

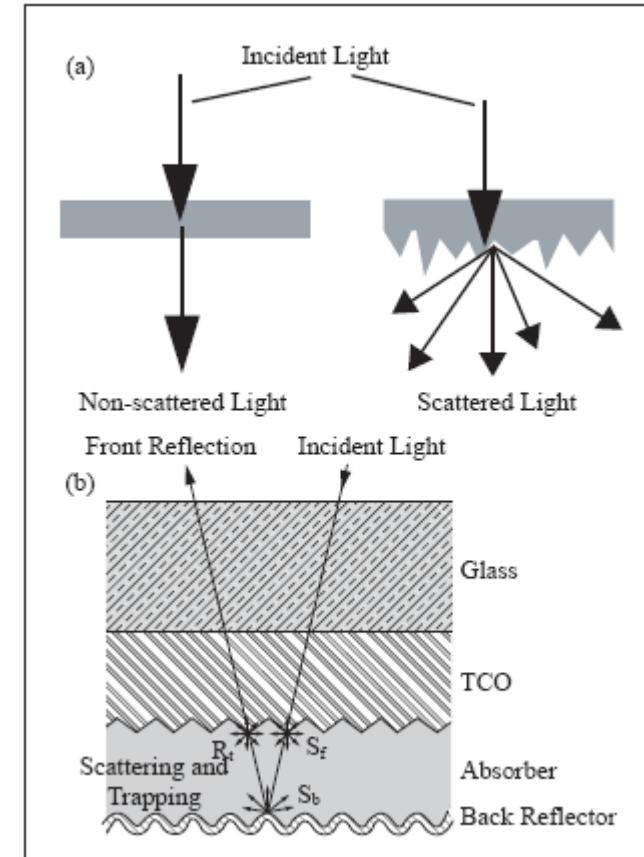
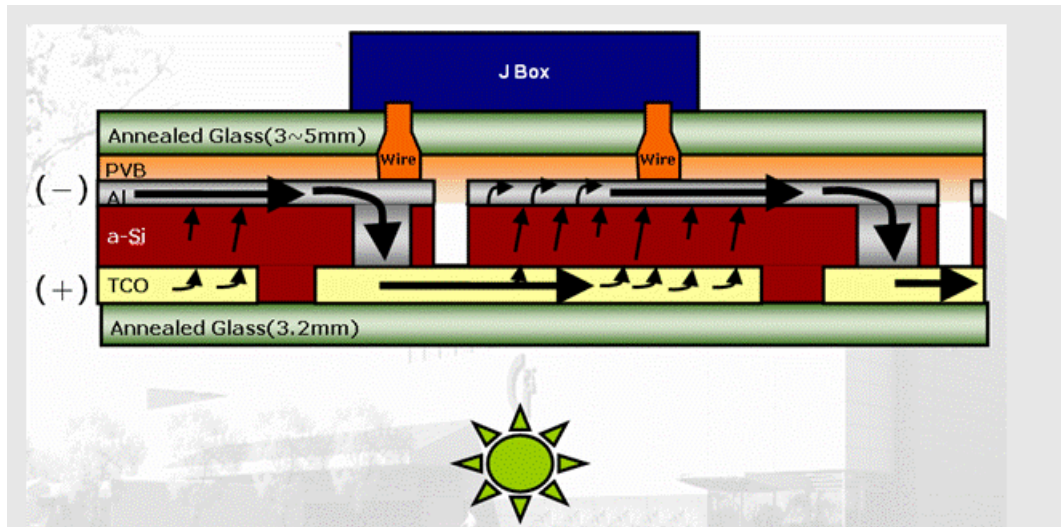
透明導電膜在太陽能電池 元件的技術發展

金屬中心

透明導電膜在太陽能電池元件的技術發展

太陽能電池用透明導電膜條件

- 光學性質：光譜在350~1100 nm，穿透率>80% (for $\mu\text{c-Si}$)，吸收率<7%。
- 折射係數須能和玻璃與Si層匹配，透明導電膜於空氣與矽薄膜之間折射係數約為1.8~2。
- 表面粗糙度大約為RMS: 50~200 nm。
- 電學性質：片電阻盡可能小於 $<10 \Omega/\text{sq}$ 。
- 安定的化學性質。
- 無毒性且便宜的材料。

