

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期末報告

LHPG 晶纖生長數值模擬後續研究與 Si 薄體晶纖太陽電池 研發

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 101-2218-E-276-001-
執行期間：101年01月01日至101年10月31日
執行單位：美和學校財團法人美和科技大學珠寶系

計畫主持人：陳平夷

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理人員：陳淑娟

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

公開資訊：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中華民國 101 年 12 月 01 日

中文摘要：人工晶體光纖的應用已日漸廣泛重要，其中雷射加熱基座法(LHPG)結合基座與浮動熔區之優點，為定向單晶生長重要方法之一，所生長出高品質的晶體光纖，廣泛應用於光電與半導體等產業之中。我們利用計算流體力學(CFD)之有限體積法，經由體適網格轉換後，建立接近真實的微浮動熔區二維模擬架構。並於現有基礎上，發展出更微觀尺度之三維長晶模擬程式。用來提供晶體生長時，實驗觀測之不足。並提升模擬仿真度，作為爾後材料物性探討與長晶改進之應用。另一方面因應綠能產業之發展，降低Si基太陽晶片加工製作成本，提升轉換效率與擴增應用範圍，為現今太陽能電池發展之趨勢。因此開發各種幾何型態軟性體之晶體刻不容緩，尤其是Si基太陽電池軟性薄體晶片之開發與生產。我們提出一個新觀念，藉由LHPG長晶經驗，利用籽晶形態與熔區形狀控制，研發帶狀薄體晶片。再以此晶纖與線導體經由編織方式，組合而成為軟性太陽電池晶片。以達到降低加工成本，提升轉換效率及擴增應用範圍之研究目標。以上兩點得到充分研究與支持，必可改善晶體製程，對晶體材料之發展做出貢獻。

中文關鍵詞：雷射加熱基座法、計算流體力學(CFD)、Si軟性薄體太陽晶片

英文摘要：It is important that the application of artificial crystal fiber has been already extensive day by day, among them laser heated pedestal growth (LHPG) method combined with pedestal and the advantages of a floating molten zone for the one of important methods of single crystal growth. The use the control-volume finite-difference method of computational fluid dynamics (CFD) through the body-fitting grid transforming can establish approaching real two-dimensional simulation framework of micro-floating zone. And on the existing basis, we can develop a more micro-scale three-dimensional simulation program of crystal growth. It can provide experimental observation inadequate of crystal growth and enhance the degree of simulation, as applications for physical properties discussing and improving crystal growth later. On the other hand, in response to the green energy industry development, reducing the processing production costs of Si-based solar wafer, improving conversion efficiency and the extension of

the scope of application are the development trend of today 's solar cells. Therefore, the development of a variety of geometric patterns of soft body of the crystal is an urgent need, especially the soft thin wafer on Si-based solar cell development and production. We propose a new concept, via experience of LHPG crystal growth, to research and develop the thin wafers with strip shape by controlling seed morphology and the shape of the molten zone. Then, combination of the crystal fiber and line conductor becomes a flexible solar cell wafer through weaving. And thereby to reduce processing costs, improve conversion efficiency and extend the scope of application of the research goals. These two points are fully research and support it will improve the crystal manufacture process and contribute to the development of the crystal materials.

英文關鍵詞： laser heated pedestal growth, computational fluid dynamics (CFD), soft and thin Si solar wafer

LHPG 晶纖生長數值模擬後續研究與 Si 薄體晶纖太陽電池研發

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 101-2218-E-276-001-

執行期間：101 年 1 月 1 日至 101 年 10 月 31 日

執行機構及系所：美和科技大學 珠寶系

計畫主持人：陳平夷

共同主持人：

計畫參與人員：

1. 兼任博士班學生：陳淑娟
2. 臨時工大學部學生：王顯立、許毓麟、李季珩、楊艾蜜

本計畫除繳交成果報告外，另含下列出國報告，共 2 份：

移地研究心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

中 華 民 國 101 年 11 月 30 日

目 錄

壹、前言.....	1
貳、研究目的.....	1
參、文獻探討.....	2
肆、研究方法.....	2
伍、結果與討論（含結論與建議）.....	3
陸、參考文獻.....	9
柒、計畫結果自評.....	10
捌、附錄(已發表文獻).....	11

中文摘要：

人工晶體光纖的應用已日漸廣泛重要，其中雷射加熱基座法(LHPG)結合基座與浮動熔區之優點，為定向單晶生長重要方法之一，所生長出高品質的晶體光纖，廣泛應用於光電與半導體等產業之中。我們利用計算流體力學(CFD)之有限體積法，經由體適網格轉換後，建立接近真實的微浮動熔區二維模擬架構。並於現有基礎上，發展出更微觀尺度之三維長晶模擬程式。用來提供晶體生長時，實驗觀測之不足。並提升模擬仿真度，作為爾後材料物性探討與長晶改進之應用。另一方面因應綠能產業之發展，降低 Si 基太陽晶片加工製作成本，提升轉換效率與擴增應用範圍，為現今太陽能電池發展之趨勢。因此開發各種幾何型態軟性體之晶體刻不容緩，尤其是 Si 基太陽電池軟性薄體晶片之開發與生產。我們提出一個新觀念，藉由 LHPG 長晶經驗，利用籽晶形態與熔區形狀控制，研發帶狀薄體晶片。再以此晶纖與線導體經由編織方式，組合而成為軟性太陽電池晶片。以達到降低加工成本，提升轉換效率及擴增應用範圍之研究目標。以上兩點得到充分研究與支持，必可改善晶體製程，對晶體材料之發展做出貢獻。

關鍵詞：雷射加熱基座法、計算流體力學(CFD)、Si 軟性薄體太陽晶片

英文摘要：

It is important that the application of artificial crystal fiber has been already extensive day by day, among them laser heated pedestal growth (LHPG) method combined with pedestal and the advantages of a floating molten zone for the one of important methods of single crystal growth. The use the control-volume finite-difference method of computational fluid dynamics (CFD) through the body-fitting grid transforming can establish approaching real two-dimensional simulation framework of micro-floating zone. And on the existing basis, we can develop a more micro-scale three-dimensional simulation program of crystal growth. It can provide experimental observation inadequate of crystal growth and enhance the degree of simulation, as applications for physical properties discussing and improving crystal growth later. On the other hand, in response to the green energy industry development, reducing the processing production costs of Si-based solar wafer, improving conversion efficiency and the extension of the scope of application are the development trend of today's solar cells. Therefore, the development of a variety of geometric patterns of soft body of the crystal is an urgent need, especially the soft thin wafer on Si-based solar cell development and production. We propose a new concept, via experience of LHPG crystal growth, to research and develop the thin wafers with strip shape by controlling seed morphology and the shape of the molten zone. Then, combination of the crystal fiber and line conductor becomes a flexible solar cell wafer through weaving. And thereby to reduce processing costs, improve conversion efficiency and extend the scope of application of the research goals. These two points are fully research and support it will improve the crystal manufacture process and contribute to the development of the crystal materials.

Keywords: laser heated pedestal growth, computational fluid dynamics (CFD), soft and thin Si solar wafer

壹、前言：

人工晶體之研發已是全世界材料發展主流。本人以人工晶體生長為研究領域，且目前服務於全國首創美和科技大學珠寶系。開發新的晶體材料與提升生長技術的發展，作為珠寶、光電等相關產業等上、中、下游產業之應用，是本人目前首要的研究方向。眾所皆知，晶體材料在應用上已日趨寬廣與重要。尤其是單晶結構材料因為晶體結構一致，往往都比多晶或玻璃化結構效能更佳，甚至有些晶體具有優異之光電效應，廣泛應用於光電六大產業當中。在無機晶體當中，具高硬度之無機化合物，又稱之為寶石。然而大部分天然寶石礦物，因內含多種雜質、包裹體與裂隙，純度與結構完整性較差。某些稀有、較美觀之晶體種類，受制於商場炒作，價格昂貴，僅適於珠寶飾品收藏觀賞，利用價值受限。因此，因應市場大量之寶石需求與商機，人工寶石之研發是有其刻不容緩之必要性。一般人工寶石(artificial products)系涵蓋有兩部分，當寶石成份有對應於天然寶石的稱之為合成寶石(synthetic stones)與無對應的稱之為人造寶石(artificial stones)。兩者單晶結構體，前者廣泛應用於各價位之珠寶流行飾品之設計與製作，例如剛玉類寶石於鐘錶之表面之抗磨損等。而後者不同晶面的單晶，更是廣泛應用於光電產業，尤其是各種光通訊主、被動元件、雷射、光放大器等。所以各種定向單晶的生長方法，能夠有效率的生產品質優異之單晶塊材或晶纖，已是現今材料發展之重要趨勢。其他應用，如金屬單晶用於航太材料，無機與有機單晶化合物應用於IC半導體、太陽晶片、生醫、藥品等材料。在珠寶藝術美學飾品材料上，人工寶石又能取代日漸稀少之天然寶石，並開發新品種之寶石，以滿足人們在美學上之需求。在2009年element的期刊中，特別對珠寶產業作一專題探討，文中提到至2009年初止，珠寶產業產值已達到約每年150億美金，世界各國之相關產業亦蓬勃發展，因此人工寶石成為現今產業主流，名符其實的『明日之星』。

