

電漿退火處理之光伏導帶的金相觀察及可靠度分析

Microstructure Observation and Reliability Analysis of the Plasma Annealing
Photovoltaic Ribbon

*陳郁雯、洪飛義、呂傳盛、陳立輝

*Yu-Wen Chen、Fei-Yi Hung、Truan-Sheng Lui、Li-Hui Chen

國立成功大學 材料科學及工程學系

摘要

光伏導帶(Photovoltaic Ribbon)為銅帶浸鍍錫，常被應用於太陽能基板的串接線及匯流排，其中心銅帶的降伏強度會影響太陽能基板的破片率。電漿表面處理是一種較新的光伏導帶生產製程，可利用電漿清理中心銅帶的表面雜質及退火處理。本實驗比較電漿表面處理製成製造的光伏導帶之中心銅帶以及一般真空退火處理之銅帶金相，發現二者皆有退火雙晶產生，而電漿製程產出之銅帶的組織較不均勻。此外，藉由韋伯可靠度分析降伏強度，發現電漿製程產出之光伏導帶的降伏強度可靠度低。

Abstract

Photovoltaic Ribbon is solder-plated flat copper wire, which is used as cascaded wire in solar cell. The fragment of substrate is related to the yield stress of copper wire. Plasma surface treatment is a new production process of Photovoltaic Ribbon, which can clean the surface impurities and anneal. In this experiment, we compare the microstructure of two different processes: plasma surface treatment and vacuum annealing treatment. We can find annealing twins in both process, and the microstructure of wire is more inconsistent by the plasma treatment. We also find the reliability of yield stress of plasma treatment wire is low.

一、前言

Photovoltaic ribbon 譯為光伏導帶，也就是鍍錫銅帶，具有良好的銲接性與導電性，因此常被應用於太陽能電池中，作為串接矽基板並匯集電流的線材。其中使用的高導電銅帶在後續和矽基板銲接的製程中，因為材料熱膨脹係數的差異，將使基板受到熱應力而產生破片的可能，降低太陽能電池基板的良率，尤以太陽能電池基板薄型化為未來訴求，因此需要對基板產生較低熱應力影響的銅導帶⁽¹⁾。

目前產業界藉由銅導帶的降伏強度及延長率等機械性質來評估後續製程中導帶對基板產生的熱應力影響，降伏強度低的銅導帶對基板產生的熱應力較小⁽²⁾。高導電銅帶的機械性質和製程中經過的軋延及退火處理有莫大關係。在常溫軋延後會再進行退火藉以調控銅帶的降伏強度等機械性質，傳統上是以真空退火為主

流，也就是將經過常溫軋延的銅帶放入真空爐中加熱，藉以調控銅帶的機械性質。而電漿退火處理是一種較新的高導電銅帶製程，主要是利用電弧放電產生電漿轟擊銅帶表面，可以達到清理銅帶表面雜質及退火的功效。

同一種材料即使是在相同的製程設備及條件下產出，彼此間的性質仍存在一定的差異，因此可藉由工程統計的應用來描述材料的特性。而在工程統計應用上，很常使用材料可靠度來分析，材料可靠度是指材料在某一特定時間內或某一使用條件下未失效或者未破壞的機率，這意味著可藉由可靠度分析來預測材料在某種測試條件下發生破壞的程度⁽³⁾⁻⁽⁴⁾。本實驗中使用的統計分析方法為韋伯解析，以電漿退火銅帶的降伏強度作分析。

二、實驗方法與步驟

(一) 試片前處理

將直徑約 2mm 的銅棒在常溫下以軋延機軋延成 0.2mm x 2mm 的銅導帶，軋延比達 30%以上。

(二) 退火處理

將常溫軋延的銅導帶分別以電漿退火爐及真空加熱爐進行退火處理。根據前人研究，銅帶的再結晶溫度為 225°C，因此真空加熱的條件分別設定為 200、225、250、275、300、325°C，各加熱一個小時。