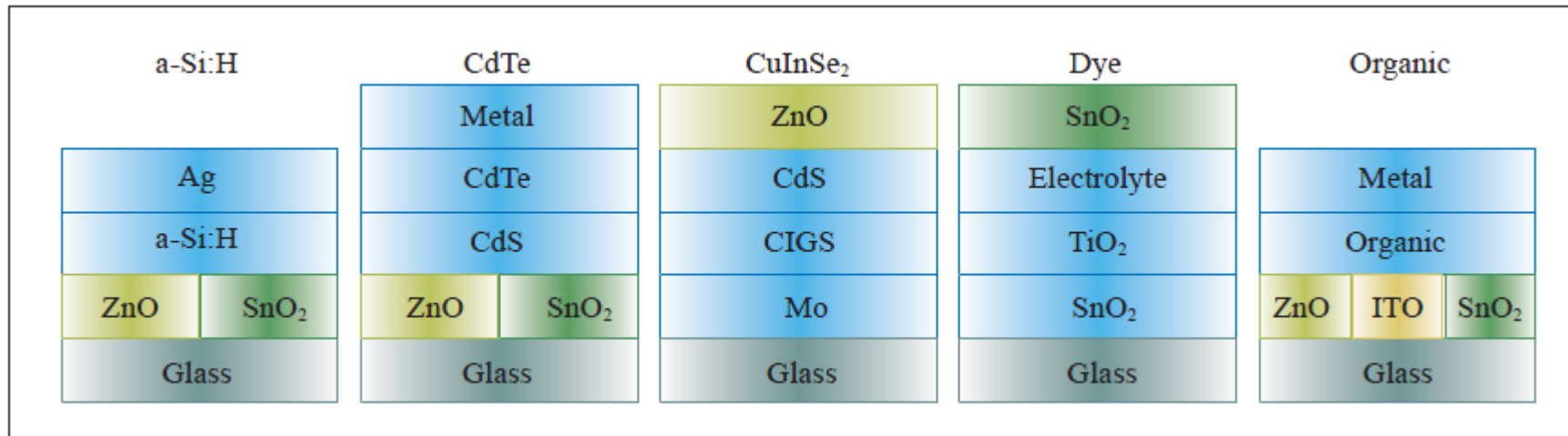


具有Texture之透明導電膜，
可明顯增加短路電流密度(J_{sc})

透明導電膜在太陽能電池元件的技術發展

應用例 (太陽能電池Solar cell)

- 目前最常見之薄膜太陽電池如圖所示，**無論是任何一種薄膜太陽電池，均需透明導電電極做為透光傳導層;**
- 而各式薄膜太陽電池在選擇透明電極時所考量的需求不外乎**透光性、導電性與穩定性;**
- 依照上述需求彙整後，目前可以選擇的透明導電材料有**氧化錫與氧化鋅**兩個材料系統。