因應國際能源危機與綠能環保意識升高，太陽能之應用已刻不容緩，而現行太陽晶片技術發展亦日趨成熟，效能亦逐日提昇。然而上有許多技術與應用問題亟待解決，尤其是以Si基為主之太陽晶片。晶片製程程序較為繁瑣，切割技術與損耗等問題均須提升與解決。又因為硬式組片結構，在應用上無法擴及日常生活之軟性服飾與流線形之交通工具。因此若能以晶體生長控制得到薄體晶纖，再以編織方式製作軟性薄體晶片，發展出軟性Si基太陽晶片應可降低加工成本，擴大應用層面。因此在現有之基礎上，持續以下兩個研發課題：

貳、研究目的：

因此本計劃案目的，擬欲達成兩個目標。

一、首先是藉由實驗與模擬比對，提升晶纖品質：

由目前所建立的LHPG二維與三維擬穩態的微浮動熔區熱毛細流模式為基礎下，對不同的加工製程加以模擬，降低晶纖產品生產成本外。並持續擴展出更微觀的模擬架構探討晶體動力機制模式。例如過冷態下的偏析特性。以及玻璃包覆之雙層纖衣晶體光纖，所觀測到的晶面形態幾何變化的熔蝕與晶面競生效應。

二、提升Si基太陽能晶片之整體效能：

就是藉由生長腔以sapphire plate熱容片與靜電力輸出等附件，改進後的LHPG之微浮動熔區形態控制操作經驗，驗證帶狀薄體晶片生長之可行性，初步達成薄度100 μm ，寬度0.5cm，長度10cm之晶體生長。並利用固液介面形態之控制來增強晶體結構，降低殘存內應力，簡化加工製程與材料切割損耗。再以編織方式得到軟性晶片擴大應用性。初期原型晶片電力評估為達到目前一般太陽能輸出效能。。

參、文獻探討：

以人工晶體生長方式製作而成的單晶或多晶質晶體寶石，稱為人工寶石(artificial products)。開發人工寶石之材料與生長技術，已是目前世界材料發展之趨勢。人工寶石包含了合成寶石(synthetic stones)，以及人造寶石(artificial stones)：它們的應用擴及珠寶飾品與高科技產業，尤其是光電產業。然而一般有色人工寶石的品質與所散發出的美麗色彩與光澤，大多與寶石的摻雜活性離子濃度有關，尤其是各種過渡金屬元素的價電荷離子。有些是有適度需要的，有些是盡量必須去除的。因此藉由多次生長去除雜質，可達成純化晶體增強晶體結構。若目的是為了增加寶石的色澤及改變折射率，則也可藉由物理之高濃度熔液混合與化學之電荷補償等，以多次生長來提升摻雜離子濃度。目前利用熔融方式(Growth from the melt)所衍生一系列的晶體生長方法還是較為快速有效率的。但製作過程中因容器污染，融熔不完全等造成晶體當中存在一些殘存內應力所造成之裂縫與雜質存留之包體等，以及製程中為達濃度均勻所伴隨容器旋轉所造成之圓弧狀色帶生長特徵影響寶石晶體品質。由於製程上的差異，在塊材(Bulk)的晶體寶石的摻雜物均勻度與晶纖(Crystal fiber)寶石內應力消除亦是非常重要課題。改良的 CZ 法中，旋轉容器當中都具備溫控與外加電磁力來達成濃度均勻的目的。利用晶纖生長架構保溫與退火方式，亦可盡力消除晶纖寶石之內應力。其中製作高品質晶體的提拉法與浮動熔區法更為長晶工業大規模使用，後者因無接觸容器之污染更可作為晶體提純與強化晶體結構的應用方法[1-3]。

雷射(激光)加熱基座法(Laser-heated Pedestal Growth method; LHPG method)具有雷射高效率加熱與浮動熔區之無坩堝污染與生長快速之優點。因此被廣泛的被應用於寶石晶體的製程與實驗之中。但我們常常發現以 LHPG 方式生長的晶體摻雜物濃度分部常常不均勻。平均濃度受到偏析(分凝; segregation)影響，有些雜物容易攙入得到濃度提升，有些則不易。同時受到熔區流場內雜質擴散程度與對流影響將造成長晶峰附近摻雜濃度分布不均勻。由於人造寶石之鈮鋁石榴石(yttrium aluminum garnet; YAG)被廣泛使用於光電基材之中，其中摻雜之釹(Nd)與鉻(Cr)離子可被作為雷射與光放大器元件等用途，這是我所選擇當做實驗材料的目的。相類似的長晶方法與材料，若能藉由較真實之長晶數值模式解析其肇始之真正物理機制，俾利能對晶體摻雜技術提升做出貢獻。為了達成這個目標，我們在 LHPG 為實驗架構下配合模擬分析結果探討晶體之偏析效應。模擬架構為二維軸對稱之熱毛系流微浮動熔區模式，是將物理網格系統經由非正交體適網格轉換之計算系統，並利用有限體積限差分法進行模擬。藉助模擬程式的結果將可有效的分析系統物理機制，探討熔區形狀內部流場分佈與熱傳特性以及摻雜傳送特性。本文研究方法重點，是將實驗結果做為模擬結果比對依據，再依據模擬結果分析物理機制。因此，首先兩者在經驗上溫度場分布結果接近一致時，再驗證熔區形狀接近一致，以提升模擬仿真度。有關理論探討均已於相關期刊與研討會發表 [4-10]。

肆、研究方法：

本研究計畫我們無法立即架設LHPG長晶系統，因此為了計畫仍能順利遂行，目前採取與台灣海洋大學光電研究所羅家堯教授長晶實驗室以跨校合作模式執行薄體晶體之生長實驗。本人研究室則規劃材料檢設備之能量籌建，並與本系高階寶石鑑定儀器教學所需鑑定設備相結合。以核定之設備費，採購了高階電腦與金相、實體顯微鏡作為三維程式模擬專用電腦，以及晶體材料表面高倍數觀測使用。配合本系之前採購之紫外光/可見光/遠紅外光分光光譜儀(Jasco V-670)，尚可作為晶片表面結構特性量測之分析。由於本校位於全國最南端，而國立台灣海洋大學為全國之最北端，實驗與檢測地點相隔路途遙遠，交通不便。為了能夠節省耗損之時間，使計畫執行效能能夠提升。希望可以於本系地點架設LHPG長晶系統，作為人工寶石實驗與理論研究發展點，俾利本系與個人研究計畫之遂行。同時

因應太陽能產業之普及化，研究材料首先以Si單晶為主，並擴及其他有發展性之單晶材料。第一目標是持續晶體定向生長理論發展並修正程式提升仿真度與建立微觀模式。在目前所建立的LHPG生長系統二維與三維擬穩態的微浮動熔區熱毛細流模式基礎下，繼續增修程式微觀功能，發展出更真實的模擬架構。探討晶體動力機制，俾利各種人工晶體材料之研發。第二目標是藉由改良後的LHPG架構，配合民國98年所頒布能源國家型計畫案，研發高品質太陽Si矽晶片。預計薄度100 μm 以下之帶狀薄體單晶，提升效能達20%以上。

伍、結果與討論：

因此在現有之基礎上，持續以下兩個研發課題：

1. 人工晶體生長實驗與理論探討：

人工晶體的製作方式大致可區分為：(A)溶液方式(Growth from solution)，(B)熔融方式(Growth from the melt)，(C)氣相方式(Growth from the vapor phase)。依其材料於溶液或熔體時的壓力與溫度及物理特性，各有其應用方式與製作方法。以熔融方式所衍生一系列定向單晶結晶(Directional crystallization of single-crystalline)方法，廣為一般人工晶體產業所使用，其中最著名的就是CZ提拉法與FZ浮動熔區法等。一般而言，晶體生長可達到兩種效果：第一是晶體純化：藉由熔區多次熔解與凝固之偏析效應，提升晶體品質。最常使用的方法就是區熔法。第二是新的人造寶石(晶體)開發：有些晶體自然界並不存在，研究開發之新種人工晶體，以供相關產業應用。尤其是光電產業，例如各種摻雜YAG人工晶體。要達成這兩個目標，都必須對晶體生長物理機制完全了解與掌控，才能圓滿達成。然而晶體定向生長機制涉及巨觀的流體熱力、擴散、介面偏析、表面張力與微觀之成核、相變、晶面動力、電化學等非線性效應，其間機制相互牽連且複雜。由結晶熱力學公式(1)得知，在定向單晶生長時，特別是固液介面非均質成核中的自由能變化量受到形狀影響極為明顯。

$$\Delta G^S = \Delta G_H \times \frac{2-3\cos\theta + \cos^3\theta}{4} = \Delta G_H f(\theta) \quad (1)$$

