

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

半導體量子元件及奈米結構之高效能與節能應用(1/3) 期中進度報告(精簡版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 99-2120-M-009-009-
執行期間：99年08月01日至100年07月31日
執行單位：國立交通大學電子工程學系及電子研究所

計畫主持人：李建平
共同主持人：孫建文、顏順通、霍斯科、孫允武、李柏聰
林國瑞、林聖迪

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 100年05月19日

奈米國家型科技計畫研究重要成果表

(以下資料請中、英文並呈)

1. 計畫背景：

計畫主持人及共同主持人 (PI and Co-PIs)：

計畫主持人：李建平

共同主持人：孫允武 孫建文 顏順通 霍斯科 林國瑞 林聖迪 李柏聰

研究題目 (Project Title)：

半導體量子元件及奈米結構之高效能與節能應用(1/3)

主持人執行機構 (Organization)：

國立交通大學

全程計畫執行期限 (Project period)：

99年8月1日 ~ 102年7月31日

分年經費 (Budget per year)：

99年 - 12,000,000

100年 - 12,000,000

101年 - 12,000,000

2. 計畫目標：

計畫中的研究目的及技術優勢總合如下：

- 發展降溫效率更佳及操作溫度更低的半導體電漿子冷光致冷器。
- 研究在磁場下發光元件及太陽能晶片的光電流傳導效應。
- 發展及修正有關成長矽(Si)、砷化銻(InAs)、銻化銻(InSb)、及鍺(Ga)量子點在不同材料之光電晶片的奈米印刷術與可控制自組裝成長技術。
- 研究奈米尺寸太陽能晶片的光反應及能量轉換。
- 建立將奈米元件效能最佳化之電腦計算程式。
- 驗證及建立有關奈米尺寸效應及特性的模型，這個結果對於半導體奈米元件的光電特性及熱效應的研究有很大的助益。
- 強大的研究團隊—有著來自各個不同領域的專家提供專長技術並分工合作。
- 完全支持的後盾—有交通大學及其奈米科技中心提供支援。

本計畫成功的條件是建立我們有著在對材料的了解研究及集結最先進奈米分析技術，我們有自信能利用半導體結構製作出不但節能且高效率的電子元件。

3. 參與計畫單位及人數：45人

No.	姓名	學校	系所	級職
1	李建平	交通大學	電子系	教授
2	林大鈞	交通大學	電子系	研究生

3	鄭旭傑	交通大學	電子系	研究生
4	蘇聖凱	交通大學	電子系	研究生
5	李宗霖	交通大學	電子系	研究生
6	林岳民	交通大學	電子系	研究生
7	林建宏	交通大學	電子系	研究生
8	翁暄琳	交通大學	電子系	研究生
9	孫耘	交通大學	電子系	研究生
10	孫允武	中興大學	物理系	教授
11	郭鴻榮	中興大學	物理系	研究生
12	陳煜仁	中興大學	物理系	研究生
13	蘇稜皓	中興大學	物理系	研究生
14	林育正	中興大學	物理系	研究生
15	孫建文	交通大學	應用化學系	教授
16	柯廷育	交通大學	應用化學系	研究生
17	彭詩翔	交通大學	應用化學系	研究生
18	蔡孟勳	交通大學	應用化學系	研究生
19	劉昱麟	交通大學	應用化學系	研究生
20	黃昭凱	交通大學	應用化學系	研究生
21	陳政元	交通大學	應用化學系	研究生
22	顏順通	交通大學	電子系	教授
23	鐘佩鋼	交通大學	電子系	研究生
24	王德賢	交通大學	電子系	研究生
25	李冠成	交通大學	電子系	研究生
26	洪唯倫	交通大學	電子系	研究生
27	張皓宇	交通大學	電子系	研究生
28	蕭晉勳	交通大學	電子系	研究生
29	林芳如	交通大學	電子系	研究生
30	沈庭宇	交通大學	電子系	研究生
31	霍斯科	交通大學	電子系	教授
32	Le Minh Thu	交通大學	電子系	研究生
33	林國瑞	交通大學	電子系	教授
34	林聖迪	交通大學	電子系	教授
35	張家豪	交通大學	電子系	研究生
36	林仕偉	交通大學	電子系	研究生
37	李書誠	交通大學	電子系	研究生
38	賴博亞	交通大學	電子系	研究生
39	翁思強	交通大學	電子系	研究生

