

三接面太陽能電池增加表面活化劑銻改善磷化銦鎵子電池磊晶層品質

Surfactant antimony to improve the quality of InGaP epitaxial layers of triple-junction solar cells

吳書緯^{1,a}, 童世昌², 黃文祥¹, 張榮庭¹, 張峻領¹, 楊智超¹, 楊秉棠¹, 吳志宏^{1b*}

¹ 行政院原子能委員會核能研究所, 龍潭, 台灣

¹ Institute of Nuclear Energy Research, P.O. Box 3-11, Lungtan, Taiwan, ROC

E-mail: ^{1a} moondeams@iner.gov.tw,

^{1b*} chung@iner.gov.tw

² 中原大學物理學系

² Department of Physics, Chung Yuan Christian University, Chung-Li 32023, Taiwan

E-mail: shihchang@cycu.org.tw

摘要

為了提升太陽能電池效率，改善太陽能電池的串聯電阻(R_s)、並聯電阻(R_{sh})是重要的課題。其中 OHKOUCHI 研究團隊^[1]提出使用金屬有機化合物化學氣相沉積(MOCVD)技術，成長磷化銦鎵 InGaP 磊晶層過程中添加銻(Sb)源當作表面活化劑使用，可以適當的減少 InGaP 磊晶層的有序性，可以適當的改變表面重構現象進而改善磊晶層的品質。研究團隊^{[1][2]}提出相關文獻，關於長晶過程中使用表面活化劑的材料對於降低表(接)面粗糙度^[1]，以及增加材料的高遷移率^[2]均有非常好的結果。因此我們團隊在此篇報告中特別針對三接面太陽能電池中，改善子電池 InGaP 磊晶層界面間的品質提出改善的討論。在結論方面，實驗結果與文獻^{[1][2]}相符，特別對於電性量測方面，具有非常良好的改善情況。
關鍵字詞：金屬有機化合物化學氣相沉積技術、磷化銦鎵、三接面太陽能電池。

In order to obtain the increase of solar cell efficiency, how to further improve the series resistance (R_s) as well as the shunt resistance (R_{sh}) of solar cells has become the critical issue. The OHKOUCHI research group^[1] has shown the advantage of using antimony (Sb) in the MOCVD epitaxial growth technique to reduce the CuPt-B ordering of GaInP epilayer and change the surface reconstruction phenomena for improving the epilayer quality. In addition, the effects of applying surfactant material during the epitaxial growth to decrease the surface roughness and increase the carrier mobility have also been reported^[1,2]. In this report, the application of surfactant material Sb is adopted in the GaInP epitaxial layers grown by MOCVD to study its effects on the solar cell performance, in which the GaInP/GaAs/Ge triple-junction solar cells are epitaxially grown, device processed and characterized, and are compared with those having no surfactant material added. From the measured results, the improvements of solar cell performance are consistent with those reported previously; and particularly, the electrical property improvements including the solar cell efficiency, R_s and R_{sh} are significant. More details will be discussed and outlined in this report.

Keywords: metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD)、InGaP、triple-junction solar cell.

1. 前言

在太陽能電池的發展中，美商 Solar Junction 在 2012 年 10 月打破自己締造的太陽能轉換效率，並提升至 44% 高轉換效率的磷化銦鎵/砷化銦鎵/鍺三接面太陽能電池 (InGaP/InGaAs/Ge triple junction solar cell；此後；InGaP /InGaAs/Ge) 引起綠色能源發展團隊相當的矚目。核能研究所亦在近 2 年投入單、多層太陽能電池研究；特別在三接面太陽能電池的複雜結構中，在此篇文章探討中我們特別針對 InGaP 子電池層作一研究。

InGaP 存在著有序/無序排列結構的問題，這會使其能隙大小產生變化。完美的有序結構是指磷化銦鎵晶層由 In 與 Ga 原子平面在 {111} 的方向上規律地交替組成，則此時磷 InGaP 的能隙最小^[3]。而傳統上，改變 InGaP 有序度的方法有改變基板偏斜角度、改變基板溫度、改變長晶速率、改變化學當量比^[4-6]。而在本篇中，我們則是參考了^[6]的方法，在 InGaP 晶層中加入極微量的銻(V/Sb = 1.142×10^{-3}) 當作表面活化劑，藉此達成 InGaP 晶層在改變有序度之前，討論其晶層品質對於整體元件的光電特性。

2. 主要內容

根據文獻^[4-6]指出，添加一定量的表面活化劑 Sb 後，由於減少了 CuPt-B 的有序性，因此會有螢光位置紅移的現象，在我們的樣品中，添加表面活化劑前後分別為 694nm 及 697nm 而有 3nm 的差異性浮現，如圖 1 所示，但由於 3nm 的差異性並不足以證明為 CuPt-B 有序性減少的效果；因此我們為了更確認 CuPt-B 的有序性，引用文獻^[6]所使用的 TED(transmission electron diffraction)量測方式判斷之。

