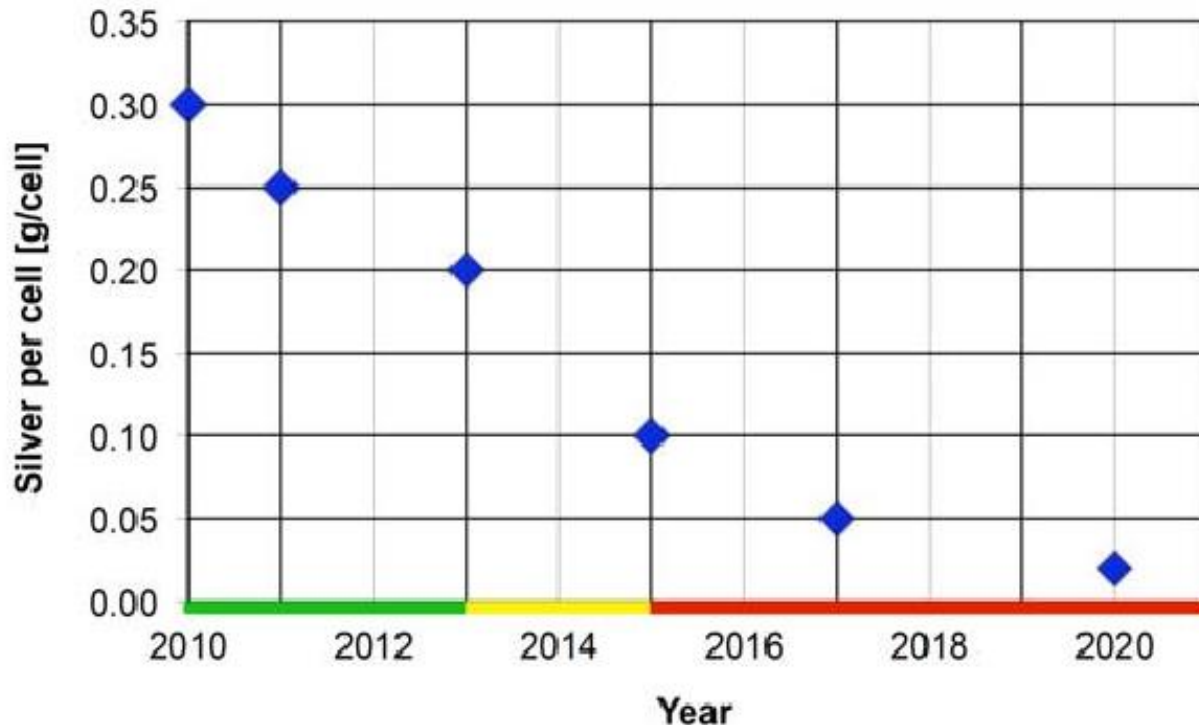
- 一般典型的太陽電池用導電膠燒成曲線，印刷的導線約在 $> 150^{\circ}\text{C}$ 的溫度乾燥，以除去有機溶劑，然後再將溫度緩慢升高至 600°C 過程中，必須將所有的有機黏結劑燒除，燒除的條件則依導電膠的配方而定。
- 當溫度由 600°C 升至 850°C 的時間僅約 10-20 秒，在此升溫階段，金屬與矽晶會形成接面(Contact)，而玻璃的成份可以幫助金屬的燒結更緻密，燒成的溫度設定，亦與玻璃的成份息息相關。



太陽電池導電膠的共燒(**Co-firing**)時間-溫度曲線：**1.有機物燒除(Burn-out); 2.升溫(Ramp-up); 3.高峰溫度(Peak); 4.降溫(Ramp-down); 5.保溫階段(Tempering step); 6.冷卻(Cooling).**