40	許方則	交通大學	電子系	研究生
41	王參豪	交通大學	電子系	研究生
42	李柏聰	交通大學	光電系	教授
43	郭光揚	交通大學	光電系	研究生
44	林品佐	交通大學	光電系	研究生
45	蔡家揚	交通大學	光電系	研究生

4. 請列出最具代表性之論文或專利**至多 6 篇**：

1. C.K. Huang, H.H. Lin, J.Y. Chen, K.W. Sun*, and W.-L. Wang, "Efficiency Enhancement of the Poly-silicon Solar Cell Using Self-assembled Dielectric Nanoparticles", published online in Solar Energy Materials and Solar Cells 2011 ([doi:10.1016/j.solmat.2011.03.006](https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.03.006)).
2. "A metal-insulator-semiconductor solar cell with high open-circuit voltage using a stacking structure", Tzu-Yueh Chang, Chun-Lung Chang, Hsin-Yu Lee, and Po-Tsung Lee, IEEE Electronics Device Letters Vol. 31, pp. 1419-1421 (2010).
3. L. M. Thu, W.T. Chiu, and O. Voskoboynikov, "Inhomogeneous broadening of the excitonic peaks for ensembles of concentric triple nano-rings", Physical Review B, vol. 83, no. 12, pp. 125301-1-6, (2011).
4. L.M. Thu, W.T. Chiu, Ta-Chun Lin and O. Voskoboynikov, "Effect of the geometry on the excitonic diamagnetic shift of nano-rings", Physica Status Solidi C vol. 8, no. 2, pp. 375-377, (2011).
5. Shun-Tung Yen and Kuan-Chen Lee, "Analysis of heterostructures for electroluminescent refrigeration and light emitting without heat generation", *J. Appl. Phys.* **107**, 054513 (2010).
6. Pin-Tso Lin, Po-Tsung Lee "All-optical controllable trapping and transport of subwavelength particles on a tapered photonic crystal waveguide", Optics Letters, **Vol. 36**, pp. 424-426 (2011).

5. 計畫已獲得之**主要成就與成果**（請列出相關文獻及圖表，**內容以整體計畫呈現，500 字為限，請勿以分項成果條列說明**）：

我們藉由多層堆疊的結構成功的提升 MIS 太陽能電池的開路電壓。結合 n 型以及 p 型 MIS 太陽能電池能夠有效的提升開路電壓。在實驗的量測結果，開路電壓為 0.71 伏特高於 n 型或者 p 型 MIS 太陽能電池不論是否有表面鈍化處理。我們已成功將奈米結晶矽量子點製作於氧化鋅薄膜內部。

我們透過元件模擬的方式，對光子回收的效應進行深入的分析。我們發現，如同太陽能電池，光子回收效應提供了元件內部複合所需的載子，因此降低注入的電流密度(injection current density)，進而提升外部量子效率(external efficiency)。在理想情況下，光致冷的光萃取效率門檻，因光子的回收大大地降低至 20% 以下。我們也推導出穩態下、考慮光子回收的外部量子效率表示式。藉由該式，毋須繁複的運算即可估得外部量子效率。以上的結果已整理就緒，將於近期投稿至國際應用物理期刊(Journal of Applied Physics)。

另一方面，我們藉由製作抗反射層成功的提升商用多晶矽太陽能電池效

率。這裡我們使用兩種方法：(a)利用奈米壓印製作次波長結構，(b)利用水熱法成長氧化鋅奈米柱結構；均是以低成本的方法製作抗反射層且應用於太陽能電池上，藉此提升轉換效率。

We successfully demonstrated the feasibility of the V_{oc} enhancement of MIS solar cells by using a stacking structure. A stacking metal-insulator-semiconductor (MIS) solar cell structure, which integrates an n-type MIS solar cell with a p-type MIS solar cell, is proposed to effectively enlarge the open-circuit voltage (V_{oc}). The measured V_{oc} is up to 0.71 V under simulated air mass 1.5 illumination (100 mW/cm^2). This V_{oc} is larger than those of the n-type or p-type MIS solar cells with or without surface passivation. We had successfully fabricated the nano-crystalline Si quantum dots embedded in ZnO thin films.