其中， θ 為附著於襯底之晶核接觸角， ΔG^S 表示形成晶核的自由能改變量， ΔG_H 表示均勻成核時，晶核半徑為 r 的自由能改變量。因此當 $0 \leq \theta \leq \pi$ ，將使得 $0 \leq f(\theta) \leq 1$ ，導致 $\Delta G^S < \Delta G_H$ ，易於非平面之固液介面上又發更多晶核生長。為了要生長出優質之單晶，必須抑制雜散晶核產生，使得欲生長之方向單晶佔有主導優勢，持續生長。然而固液介面形狀受制於材料之物性與巨觀之熔區內流場與熱傳效應，因此控制介面為一平面使得溫度梯度一致，對晶體生長品質提升有極大影響。另外，我們發現溫度梯度的方向變化對晶體晶面生成亦會明顯的影響。圖2-1為Ti:Sapphire之 $\{111\}$ 面方向，經拋光研磨擷取部份半球體凝固之晶相圖，呈現三個120度等區塊分布，區塊內部晶紋分布並不一致。當原方棒晶體於LHPG生長時，上、下晶纖分離冷卻後，原方棒端面形狀將因軸向改變成半球狀，散熱之溫度梯度也由原本之軸向變成半球面輻射方向， θ 角度增加已不利於原本 $\{111\}$ 方向單晶之生長，並以中心端點位置螺旋狀生長機制誘發其他晶面之生長，諸如 $\{211\}$ 面之生長，破壞定向單晶之生長。

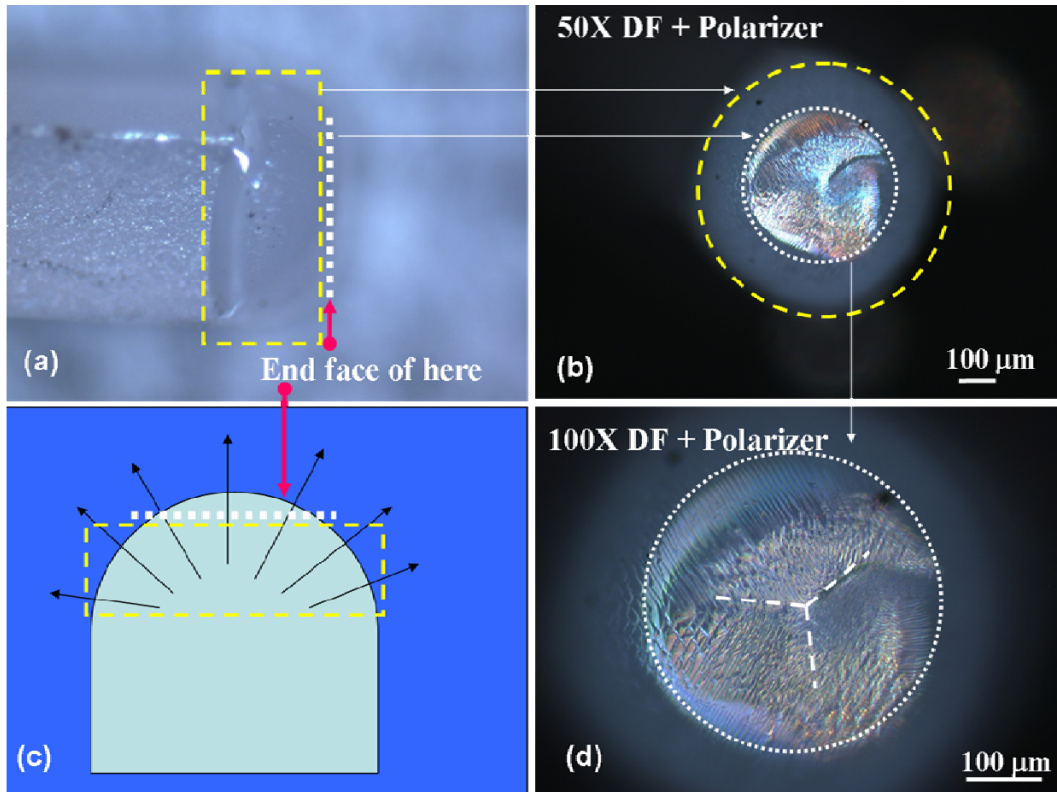


圖2-1：為Ti:Sapphire之 $\{111\}$ 面方向，經拋光研磨擷取部份半球體凝固之晶相圖，黃色虛線為未研磨之半圓球部分，白色虛線為研磨之半圓球部分，黑色矢箭頭為熱散方向。(a)橫向側示圖，(b)為50倍暗場俯視圖，(d)為100倍暗場俯視圖。(c)為縱向側視示意圖。

定向生長理論之驗證必須經由精細的實驗觀測，並應用有效率的計算流體力學數值方法模擬相互驗證，來降低研發成本與提升品質。另一方面在以LHPG製作雙纖衣晶纖製程當中，晶體與玻璃毛細管介面熔蝕所誘發的晶體型態變化亦被觀測到，如圖2-2。我們也利用近場掃描式光學顯微鏡(NSOM)針對 $11\mu\text{m}$ 到 $25\mu\text{m}$ 核心直徑量測內部 $[-101]$ 與 $[-211]$ 方向應力分布，如圖2-3。其演化機制與應力分布亦為爾後研究之重點。

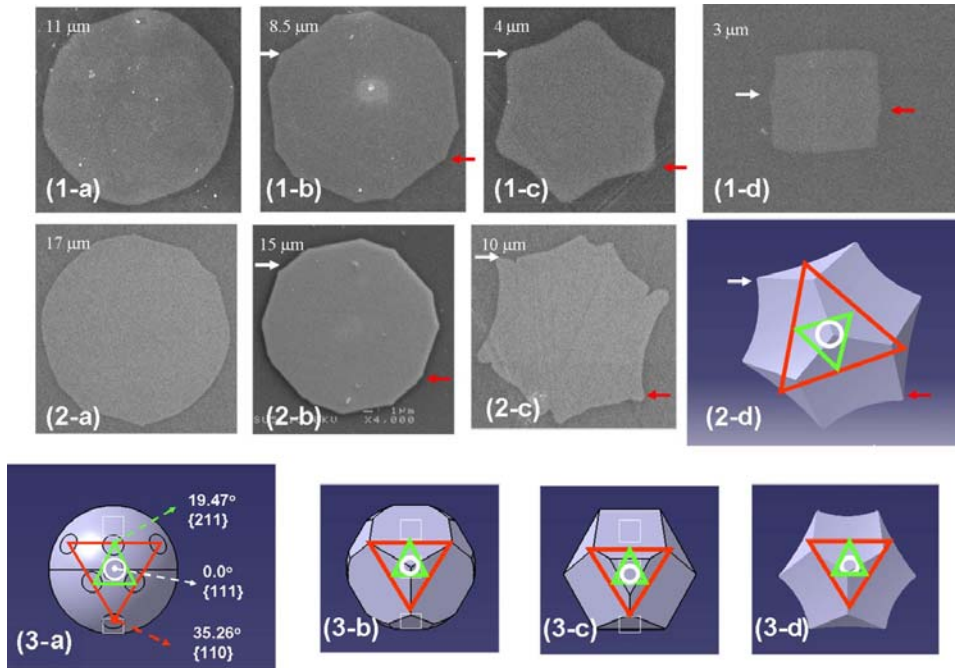


圖2-2：以CDLHPG生長技術生長之Cr:YAG晶體所產生之形態變化。(1-a)~(1-d)為加入Sapphire tube熱容器間接加熱所產生之形態變化。(2-a)~(2-c)以環狀對稱雷射光直接加熱所產生之形態變化。(2-d)為對應演化圖示，白矢頭圍左上端對應位置，紅矢頭圍右下端對應位置。YAG之[111],[110],[211]如圖(3-a)晶面，與毛細管邊界發生熔蝕之演化如圖(3-b)~(3-d)。

