

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

磷化銦鎵/砷化鎵雙接面太空用太陽電池之研發

Development of GaInP/GaAs tandem solar cells

計畫編號：NSC 87-2612-E-009-001

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：李威儀 國立交通大學電子物理學系

一、中文摘要

砷化鎵太陽電池及砷化銦鎵/砷化鎵太陽電池的能量轉換效率相當高，適合在太空中及地表集光發電使用。本計畫持續改進砷化鎵太陽電池，同時發展磷化銦鎵太陽電池，在砷化鎵太陽電池方面，我們研究以不含鋁的磷化銦鎵或是低含鋁量的磷化銦鋁作為窗口層的材料，以避免氧化問題。在磷化銦鎵太陽電池方面，我們改變不同磊晶條件，製作太陽電池，並測量元件特性與效能。

關鍵詞：太陽電池、砷化鎵、磷化銦鎵、磷化銦鋁

Abstract

High efficiency GaAs solar cells and GaInP/GaAs tandem solar cells are very suitable for space and terrestrial applications. In this project, we continually improve GaAs solar cell and develop GaInP solar cell. Applying GaInP and AlInP window layers on GaAs solar cells are studied, and this can reduce oxygen contamination and increase device reliability. We also study the effects of epitaxial growth conditions on GaInP solar cells and measure the devices' performance and characterizations.

Keywords: Solar cells, GaAs, Ga_{0.5}In_{0.5}P, Al_{0.5}In_{0.5}P

二、計劃緣由與目的

以砷化鎵(GaAs)系列的砷化鎵太陽電池及砷化鎵/磷化銦鎵(GaAs/Ga_{0.5}In_{0.5}P)太陽電池具有高能量轉換效率(分別達20%及30%以上)，而且具有良好的抗輻射能力，所以是未來太空用太陽電池的主流。由於GaAs/Ga_{0.5}In_{0.5}P太陽電池屬於一種結構精細的大面積光電元件，因此需要一種磊晶能力良好而且能夠大量生產的磊晶技術，而有機金屬氣相磊晶法(簡稱MOCVD)正好符合這樣的需求。本計畫的目的就是要利用MOCVD進行GaAs/Ga_{0.5}In_{0.5}P太陽電池的研發。

由於GaAs是一種直接能隙的半導體材料，太陽光大部分都在靠近表面1μm內被吸收，為了降低表面載子復合效應，提高能量轉換效率，目前的GaAs太陽電池結構中多含有窗口層(window layer)。窗口層為一寬能隙材料，它可以阻擋電池中照光產生的少數載子向表面移動，降低表面復合效應的影響。窗口層必須能透光，而且晶格常數必須與GaAs相近，如此在窗口層/GaAs的界面才不致因為晶格常數不匹配而產生大量缺陷。目前窗口層材料主要為高含鋁量的砷化鋁鎵(AlGaAs, 含鋁量約80%以上)，高含鋁量的AlGaAs為非直接能隙，透光率良好，而且晶格與GaAs相匹配，但是高含鋁量的AlGaAs容易因空氣中的水氣而氧化，影響元件的可靠性。為了避免這個問題，我們研究不同的窗口層材

料的影響，包括與 GaAs 晶格匹配的磷化銦鎵($\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$)及磷化銦鋁($\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$)。磷化銦鎵不含鋁，所以沒有氧化的問題，而且根據其他研究^[1]，砷化鎵/磷化銦鎵的界面具有很小的表面復合速度，所以可以有效鈍化砷化鎵表面，避免表面復合效應的影響，不過磷化銦鎵的能隙只有 1.9 eV，而且為直接能隙，會吸收部分的可見光。磷化銦鋁的能隙較磷化銦鎵大，而且為非直接能隙，不會有吸光的問題，不過磷化銦鋁的長晶條件較嚴苛，而且 p 型摻雜較困難，這是需要克服的問題。

磷化銦鎵($\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$)的能隙為 1.9 eV，如果與 GaAs(能隙 1.42 eV)搭配，作成 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}/\text{GaAs}$ 雙層太陽電池，其理論效率可達 35%以上。由於雙界面電池必須在上下層光電流相匹配的條件下操作，所以我們先研究製作磷化銦鎵太陽電池，當達到良好的能量轉換效率，可以與 GaAs 太陽電池太陽匹配後，再進行 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}/\text{GaAs}$ 雙層太陽電池的製作。

三、結果與討論

圖(一)為砷化鎵太陽電池的結構圖。我們採用 p-emitter/n-base 的太陽電池結構，窗口層的材料分別用 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 以及 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ，而其他部分則相同。由於 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 與 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 較難用 Zn 得到 p 型摻雜，所以我們使用 $\text{Mg}(\text{Cp}_2\text{Mg})$ 作為 p 型摻雜，而 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 仍然使用 Zn(DMZn)作為 p 型摻雜材料。其 p 摻雜濃度在 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 、 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 窗口層分別為 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。我們使用光頻譜響應量測(Spectral response)來比較不同窗口層的影響。