(三) 金相觀察及拉伸測試

將電漿退火及真空退火後的銅帶作拉伸測試及金相觀察。並將同樣電漿退火條件處理後的銅帶分為同捲及不同捲兩組，對其降伏強度作可靠度解析。

三、結果與討論

(一) 可靠度解析

將電漿退火銅帶分為同捲及不同捲兩組，並對其降伏強度作韋伯解析後的結果如 Fig. 1 所示。Fig. 1(a)顯示的是降伏強度的機率密度函數分布圖，機率密度函數 $f(x')$ (Probability Density function)代表的意義是在某個非常短暫的區間材料發生破壞的機率⁽⁴⁾，在本實驗中則是產出之銅帶的降伏強度分布的機率。如 Fig. 1(a)所示，同捲的降伏強度在機率密度函數 $f(x)$ 的分布上較為集中，顯示即使在相同生產條件下，同一捲的電漿退火銅帶其降伏強度等性質較不同捲的銅帶來得集中穩定。Fig. 1(b)為降伏強度的可靠度分布圖，可靠度 $R(x^*)$ (Reliability)代表的意思是材料從一開始 $x=0$ 一直使用到 $x=x^*$ 的狀況下，仍未發生破壞的機率⁽⁴⁾，由 Fig. 1(b)的分佈可看出，同軸的降伏強度可靠度較高。Fig. 1(c)則是降伏強度的破壞率分布圖，破壞率 $\lambda(x^*)$ (Failure Rate)的物理意義為在某個 x^* 情況的受測試片還未破壞的狀況下，其產生破壞的機率，也就是破壞的危險程度⁽⁴⁾，從 Fig. 1(c)可發現，不同軸的破壞率

分布廣，表示在產出的產品中較無法掌控不同批次銅帶其降伏強度的大小。

(二) 拉伸測試結果

銅導帶的拉伸測試數據結果如 Fig. 2 所示。Fig 2(a)為不同溫度的真空熱處理及電漿處理後的銅導帶的最大抗拉強度比較圖，Fig 2(b)則為降伏強度的比較圖。從 Fig. 2 可發現未熱處理過的銅母帶其最大抗拉強度及降伏強度皆遠大於真空熱處理及電漿處理後的銅導帶，而隨著真空熱處理溫度的升高，銅帶的最大抗拉強度及降伏強度也跟著下降。電漿處理後的銅導帶其降伏強度最低，但是最大抗拉強度卻高於其他真空熱處理後的銅導帶。

(三) 金相觀察結果

Fig. 3 為 325°C真空熱處理後的銅帶金相，Fig. 4 則為電漿處理後的銅帶金相。在兩種製程的金相觀察中可發現退火雙晶的存在，但形貌不盡相同，電漿退火處理的金相呈現明顯的板狀及樹枝狀雙晶，如 Fig. 4(a)所示。而真空熱處理後的銅帶晶粒較細小且一致，退火雙晶形貌也較圓鈍，如 Fig. 3(b)所示。

四、結論

根據韋伯解析分析電漿退火處理後的銅導帶結果，發現此製程產出之銅導帶降伏強度變動性高，在之後與矽基板接合應用上，可能因此較無法控制破片的發生而使太陽能電池基板良率下降。從拉伸測試結果可以發現，電漿退火製程產出之銅導帶在低降伏強度的要求下仍可維持一定的拉伸強度，有利於量產出較低降伏強度的產品銅帶。另外金相結果顯示電漿退火處理之銅帶含有大量的退火雙晶且組織較不均勻。

五、參考文獻

- (1) 周雅靜、陳興華、王正全，“太陽電池串接材料 PV Ribbon 製造方法簡介”，工業材料雜誌 285 期
- (2) Yuju Endo*、Takayuki Tsuji*、Hiroyuki Akutsu**、Takamitsu Kimura**、Katsunori Sawahata**、Hiroshi Bando**，“Development of Solder-Coated, Soft-Annealed Copper Flat Wire for Photovoltaic Systems”，HITACHI CABLE REVIEW No.26. Augst, 2007.
- (3) 王元亭，“放電結球細微銅導線抗拉強度之韋伯解析研究”，國立成功大學材料科學及工程學系碩士論文，民國94年
- (4) 林佳緯，“鋁-鎂合金摩擦攪拌點銲之組織特徵及拉剪破斷負荷研究”，國立成功大學材料科學及工程學系碩士論文，民國100年