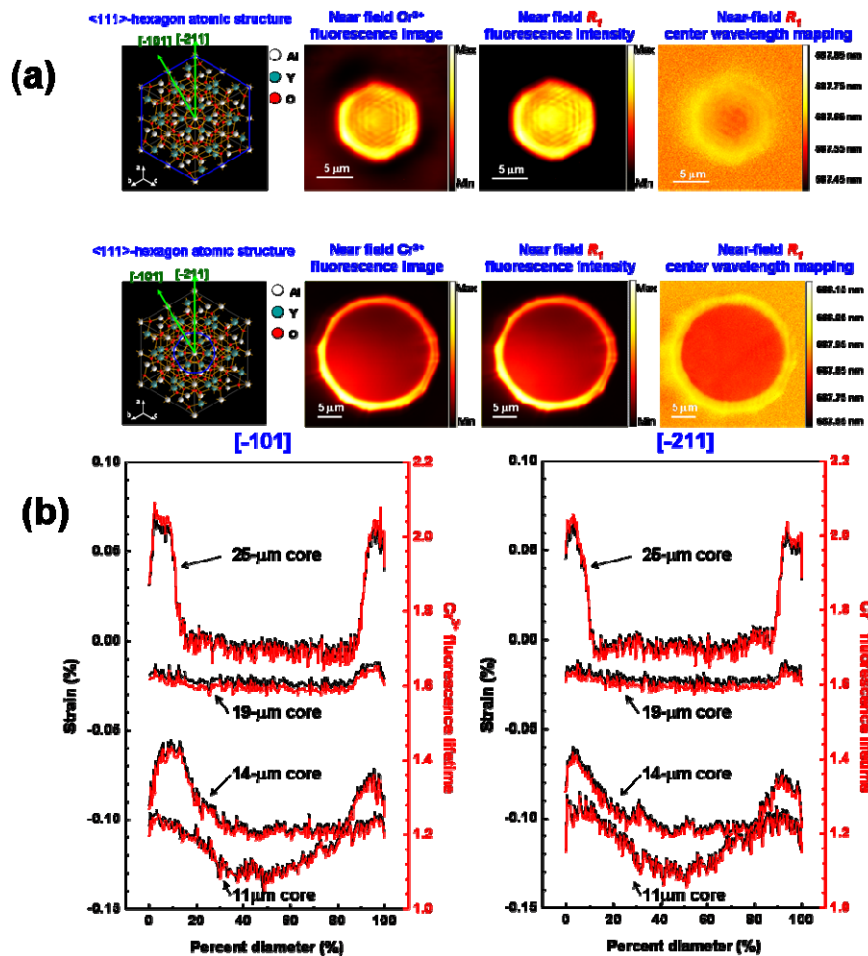


圖2-3：(a)利用近場掃描式光學顯微鏡(NSOM)對CDLHPG生長技術生長之Cr:YAG晶體所產生之Cr³⁺與R₁近場螢光圖像。(b)為核心直徑11μm~25μm內部應力分布與Cr³⁺螢光分布圖。(圖由東華大學光電所，賴建志博士提供)

2. 軟性薄體太陽能Si晶片之研發：

由於太陽能晶片市場需求規格各有不同，但目前以材料取得等效益考量，仍以Si基單晶與多晶材料為主，其中單晶效能又較高於多晶結構。以材料尺度大小規格區分有塊材與晶纖、薄膜等。然而大部分塊材都是需經過多次精密切割、研磨拋光完成，造成損耗與工時不少；而晶纖雖然可免去部分加工過程，但應用仍受晶纖形態之限制。目前形態多半為數百微米以下圓柱條狀體，在同等體積下受光效率較低。而薄膜晶體一般均藉由基座材料上利用化學沉積(CVD)等方式生長之薄膜，或以有機之高分子聚合而成，雖有利於較大受光面之應用，然而基座生長易誘發其他雜質結晶，應用不便。而高分子之有機薄膠膜材料，一般而言效率較低與壽命較短。若能將其晶纖形態多樣化，與改變加工製程(如編織方式)。晶纖製程仍是較為簡便與有效率之方法，將更有利於太陽能晶片之製作應用。其理由在於生產太陽能晶片需考量上、中、下游所需成本，若同時能在上游製程減少原料損耗，降低加工成本；下游增加應用商品空間，就可以達到成本的大幅降低與產值提升等效能。由於傳統太陽能晶片生產，步驟繁瑣，同業又削價競爭，造成利潤已大不如前。直接生產薄片晶體製程，所生產具有單位質量較

大的表面積，利於收光與放射等效能提升。而多晶製程中以EFG(Edge Defined Film Feed)方式生長雖可達到薄度 $100\mu\text{m}$ ，然而石墨或其他模片易造成污染，致使晶體品質較差。以單晶太陽電池而言，從原料 SiO_2 到Si矽電池完成最少需要12道程序。其中以切割過程中，單晶材料損耗較多。若要降低生產成本並增加人工晶體的產值，簡化製程步驟才能達成。我們由表1-1所列樣本(A)的長晶實驗案例中，發現原始晶棒為方棒，籽晶為圓棒，一般浮動熔區表面張力所能承受的體積其長度約為圓棒直徑的兩倍左右，熔區形狀上方為圓形，下方近似方形之瓶狀，可生長出圓柱狀晶纖。在籽晶晶面固定與相同表面張力支撐下，長晶鋒面之幾何形狀將受到籽晶外在形狀，以及推拉速度比影響，因此我們認為晶纖最後輸出的形態應該決定於籽晶與熔區形狀兩要素。由於熔區氣液介面表面張力與溫度有關，隨著溫度增高而降低張力強度。我們已經由平面兩點對稱加熱(如圖2-4)模擬結果得到晶纖形貌趨於扁平化之結果，如圖2-5、2-6。

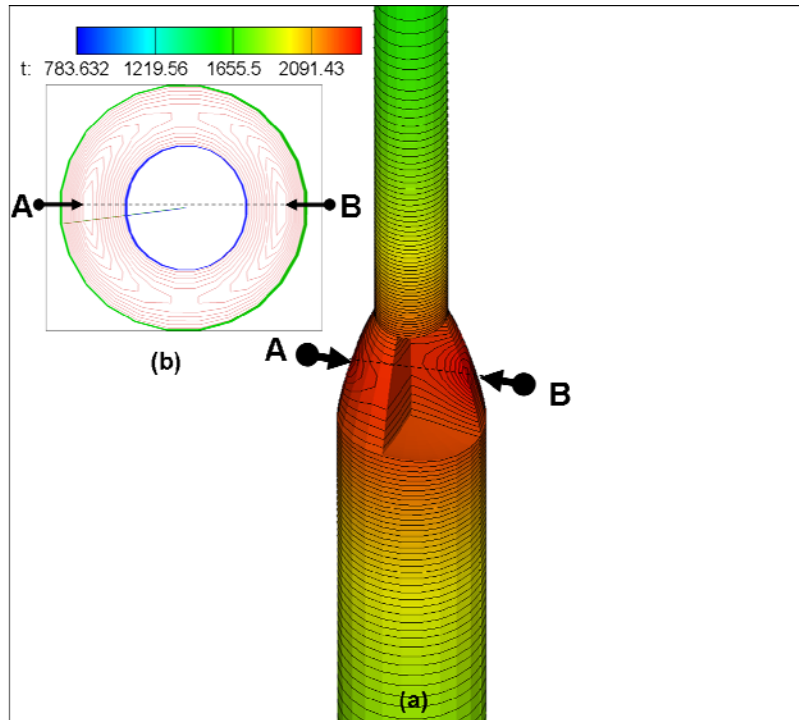


圖2-4：於LHPG架構中由A與B點入射加熱模擬圖。

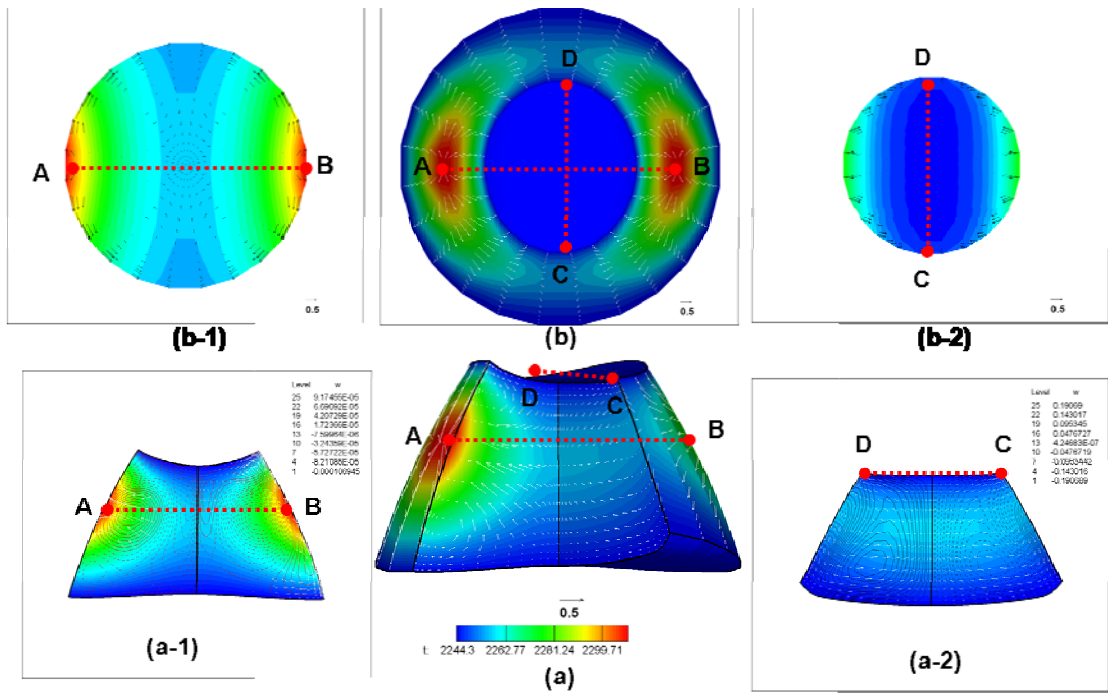


圖2-5.為源棒直徑500um，縮徑比0.5生長之熔區流場與溫度模擬，垂直流場w強度以最大與最小25等分呈現，色標為溫度場，矢量單位cm/sec。A-B為對稱加熱點連線，C-D為接近晶峰之垂直於A-B之氣液邊界連線。(a-1)為加熱點附近之垂直剖面圖。(a-2)為垂直於加熱點之垂直剖面圖。(b-1)取加熱點之水平剖面圖。(b-2)為接近晶峰處之水平剖面圖。