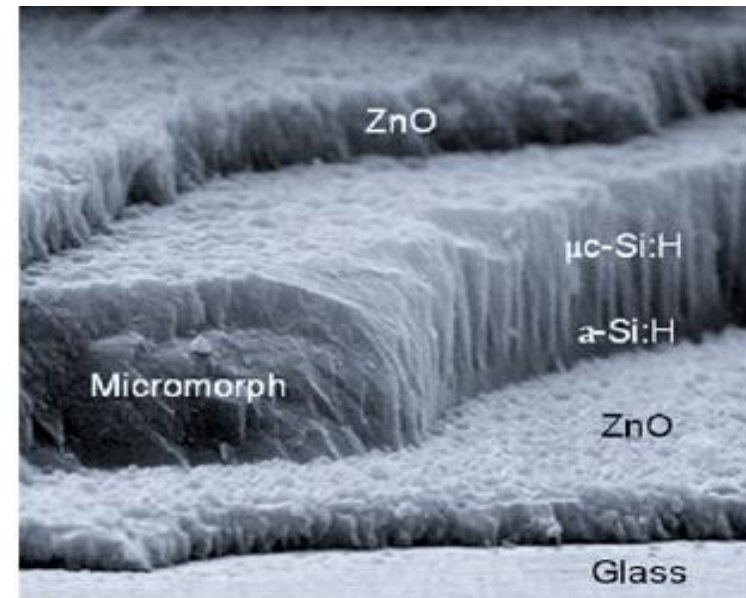
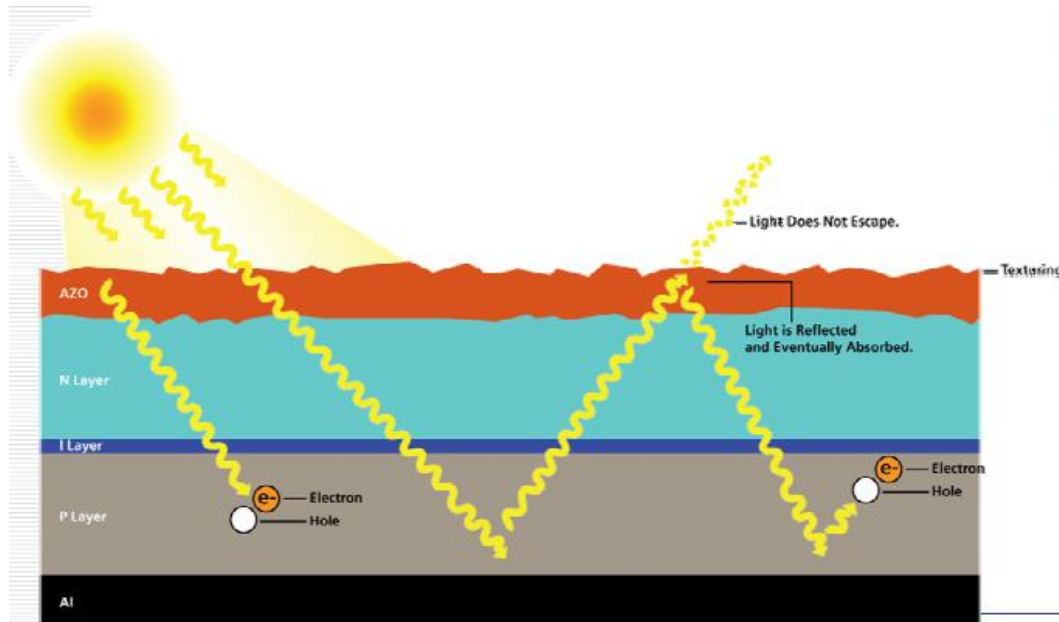
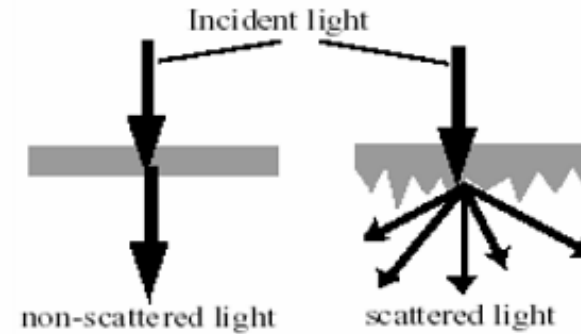
透明導電薄膜在各式薄膜太陽電池之應用

透明導電膜在太陽能電池元件的技術發展

應用例 (矽薄膜太陽能電池)

透明導電氧化物薄膜於太陽能電池中，其功用是

- 1.作為一個輸出電極，電極的電阻又與串聯電阻 R_s 損失 (短路電流密度) 直接相關
- 2.其透光性與光滯留(Light Trapping)的效果會影響轉換效率，因此透明電極扮演著重要的角色。



透明導電膜在太陽能電池元件的技術發展

三、薄膜太陽電池用透明導電膜之特性要求

(一)、薄膜矽系太陽電池用透明導電膜性能

- 此構造有3 種主要效果：

1. **光取入效果**：凹凸的大小為光波長的數分之一以下，類似折射率的傾斜結構，在電池層的界面產生防止反射的效應，可抑制反射損失；
2. **光散射效應**：透明導電膜若能使光散射，等同於電池層內的光路長度變長，相同膜厚的光吸收量可以增加，內部電場一面被維持住，一面又可增加載子流(Carrier)的發生量，結果提升了轉換效率。而且作為p-i-n 結構的i 層薄膜化，對生產性提升貢獻很大，因此散光特性對薄膜矽太陽電池來說，非常重要。
3. **光封入效應**：通電電池層的光，經由裏面電極反射，再度通過i 層而被吸收，回到透明導電膜界面的光，部分經全反射又進入到電池層。