We have investigated theoretically the photon recycling effect on the threshold condition for electroluminescent cooling. As in photovoltaic diodes, the photon recycling provides additional electron-hole pairs for cooling. This reduces the injection current and hence increases the external efficiency h_{ext} . The photon recycling renders the required h_{xp} less than 20%. We have also derived a simple mathematical formula with the photon recycling effect for estimating the external efficiency. The formula allows us to easily grasp the external efficiency as a function of the extraction, the photon recycling, the internal, and the injection efficiencies. The results will be submitted for publication.

We also succeeded in the fabrication of anti-reflection (AR) layers on commercially available poly-Si solar cell to improve the energy conversion efficiency. Two types of AR layers were developed – (a) subwavelength gratings using nano-imprinted technology and (b) self-aligned ZnO nanorods using hydrothermal growth method. Both techniques provide a true low cost method for AR applications in solar cells to improve light harvesting efficiency.

We have developed a method of simulations of physical properties of semiconductor nano-object ensembles with a wide dispersion in geometry, material parameters, and spatial distributions. To demonstrate our method, we theoretically studied the optical characteristics of ensembles of triple concentric nano-rings. We have obtained the optical emission spectra of the ensembles in a very good agreement with the experimental data.

6. 上述重大研究突破，與國際上類似領域之比較（內容以整體計畫呈現，500字為限，請勿以分項式條列說明）：

對於太陽能電池的效率改善上，我們藉由在開路電壓的提升或是利用降低反射率來提升光電流已有顯著的成果。並且於最近受邀國際出版社著作發表關於太陽能電池效能之章節。我們是首先提出以氧化鋅薄膜為矽量子點的矩陣材料的研究團隊，國際上目前尚無類似文獻發表。

我們的研究指出，改以電激發光的形式，可降低所需外部量子效率至 82%。目前這類型的研究尚不多見。然而，若忽視光子回收效應，此 82%外部量子效率需高達 87%的光萃取效率才可達成，而現今的元件架構難以達到此門檻。在今年度的研究之中，我們透過理論分析了解光子回收對元件的影響。研究指出，未脫逃的光子藉由主動層吸收再利用，可使得冷卻所需的光萃取效率降低至 20%以下。我們的研究成果將為半導體致冷元件的實現開啟一條新方向。除此之外，我們也修

正了考量光子回收的外部量子效率的表示式。這是在發光二極體領域常被忽略的。這樣的修正提供了一個簡便的方法，也讓光子回收在發光二極體的效應更容易分析。

We have already achieved a significant improvement in the conversion efficiency of the solar cell either by increase the open circuit voltage or reduce the surface reflectance and increase the photocurrent of the devices even we are still in the early stage of this project. Our work has been highly recognized and we were recently asked to contribute a book chapter on the topic of solar cell performance. We are the first proposing to use ZnO thin film as the matrix material for Si quantum dots. So far, there are no similar results published.

Our pioneering work shows that electroluminescent cooling requires only an external efficiency of 82%. Refrigeration by electroluminescence has not been widely investigated. In spite of the looser requirement, the required efficiency of 82% is still difficult to achieve. It is therefore the point of our work to realize a device with such a high efficiency.

This year, we have studied thoroughly the photon recycling effect, which has been generally neglected in research of optoelectronics. We also obtained a simple analytical formula for the external efficiency with photon recycling. With the aid of photon recycling, electroluminescent cooling requires only an extraction efficiency less than 20%. This makes it more possible to realize luminescent refrigeration in semiconductors.