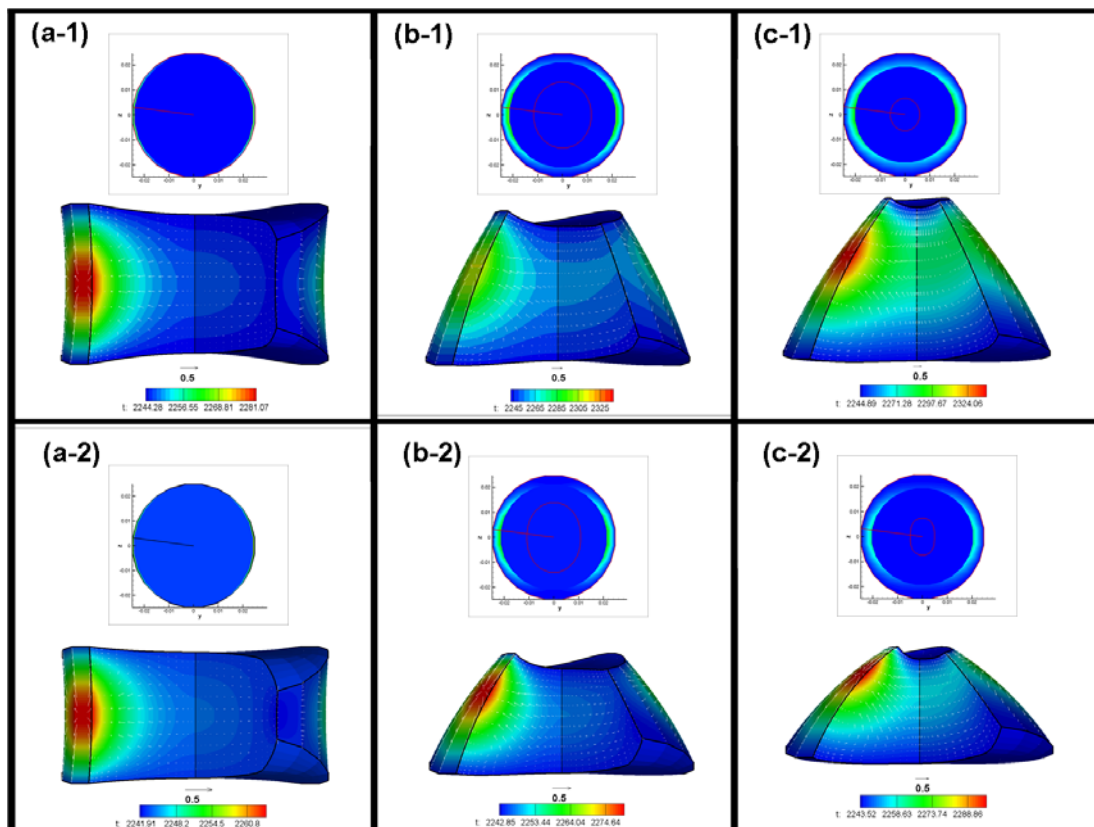


圖 2-6.為源棒直徑 500um，縮徑比 1、0.5、0.25 生長之熔區流場與溫度模擬，垂直流場 w 強度以最大與最小 25 等分呈現，色標為溫度場，矢量單位 cm/sec。當縮徑比 1 時，(a-1)為高輸入功率熔區流場與溫度場，插圖為俯視圖。(a-2)為低輸入功率。當縮徑比為 0.5 時，(b-1)為高輸入功。(b-2)為低輸入功率。當縮徑比為 0.25 時，(c-1)為高輸入功。(c-2)為低輸入功率。

我們嘗試增加sapphire plate熱容片與靜電力輸出等附件，改變LHPG生長腔內熔區週遭的加熱分佈使長方形熔區穩定如圖2-7，進而以籽晶寬度生長出帶狀薄體單晶結構，將有利於太陽電池效能以及相關光電元件製程之簡化。藉由雙纖衣晶纖製程經驗得知，當sapphire plate熱容片受熱雷射光束後，間接改變加熱布方式來降低雷射加熱敏感擾動與熱分布是可行的。由於長方形熔區型狀的維持，在已知寬面上需要有均勻且足夠的表面張力來維持，同時晶纖相接熔區位置外接適當直流電源電路，藉由兩側平面靜電同性相斥擠壓，兩側寬面異性相吸拉扯強化薄體效果。在一定速度比下，控制電流與電壓強度將圓柱狀單晶晶纖形變出帶狀薄體之單晶。如此應該可以節省圓柱狀塊材切割之損耗，降低元件製作成本，實為本計畫之動機之一。再以如圖2-8方式編織此帶狀薄體晶纖與金屬導片，並配合上下保護貼膜封裝而得到軟性太陽能晶片，實為本動機之二。初期實驗以Si矽基材料為主，是基於太陽電池廣大之應用。而單晶片薄度與表面增大之結果，是否會造成結構缺陷，以及殘餘內應力之增減亦是檢測與研究重點。

台灣地區依年四季陽光充足(尤其是南部地區，平均日照時間均優於其他地區)，然而太陽能晶片的應用尚不普及。除了目前應片價格價格仍高外，受制於晶片硬式薄片形態應用限制。目前一般Si基太陽能晶片均為大直徑之塊材原棒經切割研磨拋光之硬體薄片，除了加工過程繁瑣與損耗，對於軟性(諸如：衣服、傘具等)或平滑多型態襯底物件(諸如：汽車、飛機等)之應用現制諸多，我們認為發展Si基軟性太陽能晶片在應用上可擴及並結合所有日常生活用品，除可作為動力輔助電力外並可達到隔熱之效果，如圖2-9。我們查詢相關文獻，並無以原料經浮動熔區控制，直接加工製成薄體晶纖，再以編織方式得到類似布料之軟性產品之報導與發表。此以薄體銅絲編織薄體晶片結構形成太陽能晶片之新觀念，除可降低加工程序繁瑣與損耗之成本外，並可增加晶片之可加工性，擴大晶片之應用與效能。基本上開發軟性薄體太陽能Si晶片，應可達到以下三點之效益：

- (1).生產當中避免切割等材料損耗，簡化加工程序，降低生產成本。
- (2).提升太陽能晶片應用範圍，擴及至食衣住行之日用品，達到節能減碳之目的。
- (3).產品薄度提升，節省材料，提升轉換效能。