銅(Cu)替代銀(Ag)技術需求

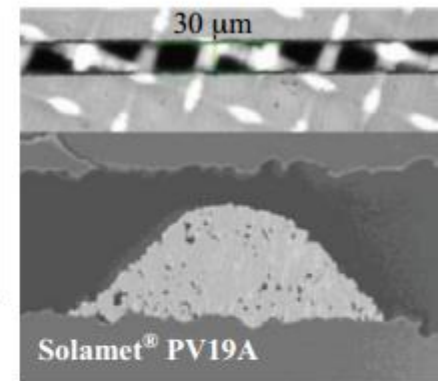
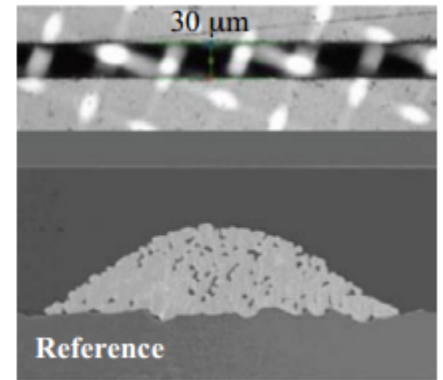
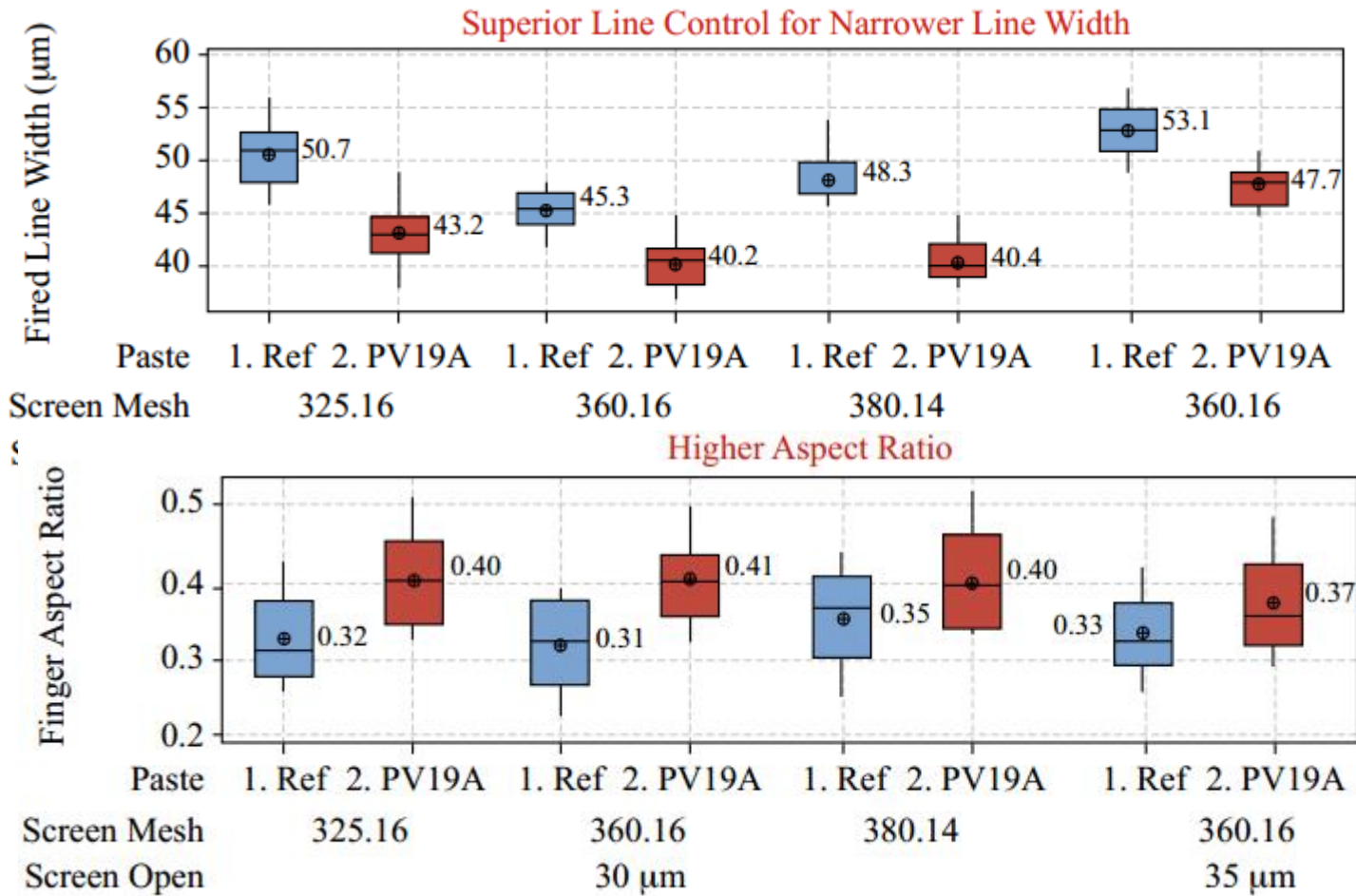
- 每片太陽電池所需銀料的使用量必須降低，以利降低太陽電池的製造成本
- 以銅製程而言，在燒結時必須使用惰性氣氛來保護，以防止銅的氧化，使得電阻率不至於上升；如此對於太陽電池製造業者的標準作業必須變更為「氮氣燒結製程」