圖(三)為使用不同窗口層材料的 GaAs 太陽電池之光頻譜響應量測之結果，從圖中結果，三種不同材料之窗口層的效果差不多，但是 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 窗口層在短波長的效果略佳，這個原因可能有兩個：一是目

前對 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 及 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 的磊晶能力尚未完全掌握，材料品質略差，導致短波長的光頻譜響應略差。另外一個可能的原因是 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 窗口層已經有部分氧化，造成反射率比起其他兩種材料窗口層的樣品在短波長有較低的反射率，這點可從 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 窗口層的太陽電池在長波長(800nm 以上)的區域比 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 窗口層的太陽電池略差可看出，這表示 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 窗口層的太陽電池反射率低點位在較短波長的位置。

利用 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 及 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 製作窗口層具有不易氧化，而且對 GaAs 的濕蝕刻選擇性良好等優點，這不但對元件的可靠性有很好的改進，而且製程上也比較方便。

在 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 太陽電池方面，為了配合先前所製作的 GaAs 太陽電池，我們採用 p-emitter/n-base 的太陽電池結構，窗口層採用 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 材料，電池結構如圖(二)所示。磊晶原料採用 TEG, TMI, TMAI, PH_3 , AsH_3 ，而摻雜原料則用 SiH_4 及 Cp_2Mg 。成長溫度為 720°C ，V/III 比為 200， $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ base 的摻雜濃度為 $n\text{-}2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ， $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ emitter 的摻雜濃度為 $p\text{-}2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，而 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 窗口層的摻雜濃度為 $p\text{-}2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ， $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 窗口層上方再覆蓋一層 $0.2 \mu\text{m}$ 厚、高濃度 p 型摻雜($>5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)的 GaAs 作為金屬接觸層，以降低接觸電阻，金屬以外照光部分所覆蓋的 GaAs，最後用選擇性濕蝕刻方式將之去除。

所製作的 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 太陽電池在 $100 \text{mW}/\text{cm}^2$ 的太陽燈下，其 V_{oc} 為 1.18V， J_{sc} 為 $6.2 \text{mA}/\text{cm}^2$ ，FF 約 70%，能量轉換效率約 5.12%。為了明瞭效率不佳的原因，我們進行光頻譜響應量測，圖(四)為 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 太陽電池的光頻譜響應量測，從圖中可以看出整體效率偏低，而且短波長部分下降的非常嚴重，這表示 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 窗口層並沒有達到其作用，因此太陽電池效率不佳的原因很可能主要是 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 窗口層磊晶品質不佳。

由於雙層太陽電池必須符合上下層電

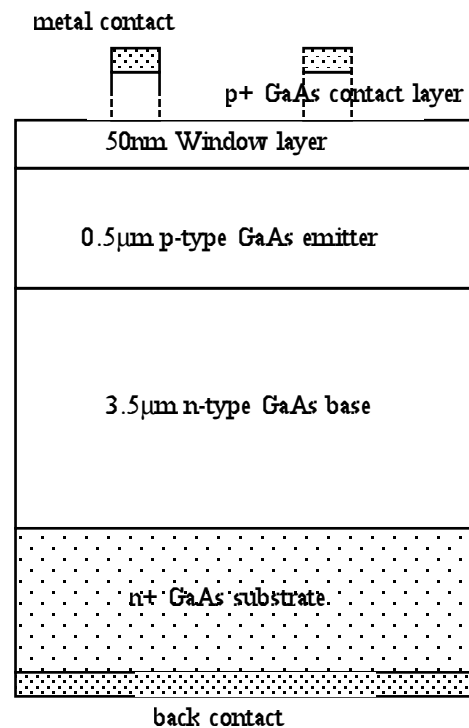
池電流匹配的條件，根據估算 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 太陽電池的 J_{sc} 必須達到 $13\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上才能達到良好的效率。雖然我們目前的 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 太陽電池尚未加上抗反射膜，但是根據估算，如果加上雙層抗反射膜， J_{sc} 也只有約 $8.9\text{mA}/\text{cm}^2$ 左右，離所需的 $13\text{mA}/\text{cm}^2$ 尚有一段距離，因此必須進一步改善 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 窗口層磊晶品質，才能用來製作 $\text{GaAs}/\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 雙界面太陽電池。

五、計劃成果自評

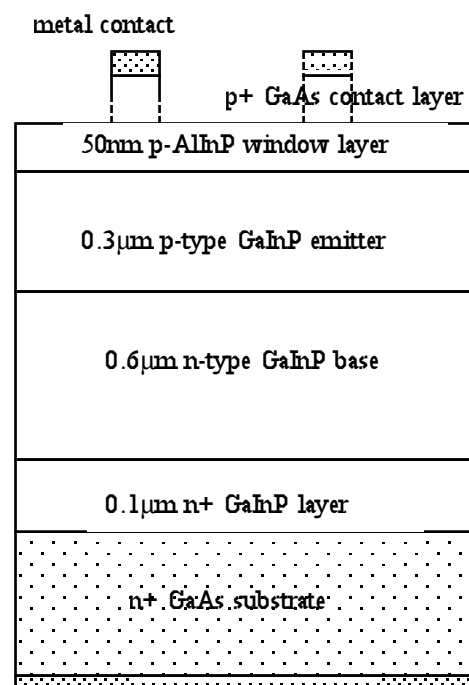
在本計劃中，我們完成了 GaAs 太陽電池的改良，以及 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 太陽電池的製作。不過由於 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 窗口層磊晶品質未能發揮作用，因此 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 太陽電池效率不甚理想，尚無法用來製作 $\text{GaAs}/\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 雙界面太陽電池，以達到高效率的目的，因此需要持續改善 $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 磊晶技術，增進 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 太陽電池效率。