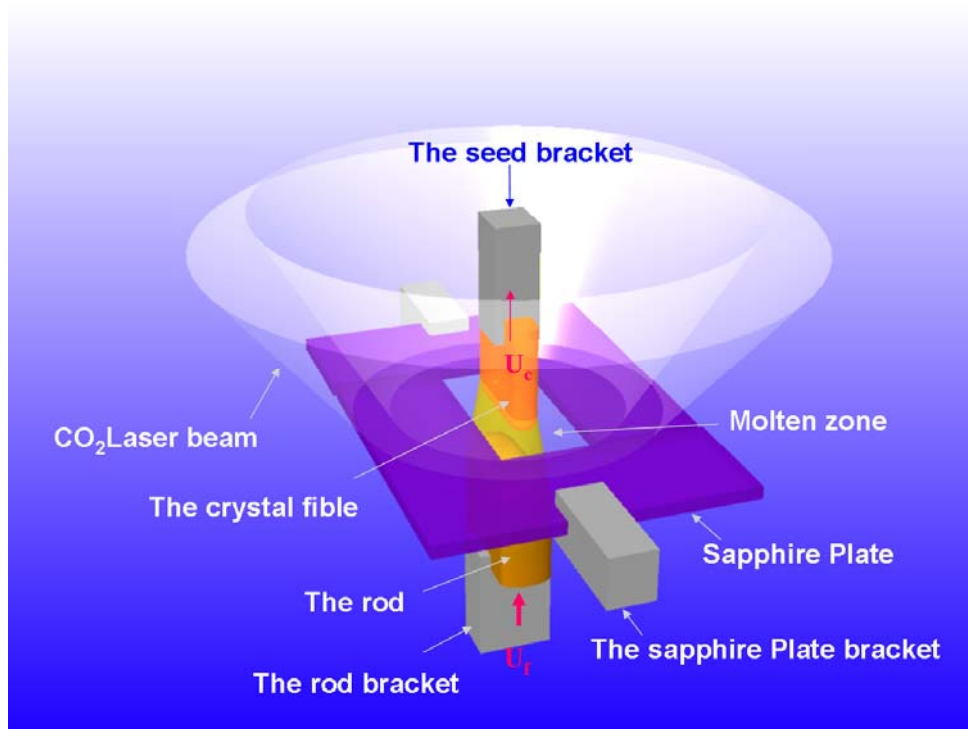


圖2-7：於LHPG生長腔架設sapphire plate生長帶狀晶片架構圖。

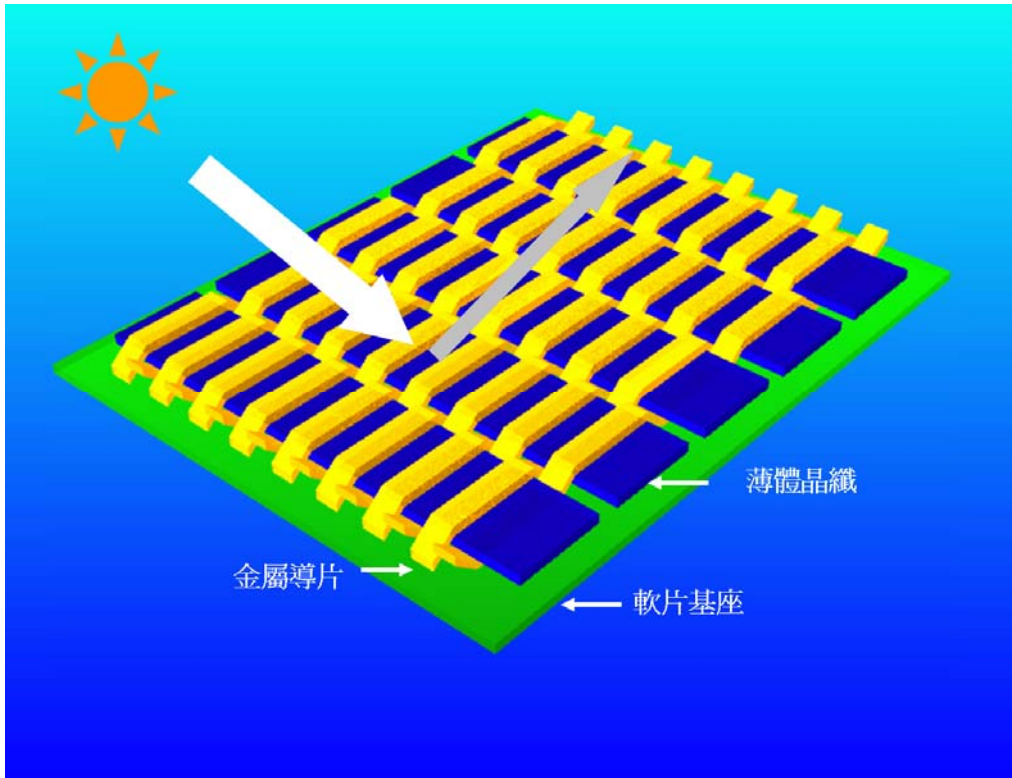


圖2-8：軟性薄體太陽晶片結構示意圖。



圖2-9：以編織之晶片可達到較高效能軟性鋪貼，適用於各種交通工具與服飾，可提升隔熱與提供輔助電力之效能。

陸、參考文獻：

1. M. M. Fejer, J. L. Nightingale, G. A. Magel, & R. L. Byer, (1984), "Laser-heated miniature pedestal growth apparatus for single-crystal optical fibers," *Rev. Sci. Instrum.* **55**, 1791.
2. R. S. Feigelson, W. L. Kway, & R. K. Route, (1985), "Single crystal fibers by the laser-heated pedestal growth method," *Opt. Eng.* **24**, 1102.
3. R. S. Feigelson, (1986), "Pulling optical fibers," *J. Cryst. Growth* **79**, 669.
4. C. W. Lan & S. Kou, (1991), "Heat transfer, fluid flow and interface shapes in floating-zone crystal growth," *J. Cryst. Growth* **108**, 351.
5. C. W. Lan & S. Kou, (1990), "Thermocapillary flow and melt/solid interfaces in floating-zone crystal growth under microgravity," *J. Cryst. Growth* **102**, 1043.
6. C. W. Lan, (1994), "Newton's method for solving heat transfer, fluid flow and interface shapes in a floating zone," *Int. J. Numer. Methods Fluids* **19**, 41.
7. C. W. Lan & S. Kou, (1993), "Radial dopant segregation in zero-gravity floating-zone crystal growth," *J. Cryst. Growth* **132**, 578.
8. C. W. Lan, (2003), "Three-dimensional simulation of floating-zone crystal growth of oxide crystals," *J. Cryst. Growth* **247**, 597-612.
9. C. Y. Lo, K. Y. Huang, J. C. Chen, S. Y. Tu, & S. L. Huang, (2004), "Glass-clad Cr⁴⁺:YAG crystal fiber for the generation of superwideband amplified spontaneous emission," *Opt. Lett.* **29**, 439.
10. Emmanuel Fritsch and Benjamin Rondeau, (2009), "Gemology: The Developing science of gems," *J. elements* **5**.
11. Chia-Yao Lo, **Peng-Yi Chen***, "Three-dimensional Simulation and Experiment on Micro-floating Zone of LHPG with Asymmetrical Perturbation," to appear in *J. Cryst. Growth* (2012).
12. **Peng-Yi Chen**, En-Ping Huang and Chia-Yao Lo*, (2012), "Three-dimensional simulation and analysis for heat transfer and flow field on micro-floating zone of LHPG with asymmetrical perturbation," *J. Cryst. Growth* **306**, 111-118.
13. Chun-Lin Chang, Sheng-Lung Huang, Chia-Yao Lo, Kuang-Yao Huang, Chung-Wen Lan, Wood-Hi Cheng, **Peng-Yi Chen***, (2011), "Simulation and Experiment on Laser-Heated Pedestal Growth of Chromium-doped Yttrium-Aluminum-Garnet Single-Crystal Fiber," *J. Cryst. Growth* **318**, 674-678.
14. **P. Y. Chen**, C. L. Chang, C. W. Lan, W. H. Cheng, and S. L. Huang*, (2009), "Two-dimensional simulations on heat transfer and fluid flow for yttrium aluminum garnet single crystal fiber in laser-heated pedestal growth system," *Jpn. J. Appl. Physics* **48**, 115504.
15. **P. Y. Chen**, C. L. Chang, K. Y. Huang, C. W. Lan, W. H. Cheng, and S. L. Huang*, (2009), "Experiment and simulation on interface shapes of yttrium-aluminum-garnet miniature molten zone formed using laser-heated pedestal growth method for single crystal fibres," *J. Appl. Crystallography* **42**, 553-563.

柒、計畫結果自評：

2012.1.1 日至 2012.10.31 日，共計 10 月工作天。感謝國科會對本人研究之贊助。本人以有限人力與資源達成第一年計畫目標中有關晶纖檢測高倍光學檢測儀器與模擬用工業電腦採購。其中亦已完成有關平面對稱加熱晶體光纖生長之模擬分析。對於薄體或橢圓狀晶纖形貌生產之可行性預作規劃與準備。另外亦積極規劃 Si 基軟性薄體太陽電池之研發工作。其製程亦積極申請專利中。

捌、附錄(已發表論文)：

計畫執行期間以第一作者或通訊作者，共計發表 SCI 期刊論文兩篇，另一篇已獲 The 7th International Workshop on Modeling in Crystal Growth (IWMCG-7)國際研討會接受海報發表，並於審核後發表於 J. Cryst. Growth 期刊)。研討會論文共計四篇。

I. SCI listed paper

1. Chia-Yao Lo, **Peng-Yi Chen***, “Three-dimensional Simulation and Experiment on Micro-floating Zone of LHPG with Asymmetrical Perturbation,” to appear in J. Cryst. Growth (2012).
2. **Peng-Yi Chen**, En-Ping Huang and Chia-Yao Lo*,(2012), “ Three-dimensional simulation and analysis for heat transfer and flow field on micro-floating zone of LHPG with asymmetrical perturbation,” J. Cryst. Growth **306**, 111-118.
3. Chia-Yao Lo, **Peng-Yi Chen***, “Study of three-dimensional simulation in micro-floating zone of LHPG with heating on both sides of molten zone under plane symmetry,” to contributions in J. Cryst. Growth (2012).

