

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：物理科

作品名稱：光子晶體合成、特性與應用

得獎獎項：物理科佳作

學 校：臺北市立景美女子高級中學

作 者：陳一瑩

作者簡介



我是個平凡、快樂的高中生。我忙於學習，忙於經歷，也忙於朝我的理想邁進。

「人生最需要學習的，就是要懂得過生活」，這是爸媽的口頭禪，也是他們教育我的最高指導原則，也因之從小他們就引導我接觸生活中各種「真、善、美」的事物，讓我從內心去感受、去喜歡、去欣賞、去融入，進而從中學會感激、學會珍惜、學會尊重，也學會用寬廣的心看這個世界。這一份培訓，對我的影響很大，也促使我在青澀成長階段，還能保持平常心，樂觀、喜悅的面對成長過程中的種種不如意。

音樂、游泳、打空手道及旅遊是我的興趣。彈鋼琴、吹長笛、聽古典音樂，對我而言，是生活中非常重要的一部份，在我心情好的時候，音樂分享了我的喜悅，在我心情不好的時候，音樂平伏了我的心境。游泳、打空手道是我另一個最愛，當在水中隨意而游，或仰式、或自由式、或蛙式、或蝶式，那種全身在動的感覺，真是舒暢；而空手道，在手刀、迴旋踢、騎馬力的揮灑中，我感

受到力與美結合的喜悅，當然即將進入段位的我，也因此具有自我防衛能力，這是最感成就的地方。旅遊是我另一個興趣；墾丁的美、溪頭的幽靜、太魯閣傲人的鬼斧神工，雪梨音樂廳獨特的設計，東京紛華中的有序，以及新加坡多元的社會，都令我流連不已，「讀萬卷書、行萬里路」成爲我努力的目標。

在學科方面，我特別喜愛理科、及英文。我很喜歡物理、化學，它們使我對這個世界的各種現象，有更進一步的了解與體會。記得國中做校內科展時，從「單擺特性的研究與應用」中，我們發現單擺的實驗，竟然可以用來測量浮力的大小，並印證阿基米德原理，這個書本上找不到的發現，不但帶給我們極大的喜悅，也讓我體受到科學的奇妙與樂趣，從那個時候起，我就深深的喜歡上物理與化學。此外，英文是我另一個非常喜歡且非常有信心的一門課，從不斷的接觸與訓練中，英文早已成爲我生活的一部份，它不是外加的。

我很滿足我所擁有的一切，我也準備好以開放的心，踏上學習的每一個階段，好好的學習，也好好的經歷。

英文摘要 (Abstract)

The Synthesis, Characterization, and Application of Photonic Crystal

We report an investigation on the synthesis, characterization, and application of photonic crystal. In the study of the synthesis of SiO_2 nanoparticles for the building blocks of photonic crystal, it is found that by changing the concentration of NH_3 solution, we are able to control the size of SiO_2 nanoparticles. After trying several different methods, we discover that the vertical substrate method is the best way to arrange nanoparticles into a periodic structure. From scanning electron microscope, we confirm that SiO_2 nanoparticles can form a three dimensional hexagonal photonic crystal. From transmission experiment, we find that the wavelength of the minimum transmission is proportional to the size of nanoparticles. This result implies that using photonic crystals we can control the behavior of electromagnetic wave. Finally, we fabricate CdS nanoparticles on the top of photonic crystals with different diameter of SiO_2 nanoparticles. Using photoluminescence measurements, we show that by controlling the lattice constant of a photonic crystal the luminescent efficiency of CdS nanoparticles can be substantially enhanced. Our results, therefore, demonstrate that photonic crystals are very important for the application of light emitting devices.

