

行政院原子能委員會  
委託研究計畫研究報告

III-V 族多接面太陽能電池的轉換效率機制研究

Study of the conversion efficiency of III-V multi-junction solar cells

計畫編號：992001INER038

受委託機關(構)：中原大學

計畫主持人：沈志霖

核研所聯絡人員：楊敏德

聯絡電話：03-2653249

E-mail address：jlshen@cycu.edu.tw

報告日期：99.11.29

## 目錄

目錄	I
圖表目錄	II
中文摘要	III
英文摘要	IV
壹、 計畫緣起與目的	1
貳、 研究方法與過程	3
一、 太陽能電池樣品結構及特性	3
二、 光激螢光量測系統 (Photoluminescence, PL)	4
三、 III-V 族太陽能電池之熱特性	5
參、 主要發現與結論	7
一、 主要發現	7
(一) 不同脈衝寬度下砷化鎵的光激螢光光譜圖	7
(二) 溫變下砷化鎵的光激螢光光譜圖	8
(三) 利用光激位置螢光峰值求得界面溫度	9
(四) 利用載子溫度求得界面溫度	10
二、 結論	11
肆、 參考文獻	12

## 圖表目錄

圖 1 單接面(GaAs)太陽能電池結構示意圖-----	3
圖 2 光激螢光量測系統示意圖-----	4
圖 3 III-V 族太陽能電池受激發的載子路徑示意圖-----	5
圖 4 duty cycle 示意圖-----	6
圖 5 室溫下不同 duty cycle 的砷化鎵光激螢光光譜圖，改變的範圍從 10 到 75 %。圖 5 左內插圖為放大圖。圖 5 右內插圖為光激螢光的峰值隨著不同 duty cycle 的趨勢圖-----	7
圖 6 空心圓與實心方塊分別為光激螢光峰值位置下之基板溫度與接面溫度。圖 6 內插圖為不同溫度下的光激螢光光譜-----	8
圖 7 不同 duty cycle 與砷化鎵太陽能電池溫度關係圖-----	9
圖 8 不同晶格溫度與載子溫度的關係圖。圖 8 內插圖為脈衝運作時間 75 % 下的光激螢光光譜之高能量部份-----	10

## 中文摘要

我們提出用光激螢光技術量測砷化鎵太陽能電池的接面溫度，該技術是利用調製脈衝激發光的脈衝寬度與變溫的光激螢光光譜來導出太陽能電池的接面溫度。實驗中發現，脈衝運作時間比明顯改變光激螢光的能量，可以有效的量測接面溫度。脈衝運作時間比率從 10 % 到 75 % 時，砷化鎵太陽能電池接面溫度增加了 2.9 K。此外，我們研究太陽能電池接面層的載子溫度，由載子溫度驗證了由調製脈衝寬度的光激螢光所得的結果。

## 英文摘要

A photoluminescence technique is presented to measure the junction temperature of GaAs solar cells. The technique utilizes the pulse-width modulation of excitation laser and the temperature dependence of photoluminescence spectra. The apparent change of photoluminescence energy on duty cycle can be advantageously used for the determination of the junction temperature. Varying the duty cycle from 10% to 75% causes an increase of 2.9 K in the junction temperature of GaAs solar cells. The carrier temperature of the junction layer was studied to confirm the result obtained from the pulse-width modulation photoluminescence

## 壹、計畫緣起與目的

有鑑於能源危機問題，尋找再生能源方案已到了刻不容緩的地步。一般再生能源可分為下列幾項：潮汐、地熱、水力、風力、生質能源及太陽能等。將太陽光能量轉換成電能的元件即為太陽能電池(solar cells)，而此效應稱為光伏效應。太陽能電池的應用很廣泛，可用於人造衛星與太空船的長期電源，也可用於氣象觀測儀器、通訊設備、或某些家電用品等，並且太陽能電池通常有使用壽命長、性能穩定等優點，是一種乾淨的能源。