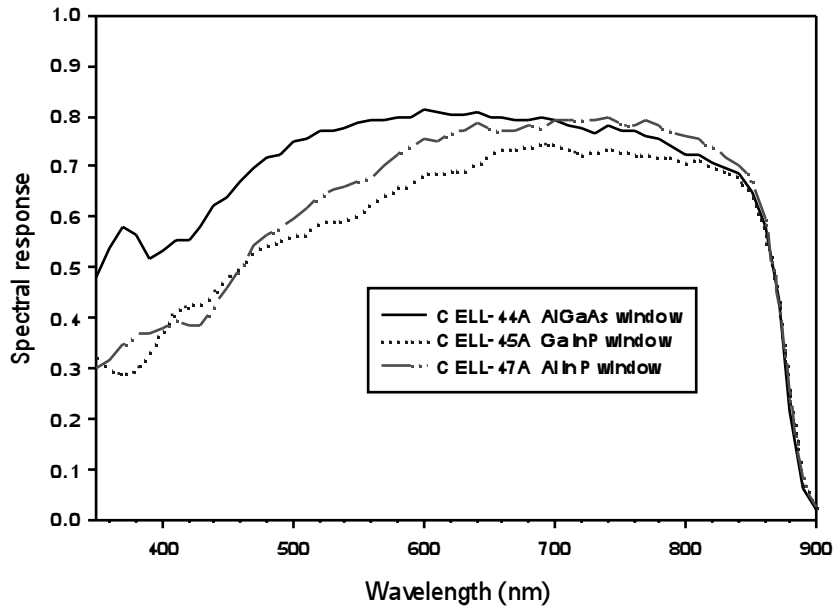
六、參考文獻

- [1] J. M. Olson et al., 'Ultralow recombination velocity at $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}/\text{GaAs}$ heterointerfaces', *Appl. Phys. Lett.* 55(12), 1989, p1208
- [2] Sarah R. Kurtz et al., 'High efficiency GaAs solar cells using GaInP_2 window layers', *Proc. Of the 21st IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1990, p138
- [3] H. Matsubara et al., 'GaAs Solar Cell with GaInP Window Grown by All Metalorganic Source MOVPE', *Proceedings of First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 1994, p1871
- [4] K. A. Bertness et al., '29.5%-efficient GaInP/GaAs tandem solar cells', *Appl. Phys. Lett.* 65(8), 1994, p989
- [5] T. Takamoto et al., 'Over 30% efficient InGaP/GaAs tandem solar cells', *Appl. Phys. Lett.* 70(3), 1997, p381

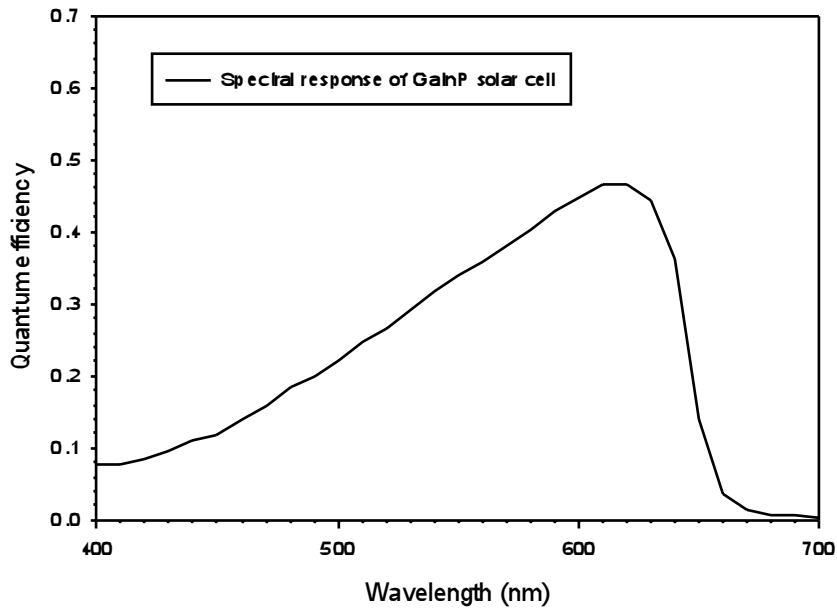


——GaAs——太陽電池結構





構不同窗口層材料料 GaAs 一陽電池料
影響



響一GaInP 一陽電池響頻譜響應