透明導電膜在太陽能電池元件的技術發展

三、薄膜太陽電池用透明導電膜之特性要求

(一)、薄膜矽系太陽電池用透明導電膜性能

- 薄膜系用透明導電膜已商品化的是利用熱CVD 法摻雜氟而成氧化錫($\text{SnO}_2 : \text{F}$)；最近歐洲方面嘗試將ZnO 系透明導電膜商品化。
- 三洋電機於2009 年5 月發表，該公司的HIT(Heterojunction with Intrinsic Thin layer)太陽電池(微晶矽/非晶矽薄膜形成的混成型太陽電池)的研究成果已突破23%。HIT 太陽電池的課題，在於單晶矽的表面與裡面被覆非晶矽層以及透明導電膜的光吸收損失的改善。
- 成功關鍵在於HIT 太陽電池非晶矽層的短波長的光與透明導電膜層的長波的光之光吸收損失降低，使短路電流 I_{sc} 由 $39.2\text{mA}/\text{cm}^2$ 提升為 $39.5\text{mA}/\text{cm}^2$ ；另一方面，對發電的電流集合起來送至外部的柵電極(Grid)的電極材料，進行低電阻化並改良印刷技術，實現高對比化(曲線因子由0.791→0.80)的結果。

透明導電膜在太陽能電池元件的技術發展

三、薄膜太陽電池用透明導電膜之特性要求

(二)、CIGS 用透明導電膜之特性要求

- CIGS 薄膜太陽電池中擔任「入射光之窗」與「上部電極」二種功能的是 n型ZnO 透明導電膜，其所要求的特性為在光學上具大的透光率(可說是當作窗層的要求特性)、電性上之片電阻率必須低，同時移動度要大，不會阻礙 p 型CIGS 系光吸收層產生的光電流的流動(亦即當作電極的要求項目)。
- 而且上述兩項屬於相反的特性，也就是為了下降電阻率必須提高摻雜率，而摻雜量增加後膜會被著色，導致透光率下降。
- 目前CIGS 系薄膜太陽電池的透明導電膜窗層的情形，已經統一採用 n 型ZnO 膜。但是站在提升太陽電池轉換效率(或高效率化)的觀點，透明導電膜被要求下列4項：
 1. 具最適光吸收層的 Band Gap 構造
 2. 為最適高電阻緩衝層的材質
 3. 具 Interconnect 的集積型構造
 4. 量產性優