一般太陽能電池可分為有機太陽能電池及無機太陽能電池兩種，其中無機太陽能電池是以半導體 p-n 介面所組成。在無機太陽能電池的材料中，常選用 IV、II-VI 或 III-V 族等化合物半導體，如：矽(Si)、鍺(Ge)、砷化鎵(GaAs)、碲化鎘(CdTe)、硫化鎘(CdS)、磷化銦(InP)、磷化銦鎵(InGaP)等。此外，亦有多晶(polycrystalline)半導體與半導體異質結(hetero-junction)等。這些材料的能隙皆可吸收一部份的太陽光光譜且有高的遷移率與載子生命期，可以應用於光伏能量轉換(photovoltaic energy conversion)。在早期，太陽能電池材料的設計，主要是單介面的太陽能電池，其能量轉換效率最多僅能達到 25 % [1]。

近年來，以 III-V 族化合物半導體為主的多界面太陽能電池轉換效率已達 40 % 以上 [2]，由於有非常高的光電轉換效率而逐漸被重視。為了進一步提昇太陽能電池光電轉換效率，對 InGaP/GaAs/Ge 三界面結構的各種光學特性與電學特性的分析是必要的。至今對於三界面太陽能電池結構的研究，有材料的製程過程與光電學特性的探討，例如，電流-電壓(I-V)量測、內量子效率(internal quantum efficiency)、外量子效率(external quantum efficiency)、電激螢光

(electroluminescence, EL) 等，對於此類材料與元件在光激螢光 (photoluminescence, PL) 特性的探討上較為少見。光激螢光實驗屬於非破壞性量測，容易得知主要作用層的資訊，有助於探討材料的結構與缺陷亦是半導體元件的重要參考結果。

我們都希望太陽能電池能夠產生較多的光電流來增加轉換效率以供我們使用，而提升太陽能電池的光電流方法有很多，其中利用鏡子或是用透鏡將太陽光聚焦進而增加光吸收是一種可能的方法。然而這種聚焦方法會增加太陽能電池的溫度，導致其開路電壓會相對減少而轉換效率降低[3-6]，所以研究太陽能電池的介面溫度是一重要課題。此計畫的研究目的是制定一種量測太陽能電池介面溫度的方法，進一步研究太陽能電池對於熱的性質，也對將來可能在光電元件的應用上立下基礎。





## 二、光激螢光量測系統 (Photoluminescence, PL)

光激螢光光譜實驗利用半導體雷射(波長 532 nm; 能量為 2.33 eV)作為入射光源。如圖 2 所示，光束經由透鏡聚焦至樣品上。避開反射光，利用透鏡收集螢光，調至平行光後再經由另一透鏡聚焦至光譜儀 (Jobin Yvon triax 550)。光經光柵(grating)分光後，由矽偵測器(silicon photodiode)接收，將單色光轉為電壓訊號，訊號透過鎖相放大器(lock-in amplifier)，可過濾雜訊及放大訊號的功能，訊號再經過 SAQ2 彙整後轉為數位訊號送至電腦，再由電腦繪製成光譜圖。將樣品座罩上真空腔蓋，可抽真空至 24 mtorr。利用氬壓縮機可降溫至 10 k。