中文摘要

光子晶體合成、特性與應用

本研究主要是著重於探討光子晶體合成、特性分析及其應用。在有關合成光子晶體之奈米二氧化矽顆粒方面，發現在合成過程中利用氨水的溶量可以控制顆粒的大小。在將奈米顆粒排列成光子晶體的研究中，嘗試了多種方法後，發現垂直基座法為最快速有效的方法。從掃描電子顯微鏡的觀測，證實奈米顆粒是以六角對稱排列成整齊的光子晶體。在光子晶體的特性分析中，利用光穿透實驗，發現電磁波穿透率最小的波長與奈米顆粒成正比關係，這顯示出可以利用光子晶體來控制光的行為。最後，本研究將光子晶體與硫化鎘奈米顆粒結合，經由光激螢光譜，證明光子晶體確實可以增進物體之發光效率，這對發光元件的應用，將有很大的幫助，可以節省大量的能源。

光子晶體合成、特性與應用

壹、光子晶體簡介

「光子」指光具有粒子的特性，「晶體」指原子排列整齊的固體，而「光子晶體」（又稱光子能隙結構晶體），就是指在二維或三維空間中，讓材料折射率或介電常數產生週期性變化的結構，使光的特性產生改變，並使得特定波長的光，不能通過光子晶體，也因此就能夠利用光子晶體的整齊、週期性排列來控制光的行爲。例如，可以讓光子作 90° 轉彎，而不會有光強度的損失，這就是利用光子不能穿透過光子晶體，會有全反射的特性。由於光子晶體的特殊性質，使它很適合應用在光纖通信，製作高效率發光二極體、雷射，乃至於光波導或光子電腦上，是一種非常具有應用潛力的光電材料。

貳、研究動機

從學校課本及課外刊物中，接觸到光子晶體的議題，並了解到光子晶體是一種嶄新的光學材料。光子晶體能夠將光子全反射，將光完全侷限在光纖內，而達到改善電話雜音的效果，除此外，光子晶體還有許多可以利用的用途；例如：光波導、發光元件、及光子電腦等。在光子電腦方面，如果電腦內部的運

作，能夠用光子取代電子，那麼電腦的運算速度就可大大增加！特別是光子晶體可能用來增進發光元件的效率，日後有可能取代愛迪生所發明的燈泡呢！這些神奇的應用，使我對光子晶體產生極大的興趣，決定用心去了解，並試著找出其中的奧秘。

參、研究目的

研究的焦點將放在合成光子晶體，研究光子晶體的特性，並探討其對物體發光率的影響。

- 一、利用化學方法，進行光子晶體顆粒的合成。
- 二、將光子晶體顆粒合成光子晶體，並尋找將光子晶體顆粒排列成光子晶體，最有效、快速、且結構完美的方法。
- 三、觀測光子晶體顆粒的特性，包括顆粒的大小與排列狀況。
- 四、探討如何在合成過程中，控制光子晶體顆粒的大小。
- 五、分析光子晶體顆粒的大小與光子行為的關係。
- 六、從光子晶體的應用面，探討光子晶體對物體發光效率的影響。

肆、實驗與結果

- 一、光子晶體顆粒的合成

實驗一：光子晶體顆粒的合成

- 1.將 6ml(96%)的 $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ 加入含有 100ml(95%)乙醇的圓底燒瓶中，於恆溫 30°C 下攪拌 10 分鐘。
- 2.加入 5ml(28%)的 NH_3 ，在恆溫下反應兩小時。
- 3.利用離心機將反應瓶離心十七分鐘 (3900rpm)，取出後，倒去上層液體，留下瓶內結晶固體。
- 4.於反應瓶中，加入乙醇，清洗瓶中的結晶固體，使用離心機離心六分鐘後，倒去瓶中的液體。
- 5.於反應瓶中加入蒸餾水，攪拌均勻。
- 6.用錫箔紙包住後，放入烘乾機中烘乾，最後留在瓶內的就是可用來合成光子晶體的 SiO_2 顆粒。

二、光子晶體的合成

實驗二：水平基座法

實驗：將基座水平放置在含有 SiO_2 顆粒水溶液的燒杯底部，等待其沉澱，以取得光子晶體。

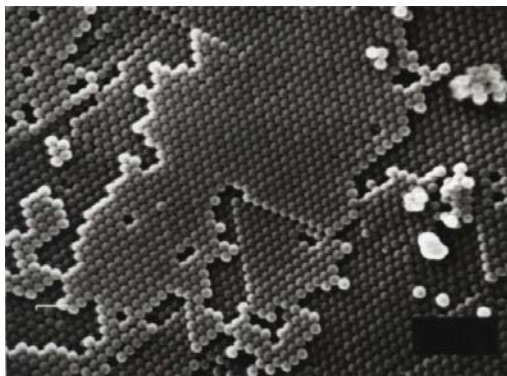
結果：經由水平基座法所形成的光子晶體，表面不平整(圖一)，形成所需時間也比較長(約需二星期)。