7. 評估主要成果之價值與貢獻度：(請從學、技術創新、經濟效益、社會衝擊等影響面，內容以 300 字為限)：

一、學術面分析

我們已架設了一套非接觸、非破壞性的溫度量測系統。這樣的量測系統在學界是不常見的。它可提供學界、或產業界進行微小尺度下的溫度量測，為光電產業中的散熱研究、以及元件的可靠度分析提供了一個量測的方案。並提供效率更佳半導體電漿子冷光致冷器、奈米尺寸太陽能晶片、量子點在不同材料之光電晶片的奈米印刷術與可控制自組裝成長技術，刺激研究課題。建立相關領域研究水準，促進國際上的學術交流。

We have also built a system for temperature measurement without needing physical contact with samples. This system can detect a slight variation of temperature with a high spatial resolution. It will be provided to public service recently. This will help researchers who are engaged in heat dissipation and in IC reliability analysis. We will provide semiconductor based plasmonic cooling chips, nanoscale solar energy devices, nano-imprinting and self-assemble technologies on optoelectronic chips and stimulate related research topics. Building research standards and improve academic exchange with the international community.

二、技術創新面分析

提昇光電元件效率及太陽能元件能源轉換效率，以及製做、改良現有元件之功能及開發新穎光電、能源極致冷元件。我們開發一種新的且具潛力的矽量子點矩陣材料-氧化鋅薄膜，預期可有效提升矽量子點薄膜的光電特性。

Applying semiconductor nanostructures on energy-saving optoelectronics and solar cells, to fabricate and improve current device performance and to develop novel cooling elements. We develop a novel matrix material, ZnO, for Si quantum dots,

which has great potential for enhancing the electro-optical properties of the Si quantum dot thin films.

三、經濟效益面分析

培養相關研究領域之人力資源，促進技術之發展，跨領域整合及提昇國際上競爭力。

Incubating human resources in the related research area. Promoting technology development and multi-disciplinary integration to become international competitive.

四、社會衝擊等影響面

刺激相關光電、能源產業的開發、系統整合及技術提升。相關先進奈米光電技術如新穎太陽能電池。提供相關產業進行研發創意提昇。

Stimulating the related optoelectronics, material industry development, the system integration and improving the technology.

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2011/05/19

國科會補助計畫	計畫名稱: 半導體量子元件及奈米結構之高效能與節能應用(1/3)
	計畫主持人: 李建平
	計畫編號: 99-2120-M-009-009- 學門領域: 能源與環境技術
無研發成果推廣資料	

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：李建平		計畫編號：99-2120-M-009-009-					
計畫名稱：半導體量子元件及奈米結構之高效能與節能應用(1/3)							
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%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (本國籍)	碩士生	19	0	100%	人次	
		博士生	18	0	100%		
		博士後研究員	1	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	13	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	5	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (外國籍)	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<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>	第 14 屆國家講座主持人 - 李建平教授 (工程及應用科學)
--	---------------------------------

	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）

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）

計畫已獲得之主要成就與成果

我們已成功將奈米結晶矽量子點製作於氧化鋅薄膜內部。我們透過元件模擬的方式，在理想情況下，光致冷的光萃取效率門檻，因光子的回收大大地降低至20%以下。

上述重大研究突破，與國際上類似領域之比較

我們是首先提出以氧化鋅薄膜為矽量子點的矩陣材料的研究團隊，國際上目前尚無類似文獻發表。我們的研究指出，改以電激發光的形式，可降低所需外部量子效率至82%。目前這類型的研究尚不多見。我們的研究成果將為半導體致冷元件的實現開啟一條新方向。

評估主要成果之價值與貢獻度：

一、學術面分析

我們已架設了一套非接觸、非破壞性的溫度量測系統。它可提供學界、或產業界進行微小尺度下的溫度量測，為光電產業中的散熱研究、以及元件的可靠度分析提供了一個量測的方案。

二、技術創新面分析

提昇光電元件效率及太陽能元件能源轉換效率，以及製做、改良現有元件之功能及開發新穎光電、能源極致冷元件。

三、經濟效益面分析

培養相關研究領域之人力資源，促進技術之發展，跨領域整合及提昇國際上競爭力。

四、社會衝擊等影響面

刺激相關光電、能源產業的開發、系統整合及技術提升。相關先進奈米光電技術如新穎太陽能電池。提供相關產業進行研發創意提昇。