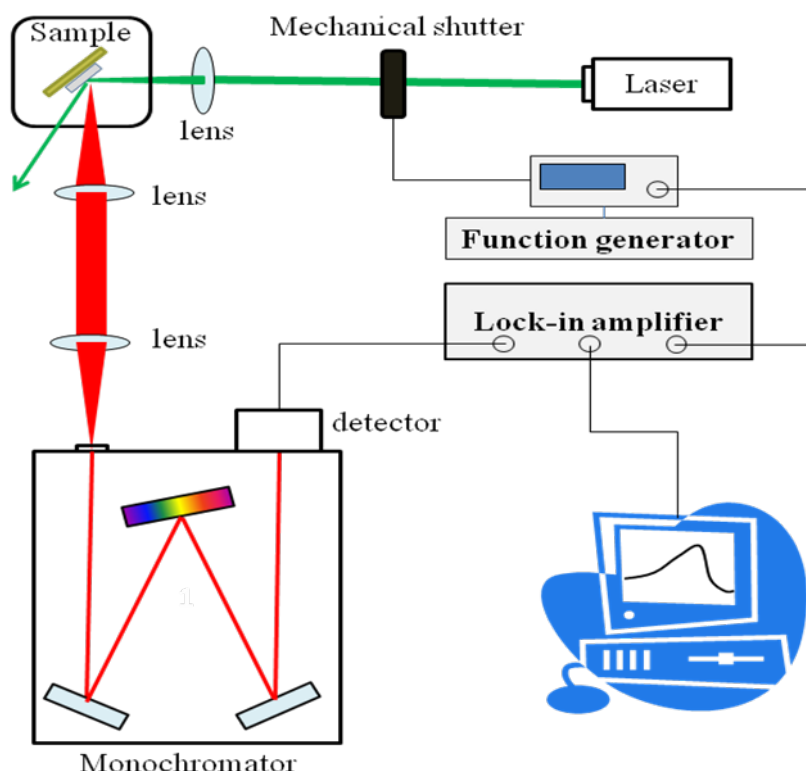


圖2 光激螢光量測系統架設

### 三、 III-V 族太陽能電池之熱特性

為了提升太陽能電池的光電轉換效率，常利用陽光聚焦在太陽能電池上，進而提升其光電轉換效率。實際上，太陽能電池將吸收的太陽光能量部份轉換成電能後，其餘的能量大部分會轉換成熱能，使溫度上升[9]。圖 3 為在太陽能電池 p-n 接面受激發的載子路徑示意圖。吸收能量大於材料的能隙且功率足夠的光源時，獲得足夠能量的電子會從價帶躍遷到導帶上，在這之後電子會以三種途徑傳輸[10]：

- (a) 電子-電洞對(electron-hole pairs)間輻射複合釋放出螢光
- (b) 能量損耗而產生熱
- (c) 在導帶上傳遞形成光電流(photocurrent)

當轉換成熱能的比例增加時，太陽能電池內部的溫度上升的現象越明顯。溫度的上升會使光電轉換效率下降的現象。本文利用不同脈衝寬度以及溫度下，量測 III-V 族太陽能電池的光激螢光光譜圖，研究太陽能電池對於熱的特性。

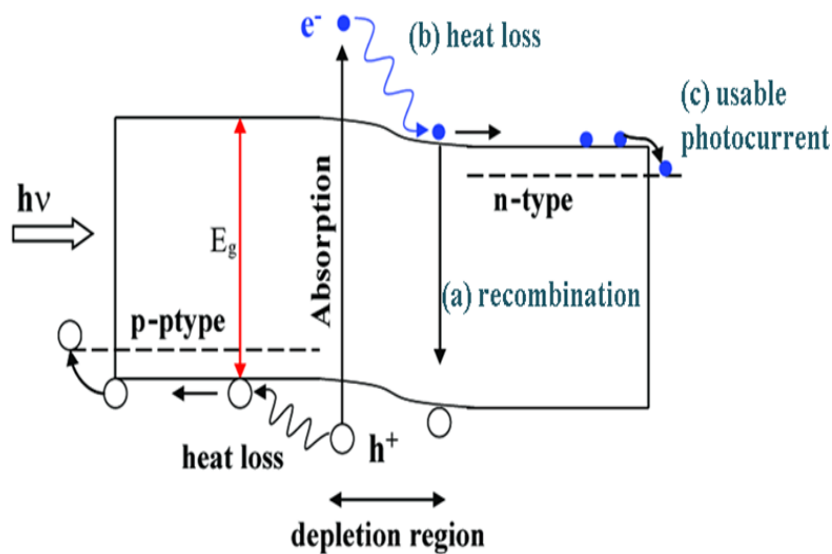


圖 3 受激發的載子路徑示意圖

在固定週期下，改變脈衝時間寬度，其寬度與週期的比例稱之為脈衝寬度(duty cycle)。圖 4 為脈衝寬度的示意圖。假設入射光的週期為 10 秒，當入射光照射到樣品的時間為 2 秒，則 8 秒便沒有光源照射在樣品上，此時我們就定義其 duty cycle 為 20%。利用 HP8112A 脈衝訊號產生器輸出一個參考訊號至電子式閘門(mechanical shutter)，藉由此訊號控制閘門開關比例而得到不同脈衝寬度。