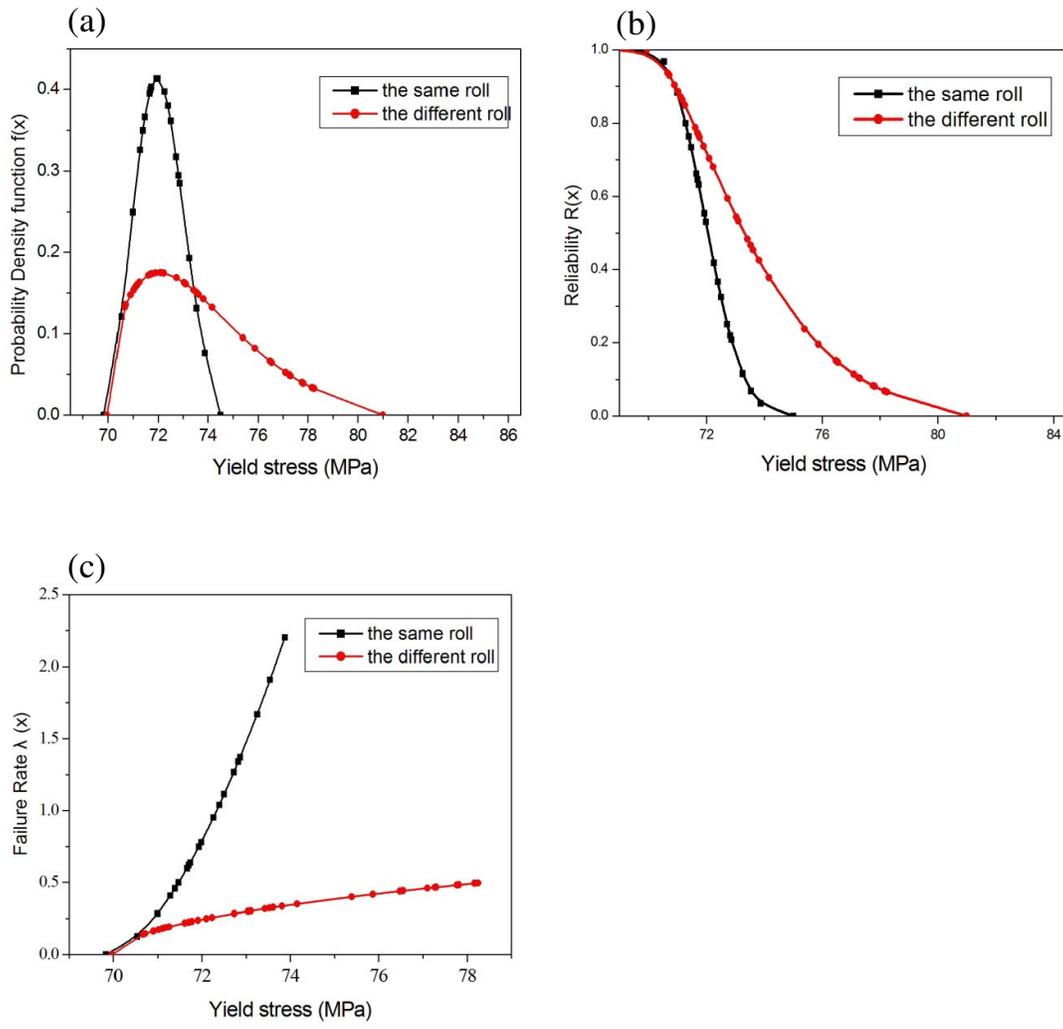


Fig. 1 (a) The probability density function curves about the yield stress
 (b) The reliability function curves about the yield stress
 (c) The failure rate function curves about the yield stress