II. Conference & proceeding paper:

1. **陳平夷**, 張哲源, 羅家堯, 黃, 陳淑娟 “LHPG 法生長 Cr;Nd:YAG 晶體光纖之偏析實驗與模擬分析,” 中國鑛冶工程年會 101 年年會, 臺北, 台灣(2012).
2. **陳平夷**, 張哲源, 羅家堯, 黃, 陳淑娟 “高品質 YAG 人造寶石之偏析實驗與模擬,” 2012 美和珠寶研討會, 屏東, 台灣(2012).
3. 溫紹炳, 陶志行, **陳平夷**, 溫雅蘭 “珠寶鑑定與識別雲端專家作業系統之研發,” 中國鑛冶工程年會 100 年年會, 臺北, 台灣(2012).
4. **陳平夷**, 張哲源, 羅家堯, 黃, 陳淑娟 “Dopants concentration in crystal growth by Laser Heated Pedestal Growth(LHPG),” 2012 國際珠寶學術年會暨中國地質大學(武漢)珠寶學院二十周年研討會, 大陸地區, 武漢(2012).

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：101 年 12 月 1 日

計畫編號	NSC 101-2218-E-276-001-		
計畫名稱	LHPG 晶纖生長數值模擬後續研究與 Si 薄體晶纖太陽電池研發		
出國人員姓名	陳平夷	服務機構及職稱	美和科技大學珠寶系 助理教授
會議時間	101 年 10 月 28 日 至 101 年 10 月 30 日	會議地點	大陸地區武漢中國地質大學(武漢)
會議名稱	(中文)2012 國際珠寶學術年會 (英文) 2012 International Gemology Conference		
發表題目	(中文) 雷射加熱基座法(LHPG)晶體生長之摻雜濃度探討 (英文) Dopants concentration in crystal growth by Laser Heated Pedestal Growth(LHPG)		

一、參加會議經過：

欣逢 2012 年 10 月 28 日至 2012 年 10 月 30 日為中國地質大學(武漢)珠寶學院舉辦 2012 國際珠寶學術年會暨二十周年慶典，又逢地質大學四十周年校慶。基於美和科大珠寶系主任受邀參與大會，同時本人以第一作者投稿論文「雷射加熱基座法(LHPG)晶體生長之摻雜濃度探討」亦獲接受發表。本人於 2012 年 10 月 27 日由高雄出發於下午 1430 時到達武漢天河機場，第二日(2012/10/28)完成報到程序。第三日(2012/10/29)0900 時研討會大會開始，直至第四日(2012/10/30)下午 1700 時研討會結

東，本人亦於第五日(2012/10/31)上午 08300 時搭機經由香港返台，於下午 1800 時抵台完成研討會任務。相關紀錄相片如圖 1、2 所示。



圖 1. 會場地點



圖 2. 大會講台

二、與會心得

由於中國地質大學(武漢)珠寶學院，近年來相關寶石領域發展迅速。本系又是台灣首創之珠寶科系，人工寶石領域又極具發展潛能。本人基於系主任職責與人工寶石研究範疇與晶體生長研究，實有必要與會了解兩岸珠寶之發展。首先感謝國科會計畫對於這次國際會議研究計畫的經費補助和支持，除了吸收世界各地優秀學者所提供的研究資訊之外，並與地大珠寶學院生相談交流等事宜，對於這種直接面對面交流與觀摩的機會，在會中交換最新成果和意見交換學習對提升新寶石鑑定技術的研究開發和寶石應用與材料開發都能促進更多技術的提升也更能夠提升國內的研究水準，並提高台灣珠寶與人工寶石發展在國際學術研究上的能見度。

三、發表論文全文或摘要

論文集如圖 3 證明。



圖 3. 論文發表證明

全文摘要如下所列：

雷射加热基座法(LHPG)晶体生长之掺杂浓度探讨

Dopants concentration in crystal growth by Laser Heated Pedestal Growth(LHPG)

陈平夷^{*1}(Peng-Yi Chen) ■ 张哲源²(Jer-Yuan Chang) ■ 罗家尧³(Chia-Yao Lo) ■ 陈淑娟¹(Shu-Chuan Chen)

¹美和科技大学珠宝系(Department of Gemology, Meiho University, Pingtung 91202, Taiwan)

²永达技术学院生物科技系(Department of Biotechnology, Yung-Ta Institute of Technology, Pingtung 90942, Taiwan)

³国立台湾海洋大学光电科学研究所(Institute of Optoelectronic Sciences, National Taiwan Ocean University, Keelung 20224, Taiwan)

中文摘要

以人工方式生长高质量晶体宝石，是现今材料发展趋势之一。由于宝石的质量还包括宝石内掺杂离子浓度高低与分布，因此掺杂物浓度探讨也是宝石晶体重要课题。为了有效率得到高质量晶体宝石，我们使用融熔生长方式的同时，还必须考虑舍去容器与坩埚所造成的污染。而浮动熔区生长法无容器之污染，它具有纯化与提升晶体质量之优点。雷射加热基座法(LHPG)结合浮动熔区与基座之优点，广为一般实验室与产业所应用。由于浮动熔区亦引发热毛细对流，以及掺杂物扩散能力的不同使得生长出之晶体内掺杂物浓度分布差异较大。我们以低浓度钕(Nd)与铬(Cr)离子掺杂于钇铝石榴石(YAG)为实验材料，探讨LHPG法晶体生长所造成的浓度变化。并配合二维数值模拟分析，来了解相关物理机制。

其数值方法是应用有限体积法，其网格并经体适网格转换。为了提升模拟的仿真度与呈现更真实的物理涵义，均先行完成熔区形状与实验比对。再控制相关参数作为分析依据。由于Nd与Cr离子偏析系数之差异，使得径向浓度分布呈现完全相反分布趋势。在利用模拟所得验证了相关物理机制，期望相关的实验与模拟分析能提供以LHPG或类似浮动熔区晶体生长操作之参考，并为提升晶体质量作出贡献。

关键词：热传、流场、雷射加热基座法、单晶成长、钇铝石榴石、偏析

英文摘要

One of the trend for material development is to grow high-quality crystal jewel by artificial method. The controlling factors influencing the quality of the jewel include the concentration and the distribution of dopants. It is an important topic to investigate the dopants concentration in crystal jewel. In order to produce high-quality crystal jewel efficiently, melting growth has to remove the contaminants coming from crucible. Floating-melting-zone shows the advantage of promoting the crystal quality, because there is no contaminants. Laser Heated Pedestal Growth(LHPG), combining both the advantages of Pedestal Growth and Floating-melting-zone Method, was widely used by industry. Because of heat-induced capillary flow in the melting zone and the different diffusion rate of the various dopants, there will be great difference in dopant concentration distribution. In this study, low concentration of Nd ion and Cr ion was used as dopant in YAG, respectively, and the change in concentration in LHPG crystal was investigated. Two-dimension numerical simulation analysis was used to understand those related physical mechanism.

Finite volume method was used, and the grid was transformed by non-orthogonal body-fitting grid system. In order to approach real floating melting zone and to show the realistic physical meaning, the shape of the molten zone was compared between simulation and experiment in advance. The radial concentration distribution showed completely opposite tendency between Nd ion and Cr ion, because of the different segregation coefficients. Those related physical mechanism was verified by simulation. The results of our experiments and simulation were expected to provide detailed condition of crystal grown by LHPG or similar floating-melting-zone method, and to offer contribution finally.

Keywords: A1. Heat transfer, A1. Fluid flows, A2. Laser heated pedestal growth, A2. Single crystal growth, B1. Yttrium compounds, B2. segregation

四、建議

建議加強兩岸學術與科技研究合作議題，成立永久合作機構與中心，不但可嘉惠師生，又可洞悉世界發展。本校老師與培育的學生亦可進行交換學習，故在此建議多致力補助於給學生有出國磨練的機會，不但在英文程度上進步神速，而且更具國際觀，可領先世界。

五、攜回資料名稱及內容

1. 大會精美論文集一份。
2. 大會附贈環保袋、筆記本一只。
3. 中國地質大學四十週年紀念冊與大會紀念品一份。

六、其他

無

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/11/22

國科會補助計畫	計畫名稱: LHPG 晶纖生長數值模擬後續研究與Si 薄體晶纖太陽電池研發
	計畫主持人: 陳平夷
	計畫編號: 101-2218-E-276-001- 學門領域: 太陽能光電
無研發成果推廣資料	