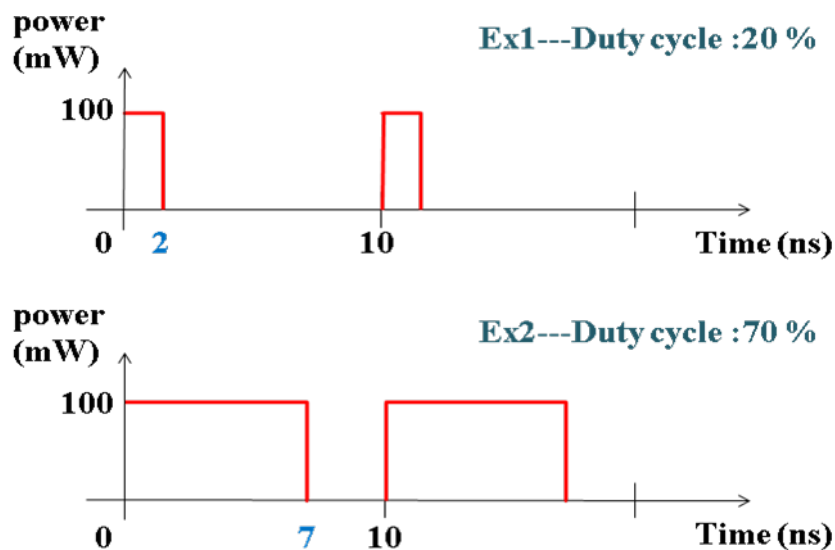


圖 4 duty cycle 示意圖

## 參、主要發現與結論

### 一、主要發現

#### (一) 不同脈衝寬度下砷化鎵的光激螢光光譜圖

圖 5 為室溫下不同脈衝寬度的砷化鎵光激螢光光譜圖，改變的範圍從 10 到 75 %。圖 5 右內插圖為砷化鎵光激螢光的峰值隨著不同的脈衝運作時間趨勢圖。從圖 5 可發現隨著脈衝寬度的增加時，主要峰值有紅位移的現象。峰值有紅位移的現象是因為太陽能電池吸收能量後，部分能量轉換成熱能使得溫度上升所的結果。增加脈衝寬度比例，使得轉換成熱能的增加，導致溫度上升更明顯。

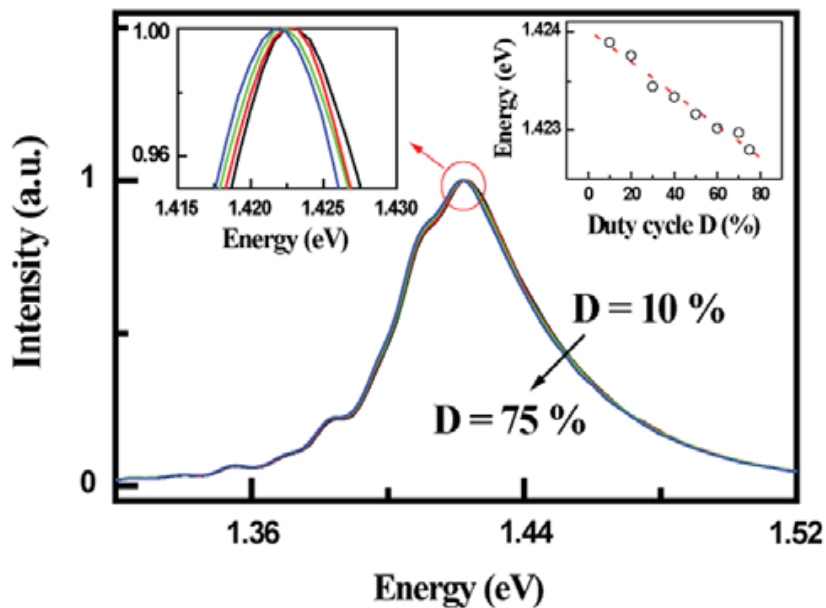


圖 5 室溫下不同脈衝寬度的砷化鎵光激螢光光譜圖，改變的範圍從 10 到 75 %。圖 5 左內插圖為放大圖。圖 5 右內插圖為光激螢光的峰值隨著不同脈衝寬度的趨勢圖。

## (二) 溫變下砷化鎵的光激螢光光譜圖

圖 6 為砷化鎵光激螢光峰值在溫度 200 K 至 300 K 下之趨勢圖。圖 6 內插圖為砷化鎵在不同溫度下之光激螢光光譜圖。從圖 6 得知隨著環境溫度增加，光激螢光峰值位移的趨勢也呈現線性關係[11]。