實驗三：垂直基座法

實驗：將矽晶片基座垂直浸在含有 SiO_2 顆粒的水溶液

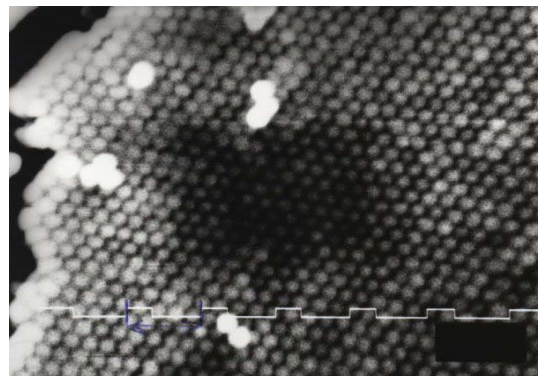
中，待其蒸發後，因表面張力與重力的緣故， SiO_2 顆粒會沿著垂直面，逐漸吸附在垂直擺放的基座上，形成光子晶體。

結果：經由垂直基座法形成的光子晶體，表面較平整(圖二)，且形成所需時間只要 1~2 天，極為實用。



1µm

(圖一：利用水平基座法所得光子晶體之電顯圖)



1µm

(圖二：利用垂直基座法所得光子晶體之電顯圖)

實驗四：離心機法

實驗：將含有 SiO_2 之水溶液放入離心機快速旋轉後，倒去液體，即得到沉澱顆粒。

結果：沉澱較快速，但合成之光子晶體，厚度不均勻。

實驗結論：

比較上述三種光子晶體合成的方法後，發現垂直基座法

應為最佳的選擇，該法同時具有合成速度較快，且可獲得較為平整的晶體排列結構的優點，這是本次研究的新穎結論之一。

三、光子晶體特性分析


實驗五：利用掃描電子顯微鏡 (SEM)，分析光子晶體顆粒的特性。

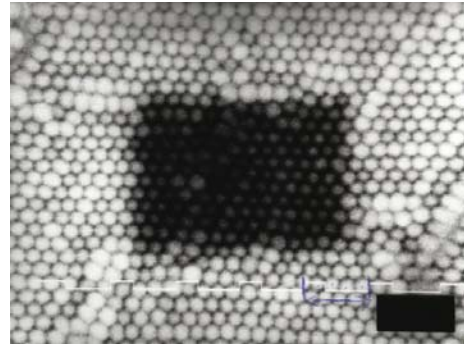
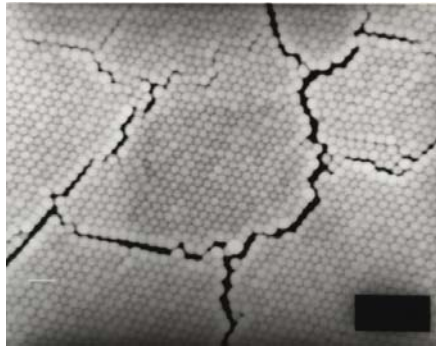
實驗：將樣品室抽真空，將樣品放入樣品室進行鍍金後，即可利用 SEM 分析光子晶體顆粒的特性。

結果：1.分析顆粒的排列特性

光子晶體顆粒的排列具有規律性（圖三），但因烘乾溫度太高，出現龜裂現象。

2.分析顆粒的大小

圖四中的  標記為 0.861 微米，而經過 SEM 放大後為 1.5 公分， $1.5 \text{ 公分} \div 0.861 \text{ 微米} = 17422$ 倍，所以 SEM 的放大倍率約為 17422 倍。在一個週期為 0.861 微米的標記內，有 4.5 個光子晶體顆粒， $0.861 \div 4.5 = 0.191 \mu\text{m}$ （微米），故每個光子晶體顆粒的直徑大約為 0.191（微米），亦即為 191 奈米。



(圖三：顆粒的排列情形) (圖四：光子晶體之電顯圖)