在圖 2TEM 中，選一區域做一 TED 的繞射實驗如圖 3，明顯的看到在添加表面活化劑前後在原晶格 superspot 點之外，在圖 3(B) 中更看到清晰且位於原本繞射點之外多出的 superspot，在文獻^[6]中更直指此清晰且強度較強的 superspot 為規律的閃鋅礦結構下的繞射

點，此清晰且強度較強的 superspots 更意旨樣品 B 具有更有序的 CuPt-B 有序性。因此也利用 TED 的結果，得知樣品 B 的 CuPt-B 有序性的增加，因此圖 1 中螢光發光位置也因 CuPt-B 有序性的增加而紅移，也是可以預期的結果。

在 110 個太陽數照光下，我們分別量到添加一定量的表面活化劑 Sb 前後的電流-電壓圖，如圖 4 所示，其電流-電壓結果整理在列表 1 中。

2.1 圖表及公式

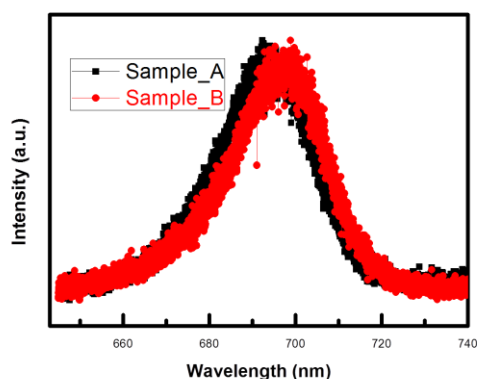
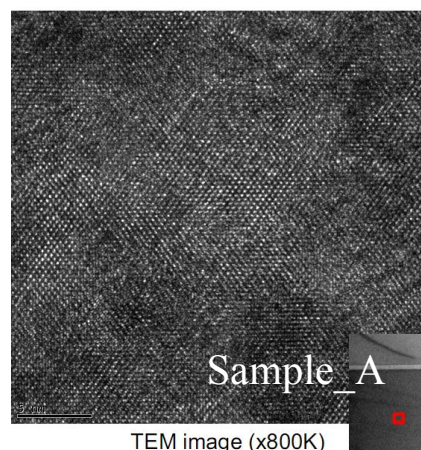


圖 1. InGaP 子電池層添加表面活化劑前 (Sample_A) 後 (Sample_B) 的螢光位置。



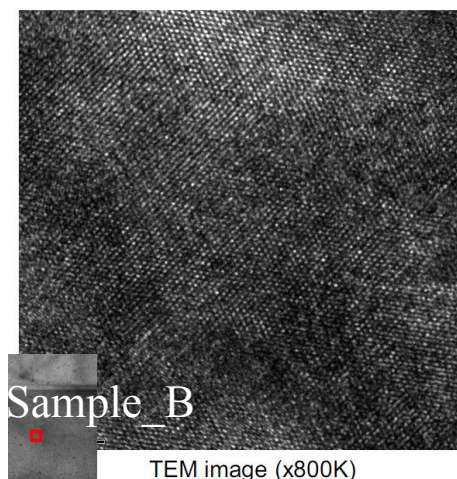


圖 2. InGaP 子電池基層(Base Layer)的 HRTEM; 標準規格成長(Sample_A)及成長過程中額外添加表面活化劑 Sb(Sample_B)。

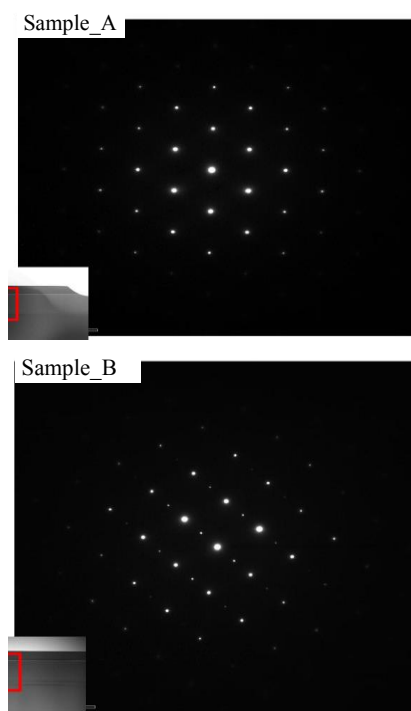


圖 3. InGaP 子電池基層(Base Layer)的 TED, (transmission electron diffraction); 標準規格成長及成長過程中額外添加表面活化劑 Sb 後的樣品分別表示成 Sample_A、Sample_B。