透明導電膜在太陽能電池元件的技術發展

三、薄膜太陽電池用透明導電膜之特性要求

(二)、CIGS 用透明導電膜之特性要求

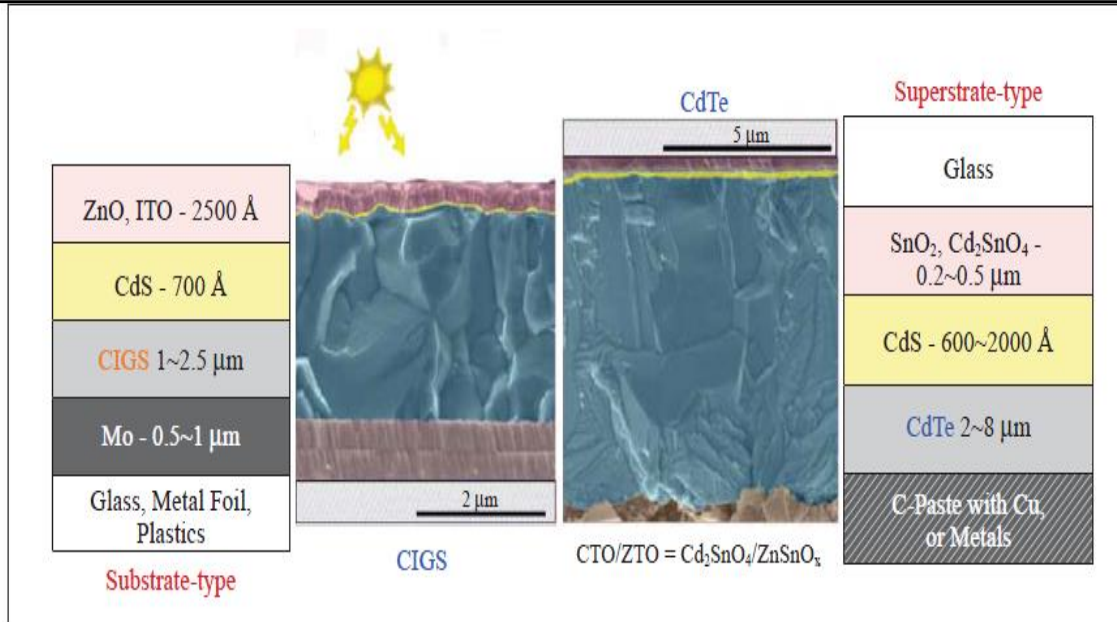
- 出光興產於2009 年3 月發佈，將該公司開發用於液晶面板、OLED 用透明電極材料 IZO，開始供給CIGS 太陽電池使用。
- IZO 為Indium Zinc Oxide；為日本出光興產所開發透明導電膜材料；CIGS太陽電池現在大都使用氧化鋅系透明電極材料，在CIGS 層之上形成薄膜。
- 住友金屬公司曾展示四系列之太陽電池用之透明導電膜靶材：ITiO、XZO、InXO 及CIGS 用靶材。優點為具高透光率、低電阻、CIGS 太陽電池可用、使用低成本之材料，其功能如ITiO 在紅外線區之光透過率比ITO 高，表面電阻值可達 $1\sim 2\times 10^{-4}\Omega\cdot\text{cm}$ ；XZO 之特點為弧電現象及顆粒產生都比較少，且用X 之含量可控制紅外線區之光透過率；IXO 之特點為在可見光區之光透過率比ITO高，X 含量超過80 atomic %時之光透過率 $>80\%$ ，IXO/Ag/IXO 之低片電阻 $\sim 10\Omega/\text{square}$ 。而CIGS 太陽電池用之透明電極則以ZnO 及 In_2O_3 based 為主。

透明導電膜在太陽能電池元件的技術發展

應用例(CIGS)

- 在銅銦鎳碲太陽電池中，以CIGS 為主要光吸收層，其中改變鎳與銦的比例可以調整光吸收之光譜位置，**透明導電薄膜層**位於n 型硫化鎘材料之上。
- 在高效率的CIGS 元件中，大多使用**雙層TCO 結構**，第一層為無摻雜氧化鋅薄膜(ZnO)成長在硫化鎘薄膜上後，再製作高導電的鋁摻雜氧化鋅膜層，此結構之TCO 薄膜需將沉積溫度控制在**200°C** 或更低，為避免高溫導致CIGS 與CdS 介面間的材料劣化，所以目前幾乎都以真空濺鍍之AZO 薄膜做為此透明電極層。