實驗六：NH₃的容量與光子晶體顆粒大小的關係

實驗：在合成 SiO₂ 顆粒時，需要加入 NH₃ 作為催化劑，

實驗在不同 NH₃ 容量時，對晶體顆粒之影響。

結果：1. NH₃ 使用量與晶體顆粒大小、排列性之關係如下表。

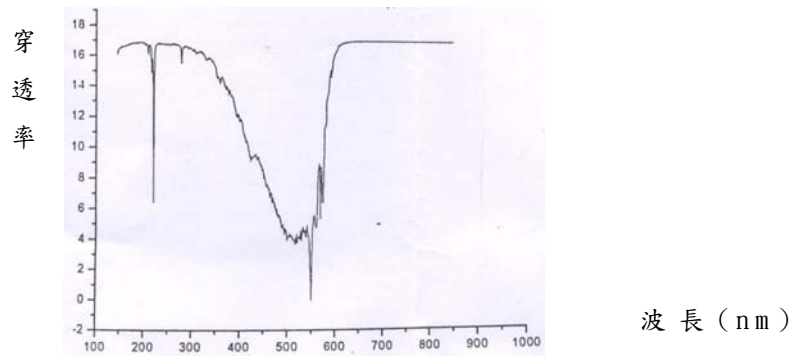
2. 經實驗後發現 NH₃ 使用容量愈大，顆粒就愈大，這是本研究另一個新穎的結論，這個結論對控制光子有很大的幫助，因為光子能通過光子晶體的波長，和顆粒大小有密切關係。

容量	溫度	顆粒大小	排列性
3.5 ml NH ₃	在室溫下	93.8nm	有規律
4.0 ml NH ₃	在室溫下	125.0nm	有規律
4.5 ml NH ₃	在室溫下	149.6nm	有規律
5.0 ml NH ₃	在室溫下	191.0nm	有規律
5.5 ml NH ₃	在室溫下	238.2nm	有規律

實驗七：光穿透量測

量測：將光源依序通過透鏡、分光儀、光子晶體、透鏡、及偵測器，以進行光穿透的量測。

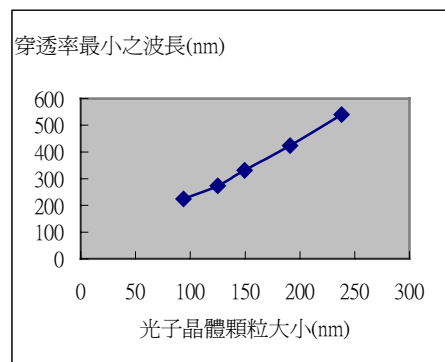
結果：1.從量測中，測出波長與穿透率的關係（圖五），發現對顆粒直徑為 238nm 之光子晶體而言，光的波長在 540nm 時，穿透率最小。



(圖五：波長與穿透率之關係圖)

2.同時發現，如果 SiO_2 的顆粒愈大，穿透率最小是發生在波長較大的地方，如下表與圖六所示。

顆粒大小 (nm)	穿透率最小之波長 (nm)
93.8	225
125.0	274
149.6	331
191.0	424
238.2	540



(圖六：光子晶體顆粒大小與穿透率最小之波長的關係)