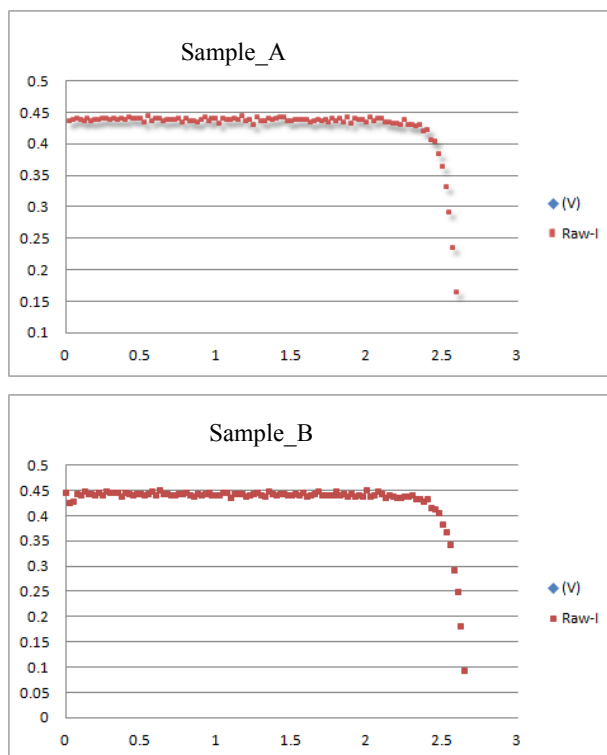


圖 4. Sample_A、Sample_B 分別表示 InGaP 子電池層添加表面活化劑前後，三接面太陽能電池 (InGaP/InGaAs/Ge) 照光電流-電壓實驗量測數據。照光強度為 110 個太陽數(Wacom solar simulator)。

表 1. Sample_A、Sample_B 分別表示子電池 InGaP 層添加表面活化劑前後；在 110 個太陽數環境下，量測三接面太陽能電池 (InGaP/InGaAs/Ge) 照光電流-電壓實驗各項數據整理列表。

Test No	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	J_{sc} (A/m ²)	V_m	I_m	P_m	FF	Eff (%)	R_s (ohm)	R_{sh} (ohm)
Sample_A	2.507	0.420	13882	2.230	0.398	0.928	0.828	24.79	0.42	834
Sample_B	2.653	0.443	14645	2.379	0.429	1.019	0.867	28.40	0.29	2199

3. 結果與討論

如列表 1 所示，在添加少量的表面活化劑 Sb 後，改善 InGaP 子電池層在三接面太陽能電池元件中的電性優異貢獻，與文獻^[6]中指出，添加適量的表面活化劑 Sb 將改善 InGaP 磊晶層的品質等結論相互呼應，也因此我們團隊提出此效果應用在元件中，對於電學特性方面可以表現出非常優異的電學特性參數，如 V_{oc} 值的增加。

在此我們猜測由於添加表面活化劑後，由於

晶格排列更趨於有序性，而導致載子散射時間勢必增長，如載子散射長度 L_n 公式所示

$$L_n = \sqrt{D \times \tau_n}$$

其中 D 為載子擴散係數、 τ_n 為載子散射時間，因此可以推論在載子散射長度增長的情況下， J_{sc} 將因此收集到更多載子的情況下增加。

4. 結論

最後結論方面，使用 MOCVD 技術成長 InGaP 磊晶層過程中添加 Sb 源當作表面活化劑使用，由 TED 圖判斷 Sb 加入所導致的 CuPt-B 有序性增加；在三界面太陽能電池元件電性量測方面均表現出非常優異的電學特性參數，其中對於界面及磊晶層品質較敏感的 R_s 提升 30% (0.42 到 0.29)、 R_{sh} 提升 163% (835 到 2199)；對於開路電壓 V_{oc} 則提升 5.8%、開路電流提升 J_{sc} 5.5%；進而在轉換效率(Eff) 大幅提升 14.6% 的電性。相關研究也會在獲得更多資訊後繼續實驗及驗證，相關研究結果會繼續提出。

5. 誌謝

本文作者們感謝核能研究所的支持與眾長官的鼓勵，使本實驗得以順利進行，特此致上感

謝之意。

6. 參考文獻

1. Shunsuke OHKOUCHI, Takahisa FURUHASHI, Akiko GOMYO, Toshinari ICHIHASHI, Chung-Chi HSU and Tohru SUZUKI, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.44, pp.2, 2005.
2. S. Keller, S. Heikman, I. Ben-Yaacov, L. Shen, S. P. DenBaars, and U. K. Mishra, Appl. Phys. Lett. Vol.79, pp.3449, 2001
3. 黃惠良、曾百亨 (2008)。《太陽能電池：太陽能轉換成電能的最佳裝置》。台北：五南。
4. L. P. Fu, D. G. Chtchekine, G. D. Gilliland, Hosun Lee, H. P. Hjalmarson, J. G. Yu, M. G. Craford, and Donald J. Wolford, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, Vol. 33, pp. 7, 1997.
5. A. Gomyo, K. Kobayashi, S. Kawata; I. Hino, and T. Suzuki, J. Cryst. Growth, Vol.77, pp. 367, 1986.
6. S.OHKOUCHI1, T.FURUHASHI, A.GOMYO, T.ICHIHASHI, C.C. HSU and T. SUZUKI ; Japanese Journal of Applied Physics ; Vol. 44, No. 2 , pp. 880 - 881, 2005.