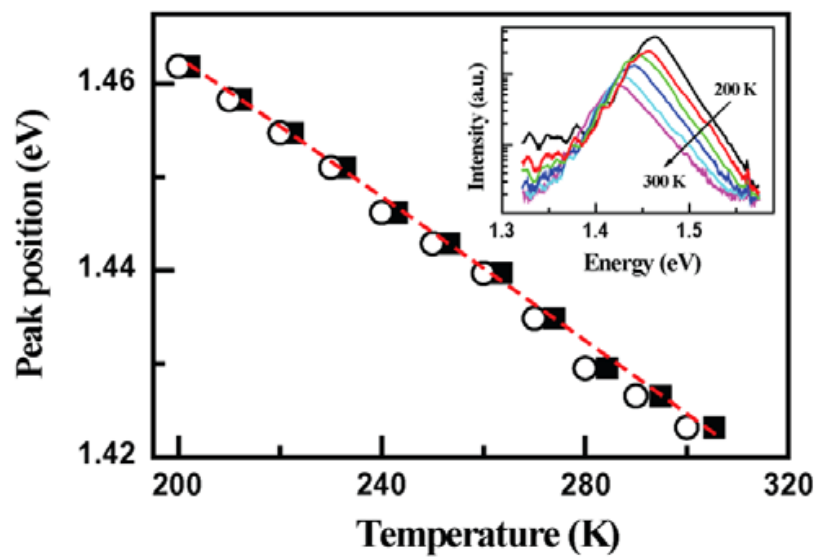


圖 6 空心圓與實心方塊分別為光激螢光峰值位置下之基板溫度與界面溫度。圖 6 內插圖為不同溫度下的光激螢光光譜。

### (三) 利用光激螢光峰值位置求得界面溫度

利用圖 6 溫度與螢光峰值的線性關係，將在不同脈衝運作時間的條件下所得到的光激螢光峰值帶入，可得到對應的太陽能電池之界面溫度。圖 7 即為不同脈衝運作時間與太陽能電池界面溫度的關係圖。從此圖發現，脈衝運作時間比從 10 % 到 75 % 增加了砷化鎵太陽能電池界面溫度 2.9 K。

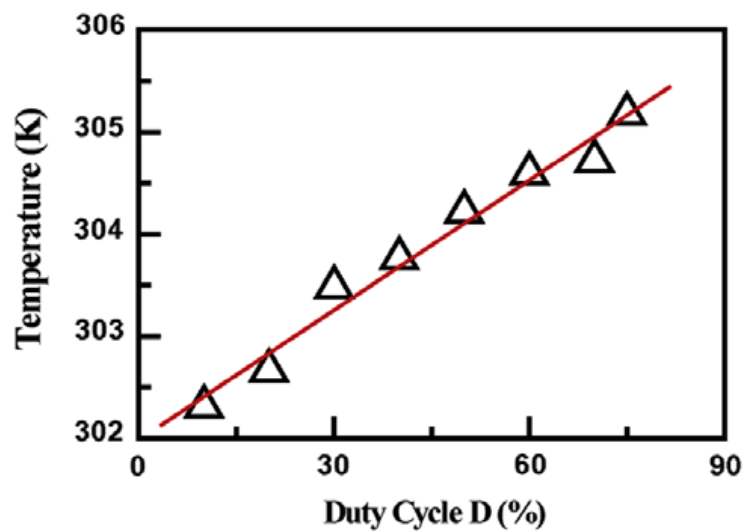


圖 7 不同脈衝寬度與砷化鎵太陽能電池溫度關係圖

#### (四) 利用載子溫度求得接面溫度

我們也利用載子溫度來探討太陽能電池的接面溫度，從光激螢光光譜之高能量部份斜率與(公式一)可擬合出載子溫度[12]:

$$I(\hbar\omega) \sim \exp(-\hbar\omega/kT_C), \quad (\text{公式一})$$

其中  $T_C$  為載子溫度。圖 8 為不同晶格溫度與載子溫度的關係圖。圖 8 內插圖為脈衝寬度 75 % 下的光激螢光光譜之高能量部分。經由載子溫度方法計算得知脈衝寬度 75 % 下之接面溫度為 305 K，而由螢光峰值方法算得脈衝寬度 75 % 下之接面溫度為 305.2 K [13]。此結果與利用調製激發光的脈衝寬度所得的結果相吻合。