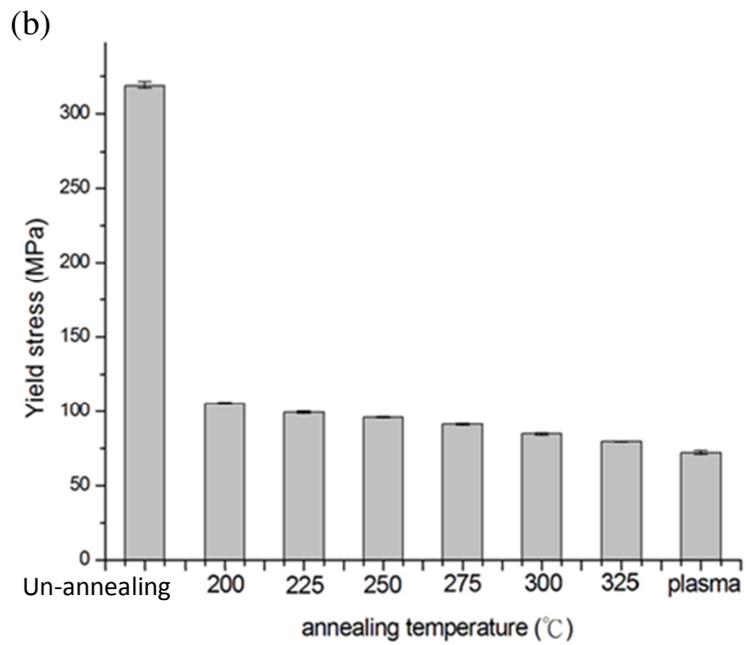
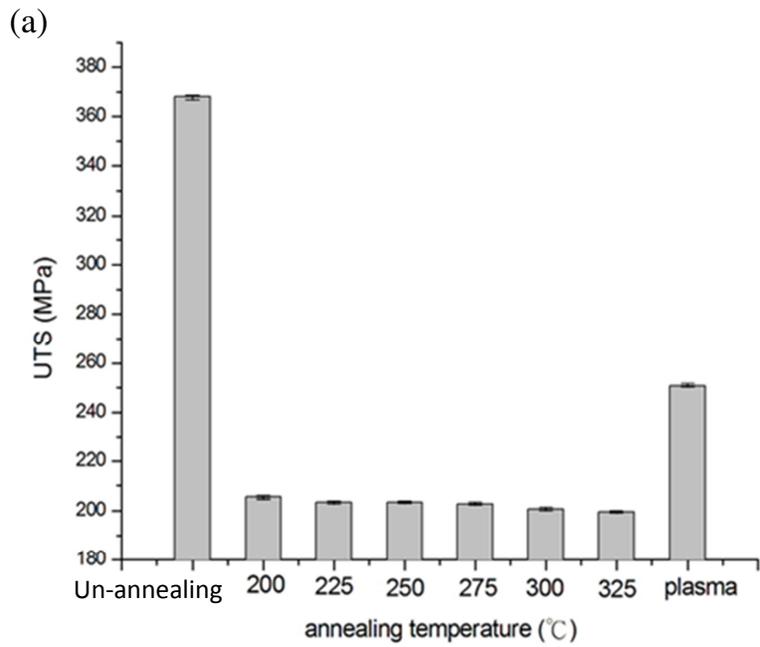


Fig. 2 (a) The ultimate tensile strength of copper wires
(b) The yield stress of copper wires

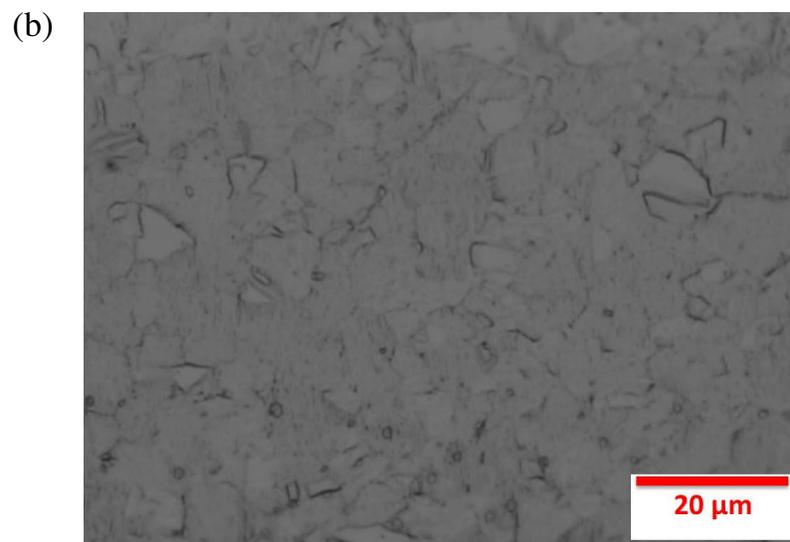
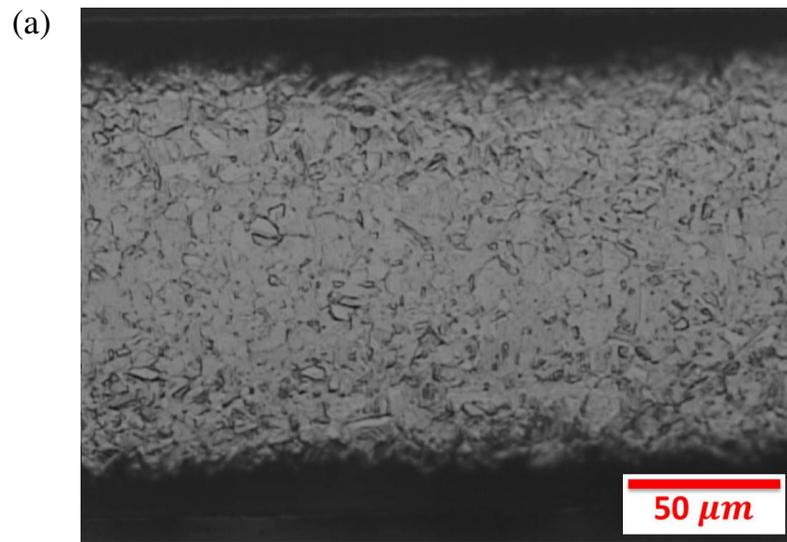