生產每片太陽電池所需銀料的重量變化，**2015** 年技術將以銅(Cu)替代銀

資料來源：International Technology Roadmap for Photovoltaics Results 2010, 2nd Edition, March 2011.

不同銀漿之柵線寬及深寬比較



Excellent fine line aspect ratio to sustain fill factor and gridline conductivity

太陽電池電極柵線細化、多柵線趨勢

- 2013年晶澳太陽能、中利騰輝、尚德電力、力諾太陽能、中電太陽能等業界知名太陽能公司紛紛推出了**四主柵、五主柵**電池及元件。其中力諾太陽能自行設計、開發的四主柵電池片，主流檔位元封裝元件功率達到253.7W。
- 通過在電池正面採用四條主柵線，力諾太陽能稱其四柵線電池的填充因數較三柵線電池**提高1%**以上，有效降低元件總電阻損耗。元件封裝後250W元件的比例提高到60%以上。除此外，力諾還宣佈目前五柵電池正在研發中，預計很快將進入小批量實驗下線。
- 2009年三菱電機推出了四主柵，元件效率達15.4-16%，單晶為16%。日本京瓷也開發了三主柵電池片，並申請獲得日本政府頒發的專利，這為進入日本市場的太陽能製造商埋下了專利壁壘。
- 在太陽能多晶電池技術中，早些年線寬要印到120-130 μm ，電池效率僅在14%左右，通過導電漿料與印刷技術的進一步開發，在過去兩年裡一些品牌銀漿可以做到細線印刷，線寬僅50 μm ，且效率可達到17%以上。

柵線細化、多柵線技術困難點

1. 減少絲網印刷柵線寬度儘管有助於減少遮蔽帶來的損失，但卻會導致柵線線阻更高，
2. 為減小由於正面柵線條數增加引起的正面電極的遮蔽效應，需要採用阻擋板、銀漿微加熱等技術解決了細柵線印刷問題，減小正面遮光面積。
3. 二次印刷技術，在電池片上需要刷兩次導電銀漿，要求對準精確，這些都需要絲網印刷、燒結爐等設備與漿料更好的相容配合。

銀漿材料發展趨勢 銀耗量減少

- 從2009年的0.30g到2013年的0.13g，五年期間單位銀耗量降低了0.17g，是持續下降的趨勢。雖然下降但銀漿價格同樣存在不穩定性，還取決於銀價，白銀的價格通常隨當年市場及需求價格出現波動，這需要漿料供應商及電池廠商保持對白銀的市場觀察，以做出正確合理的判斷。
- 為了更快的降低成本，有人提出刻槽埋柵、鐳射SE、局部背場以及新南威爾士的電鍍技術，甚至提出取代銀漿，實現正面無銀的猜想。以電鍍為例，它是用含銀的電鍍液，選擇現在流行的Ni/Cu/Ag三層度，成本比較划算，一般是鎳、銅、銀三層，在這個架構上，銀的份量減輕了，而銅比銀便宜很多；還有只用鎳和銅的，在價格上就拉開了差距，差三分之一到四分之一的價格，當中就是銅價和銀價的差額。DEK公司最近給出一份研究結果：電池效率提高，加上正面漿料減少40%，這對於眾多太陽能電池製造商而言是一個現實的前景。
- 鑒於降成本的考量與技術的改進，未來幾年減少原材料用量的趨勢還將持續，到2015年，太陽電池用矽量將減少至6.0-8.0g/wp，而電池銀耗量將降低為0.09g，電池的厚度也將變薄二。

Thanks for your attention!