101 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：陳平夷		計畫編號：101-2218-E-276-001-				
計畫名稱：LHPG 晶纖生長數值模擬後續研究與 Si 薄體晶纖太陽電池研發						
成果項目		量化			單位	備註(質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等)
		實際已達成數(被接受或已發表)	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比		
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	無
		研究報告/技術報告	1	1	100%	完成(高雄地區金銀珠寶產業經營創新與行銷提升計畫)101 年度學界協助中小企業科技關懷計畫專案輔導計畫結案報告。
		研討會論文	2	2	100%	於11月2日於101年中國鑛冶年會發表(以LHPG法生長Cr;Nd:YAG之偏析實驗與模擬分析)一篇與101年8月31日於美和科大2012美和珠寶研討會發表(高品質YAG人造寶石之偏析實驗與模擬分析)一篇,共計兩篇。
		專書	0	0	100%	無
	專利	申請中件數	1	1	100%	Si 基軟性薄體太陽能晶片製程申請中。
		已獲得件數	0	0	100%	無
	技術移轉	件數	0	0	100%	無
		權利金	0	0	100%	千元 無
	參與計畫人力(本國籍)	碩士生	0	0	100%	無
		博士生	1	1	100%	義守大學陳淑娟同學參與計畫實施。
		博士後研究員	0	0	100%	無
		專任助理	0	0	100%	無
國外	論文著作	期刊論文	2	2	100%	篇 論 文 (Three-dimensional simulation and experimenton micro-floating zone of LHPG with asymmetrical perturbation) 與

						(Three-dimensional simulation and analysis of heat transfer and flow field in micro-floating zone of LHPG with asymmetrical perturbation) 投稿 Journal of Crystal Growth (SCI) 期刊, 均獲接受並以電子期刊發表, 後者將於 2012 年 12 月書面刊出. 尚有一篇 (Study of three-dimensional simulation in micro-floating zone of LHPG with heating on both sides of molten zone under plane symmetry) 已投稿 Journal of Crystal Growth (SCI) 期刊.
	研究報告/技術報告	0	0	100%		無
	研討會論文	1	1	100%		於 2012 年 10 月 29 日至 30 日參加中國地質大學(武漢)國際珠寶研會研討會發表(雷射加熱基座法(LHPG)晶體生長之摻雜濃度探討)一篇.
	專書	0	0	100%	章/本	無
專利	申請中件數	1	1	100%	件	Si 基軟性薄體太陽能晶片製程申請中.
	已獲得件數	0	0	100%		無
技術移轉	件數	0	0	100%	件	無
	權利金	0	0	100%	千元	無
參與計畫人力 (外國籍)	碩士生	0	0	100%	人次	無
	博士生	0	0	100%		無
	博士後研究員	0	0	100%		無
	專任助理	0	0	100%		無

<p>其他成果 (無法以量化表達之 成果如辦理學術活 動、獲得獎項、重要 國際合作、研究成果 國際影響力及其他協 助產業技術發展之具 體效益事項等，請以 文字敘述填列。)</p>	<p>1. 自民國 101 年 5 月 1 日起至民國 101 年 10 月 31 日止，擔任專案計畫主持人。推動經濟部 101 年度學界協助中小企業科技關懷計畫專案「高雄地區金銀珠寶產業經營創新與行銷提升計畫」(計畫編號：101-MEA-DOG-IAC-R -009)。該輔導計畫係以美和科大相關科系 11 位輔導教師結合高雄市金銀樓公會所屬 22 家廠商，以診析輔導與授課方式提昇高雄地區珠寶銀樓業者行銷能力與轉型服務之計畫案，輔導成效顯著，圓滿達成。</p> <p>2. 自民國 101 年 8 月 1 日起至民國 102 年 7 月 31 日止。執行國科會提升私校研發能量專案計畫(整合型)案「珠寶鑑定與識別雲端專家作業系統之研發」(計畫編號：NSC 101-2632-M-276 -001 -)，擔任計畫主持人。該計畫係以美和科大珠寶系為主結合相關科系等三位教授執行四個子計畫，以高階鑑定與識別技術，研發建立全國珠寶相關雲端專家系統，目前正執行第一年計畫進度。</p> <p>3. 2009 年' Heat transfer and fluid flow for growing yttrium aluminum garnet single-crystal fibers in two-dimensional simulations' 獲得 Optics and Photonics Taiwan' 09，最佳學生論文獎。</p> <p>4. 2010 年' 高高屏地區珠寶飾品購置意向探討' 獲得' 2010 南台灣休閒產業理論與實務研討會' 最佳論文獎。</p> <p>5. 2011 年擔任 Journal of Crystal Growth 論文編號：CRYS-D-11-00793 論文審查人。</p> <p>6. 2012 年擔任 2012 年 the 7th Int. Workshop on Modeling in Crystal Growth 籌組委員。</p>
---	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

計畫執行期間以第一作者或通訊作者，共計完成發表 SCI 期刊論文兩篇，另一篇已獲 The 7th International Workshop on Modeling in Crystal Growth (IWCMG-7) 國際研討會接受海報發表，並於審核後發表於 J. Cryst. Growth 期刊。研討會論文共計四篇。相關製程專利正申請中。

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

人工晶體之研發已是全世界材料發展主流。本人以人工晶體生長為研究領域，且目前服務於全國首創美和科技大學珠寶系。開發新的晶體材料與提升生長技術的發展，作為珠寶、光電等相關產業等上、中、下游產業之應用，是本人目前首要的研究方向。眾所皆知，晶體材料在應用上已日趨寬廣與重要。尤其是單晶結構材料因為晶體結構一致，往往都比多晶或玻璃化結構效能更佳，甚至有些晶體具有優異之光電效應，廣泛應用於光電六大產業當中。在無機晶體當中，具高硬度之無機化合物，又稱之為寶石。然而大部分天然寶石礦物，因內含多種雜質、包裹體與裂隙，純度與結構完整性較差。某些稀有、較美觀之晶體種類，受制於商場炒作，價格昂貴，僅適於珠寶飾品收藏觀賞，利用價值受限。因此，因應市場大量之寶石需求與商機，人工寶石之研發是有其刻不容緩之必要性。一般人工寶石 (artificial products) 系涵蓋有兩部分，當寶石成份有對應於天然寶石的稱之為合成寶石 (synthetic stones) 與無對應的稱之為人造寶石 (artificial stones)。兩者單晶結構體，前者廣泛應用於各價位之珠寶流行飾品之設計與製作，例如剛玉類寶石於鐘錶之表面之抗磨損等。而後者不同晶面的單晶，更是廣泛應用於光電產業，尤其是各種光通訊主、被動元件、雷射、光放大器等。所以各種定向單晶的生長方法，能夠有效率的生產品質優異之

單晶塊材或晶纖，已是現今材料發展之重要趨勢。其他應用，如金屬單晶用於航太材料，無機與有機單晶化合物應用於 IC 半導體、太陽晶片、生醫、藥品等材料。在珠寶藝術美學飾品材料上，人工寶石又能取代日漸稀少之天然寶石，並開發新品種之寶石，以滿足人們在美學上之需求。在 2009 年 element 的期刊中，特別對珠寶產業作一專題探討，文中提到至 2009 年初止，珠寶產業產值已達到約每年 150 億美金，世界各國之相關產業亦蓬勃發展，因此人工寶石成為現今產業主流，名符其實的『明日之星』。

因應國際能源危機與綠能環保意識升高，太陽能之應用已刻不容緩，而現行太陽晶片技術發展亦日趨成熟，效能亦逐日提昇。然而上有許多技術與應用問題亟待解決，尤其是以 Si 基為主之太陽晶片。晶片製程程序較為繁瑣，切割技術與損耗等問題均須提升與解決。又因為硬式組片結構，在應用上無法擴及日常生活之軟性服飾與流線形之交通工具。因此若能以晶體生長控制得到薄體晶纖，再以編織方式製作軟性薄體晶片，發展出軟性 Si 基太陽晶片應可降低加工成本，擴大應用層面。因此在現有之基礎上，持續以下兩個研發課題：

1. 人工晶體生長實驗與理論探討.
2. 軟性薄體太陽能 Si 晶片之研發.

因此本計劃案目的，擬欲達成兩個目標。

一、首先是藉由實驗與模擬比對，提升晶纖品質：

由目前所建立的 LHPG 二維與三維擬穩態的微浮動熔區熱毛細流模式為基礎下，對不同的加工製程加以模擬，降低晶纖產品生產成本外。並持續擴展出更微觀的模擬架構探討晶體動力機制模式。例如過冷態下的偏析特性。以及玻璃包覆之雙層纖衣晶體光纖，所觀測到的晶面形態幾何變化的熔蝕與晶面競生效應。

二、提升 Si 基太陽能晶片之整體效能：

就是藉由生長腔以 sapphire plate 熱容片與靜電力輸出等附件，改進後的 LHPG 之微浮動熔區形態控制操作經驗，驗證帶狀薄體晶片生長之可行性，初步達成薄度 $100\ \mu\text{m}$ ，寬度 0.5cm ，長度 10cm 之晶體生長。並利用固液介面形態之控制來增強晶體結構，降低殘存內應力，簡化加工製程與材料切割損耗。再以編織方式得到軟性晶片擴大應用性。初期原型晶片電力評估為達到目前一般太陽能輸出效能。