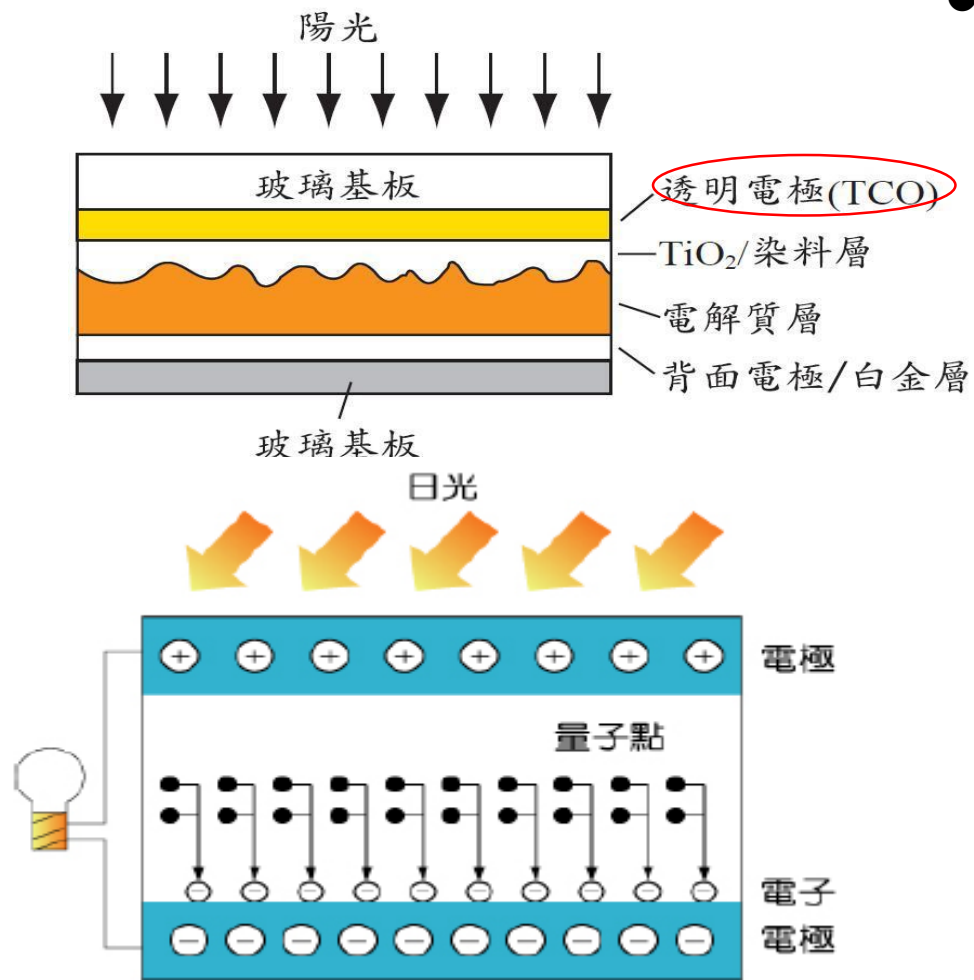
化合物半導體薄膜太陽電池為CIGS 與CdTe 太陽電池結構



- CdTe 薄膜太陽電池的製程大多以TCO 玻璃做為起始點，依序沉積CdS、CdTe 與金屬背向電極，
- 而此製程可以容許高溫製作之TCO 膜層，所以著眼於元件的穩定性，
- 許多CdTe 太陽電池標準製程均以FTO 薄膜做為此元件之TCO。

透明導電膜在太陽能電池元件的技術發展

應用例 (DSSC)



利用量子點放出電子的性質發電

資料來源：日經產業新聞 2009.5.20

- FTO製備過程表面已具有不規則凹凸結構(Texture)，抗氫氣電漿還原性也不錯。



透明導電膜在太陽能電池元件的技術發展

太陽能電池用透明導電膜材料

太陽能電池類型	透明導電材料	
矽薄膜太陽能電池	■ 氧化錫摻氟(FTO) ■ 氧化鋅摻鋁(AZO)	■ FTO製備過程表面已具有不規則凹凸結構(Texture)，抗氫氣電漿還原性也不錯。 ■ <u>AZO近年來已陸續開發出同樣具有凹凸結構(Texture)，抗氫氣電漿還原性更勝FTO。</u>
化合物半導體太陽能電池	■ 氧化鋅(ZnO) ■ 氧化鋅摻鋁(AZO) ■ 氧化錫摻氟(FTO)	■ CIGS元件大多使用<u>ZnO/AZO雙層</u>結構，可將沉積溫度控制於200°C或更低，目的為了避免高溫導致CIGS 與CdS 介面間的材料劣化。 ■ CdTe元件可容許高溫製作之TCO 膜層，所以著眼於元件的穩定性，許多CdTe 太陽電池標準製程均以FTO 薄膜做為此元件之TCO。
染料敏化太陽能電池	■ 氧化錫摻氟(FTO) ■ 氧化錫摻銻(ATO)	■ AZO耐酸性差不適用強酸性製程。<u>FTO製備過程表面已具有不規則凹凸結構(Texture)，抗氫氣電漿還原性也不錯。</u> ■ 染料敏化太陽能電池具之TiO₂ 漿料具有強酸性問題。 ■ ITO與AZO 材料在製程溫度高於350°C 後，其薄膜之片電阻值會急速飆升數百歐姆。