Fig. 3 (a), (b) The microstructure of copper wire by vacuum annealing treatment

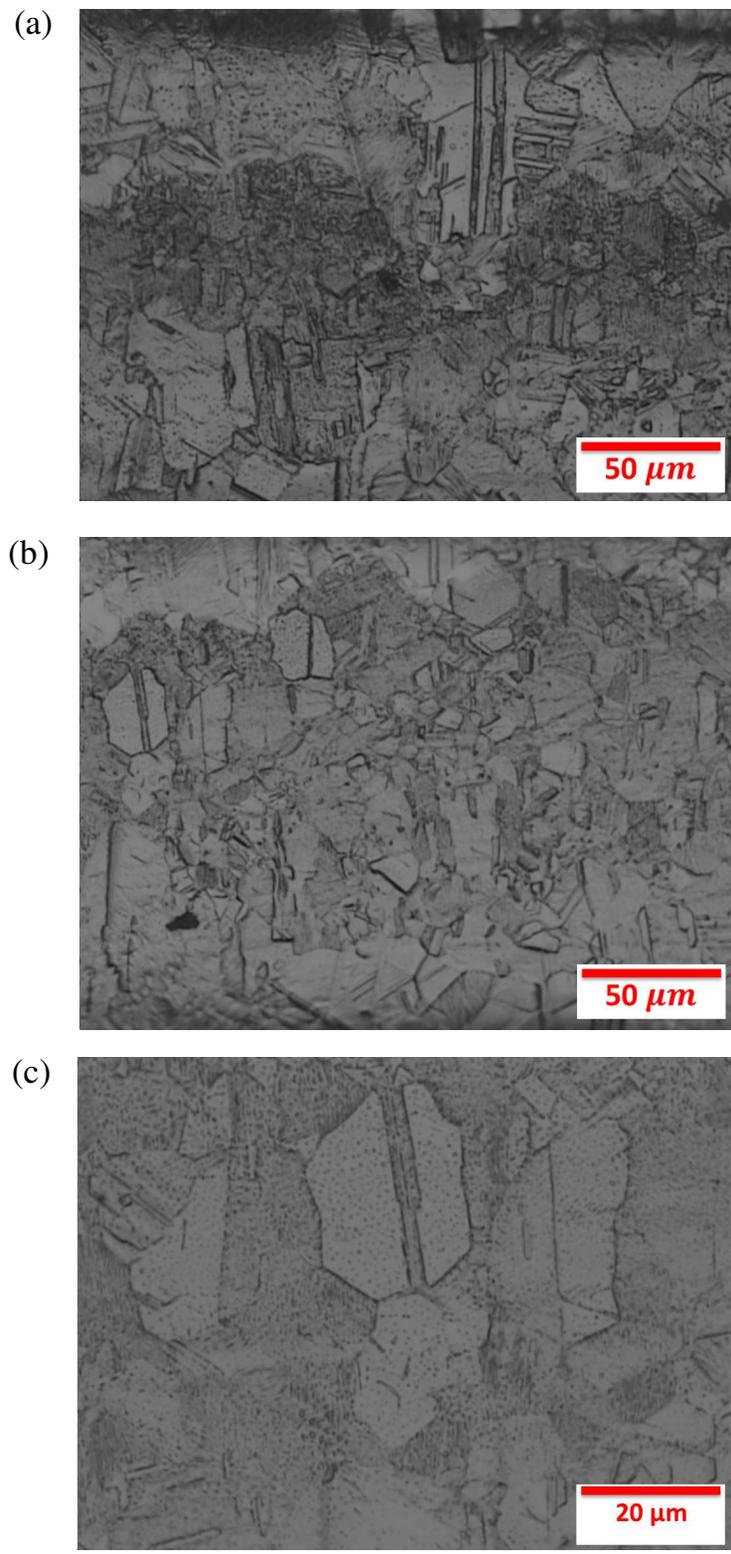


Fig. 4 (a), (b), (c) The microstructure of copper wire by plasma surface treatment