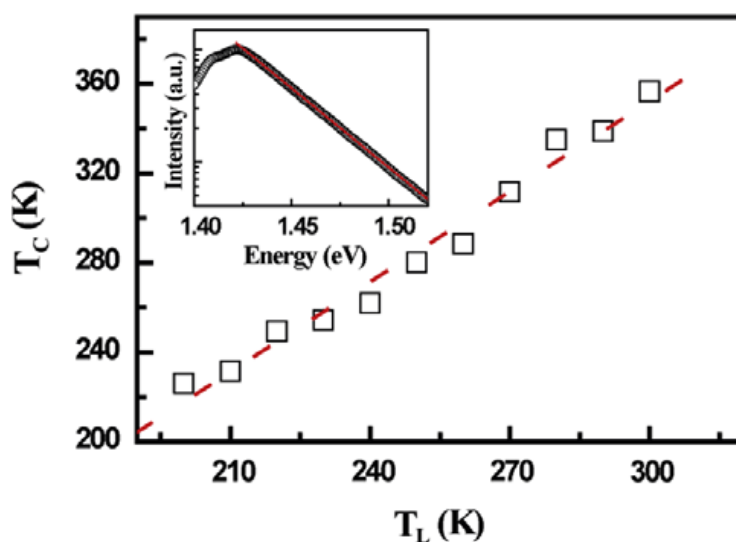


圖 8 不同晶格溫度與載子溫度的關係圖。圖 8 內插圖為脈衝運作時間 75 % 下的光激螢光光譜之高能量部份。

## 二、結論

我們發展出一種用光激螢光技術來量測砷化鎵太陽能電池的接面溫度。此技術利用調製激發光的脈衝寬度與變溫的光激螢光光譜，得出砷化鎵太陽能電池的接面溫度。我們也探討載子溫度與接面溫度的關係，發現其結果與利用調製激發光的脈衝寬度所得的結果相吻合。本文已發表於國際期刊 *Solid State Commun.* 150 (2010) 1217.



#### 肆、参考文献

- [1] M. Yamaguchi, (2003) “III–V compound multi-junction solar cells: present and future”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 75, 261.
- [2] R.R. King, D.C. Law, K.M. Edmondson, C.M. Fetzer, G.S. Kinsey, H. Yoon, R.A. Sherif, and N.H. Karam, (2007) “40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells”, *Appl. Phys. Lett.* 90, 183516.
- [3] M.Y. Feteiha, G.M. Eldallal, *Renew. Energy* 28 (2003) 1097.
- [4] D. Meneses-Rodríguez, P.P. Horley, J. González-Hernández, Y.V. Vorobiev, P.N. Gorley, *Sol. Energy* 78 (2005) 243.
- [5] K. Nishioka, T. Takamoto, T. Agui, M. Kaneiwa, Y. Uraoka, T. Fuyuki, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 90 (2006) 57.
- [6] E. Radziemska, *Int. J. Energy Res.* 30 (2005) 127.
- [7] M. Yamaguchi, T. Takamoto, A. Khan, M. Imaizumi, S. Matsuda, N. J. and Ekins-Daukes, *Prog. Photovolt.* 13, 125 (2005).
- [8] T. Soga, T. Kato, M. Umeno, T. Jimbo, *J. Appl. Phys.* 79, 9375 (1996).
- [9] Anja Royne, Christopher J. Dey, David R. Mills, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 86, 451 (2005).
- [10] J. Nelson, M. Paxman, K.W.J. Barnham, J.S. Roberts, and C. Button, *IEEE Journal of Quantum Electronics* 29, 1460 (1993).
- [11] N.C. Chen, Y.N. Wang, C.Y. Tseng, Y.K. Yang, *Appl. Phys. Lett.* 89 (2006) 101114.
- [12] P. Manninen, P. Orreveteläinen, *Appl. Phys. Lett.* 91 (2007) 181121.
- [13] M.D. Yang, W.C. Liao, G.W. Shu, Y.K. Liu, J.L. Shen, C.H. Wu, W.C. Chou, Y.C. Lee, *Solid State Commun.* 150 (2010) 1217.