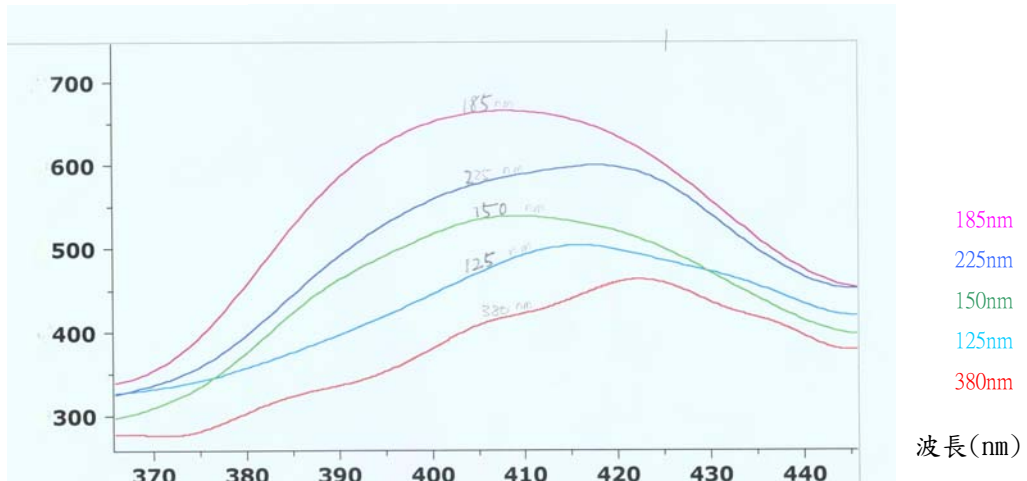
四、光子晶體的應用

實驗八：光激螢光實驗

－ 探討光子晶體如何能增進物體的發光效率。

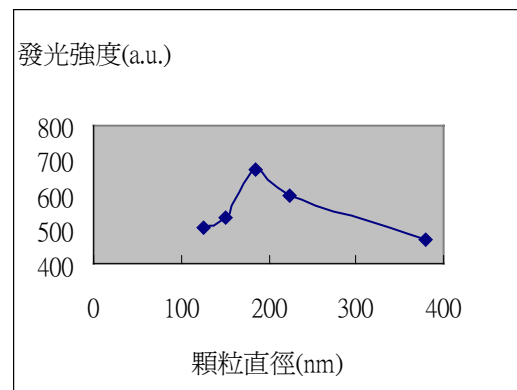
- 1.合成五種不同的光子顆粒，其直徑各為 125nm、150nm、185nm、225nm 及 380nm。
- 2.利用垂直基座法，將光子顆粒合成光子晶體。
- 3.將發光半導體奈米顆粒鋪在光子晶體。
- 4.利用光激螢光光譜，量測鋪在光子晶體上硫化鎘之螢光效率變化。
- 5.變化情形如圖七、圖八所示。
- 6.從圖八可發現，在光子晶體穿透率最小之波長與硫化鎘奈米顆粒發光波長重疊時，硫化鎘的發光效率會變得最大，這是因為此時硫化鎘所發出的光完全被光子晶體反射之故。這個結果證明了光子晶體可用於增進物體的發光效率，在本例子中可以增加到 50%，這對發光元件的應用，會有很大的幫助，可以節省大量的能源。

發光強度(a. u.)



(圖七：硫化鎘奈米顆粒的螢光光譜)

光子晶體顆粒直徑 (nm)	發光強度 (a.u.)
125	503
150	535
185	670
225	600
380	470



(圖八：光子晶體顆粒直徑與發光效率的關係)

伍、研究結論：

- 一、使用簡易的化學方法，即可合成均勻、微小的光子晶體顆粒。
- 二、經過研究後，發現合成光子晶體的三種方法中，以垂直基座法較能得到好的效果，其具備形成速率較快，且光子晶體薄膜較為平整的優點。
- 三、組成光子晶體顆粒的大小，可藉由 NH_3 容量的多寡來控制，

NH₃ 使用溶量愈大，顆粒就愈大。

四、組成光子晶體的顆粒愈大，光不能穿透的波長也愈長。

五、利用光子晶體的特性，可以增進物體的發光效率，這對於發光元件會有很大的幫助。

六、光子晶體是一個新奇的研究主題，不但讓我了解到近代光電科技的發展，也讓我深深體會到人造物質的魅力。

陸、參考資料：

一、黃德歡著，「改變世界的奈米技術」，先智出版社(2001年)。

二、楊志中著，(2001年)，「新世紀奈米級光電材料結構－光子晶體」，物理雙月刊，第23卷，第6期，第647頁。

三、下列網站資料：

1.http://www.ust.hk/~webopa/news/1999_News/news0625_C.html

2.<http://www.pidc.gov.tw/Publication/Newsletter/no31/p14.html>

3.<http://www.ust.hk/~webopa/AnnualRpt9899/05rshdev/chn/subtop2.htm>

4.<http://www.ess.nthu.edu.tw/~kcleou/research/research%20topic%202001.htm>

5.<http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/v23/0112.htm>

6.<http://www.sinica.edu.tw/>

7.<http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/v21/9908.htm>

評語

作者對此新穎題材的探討相當積極，對於樣品製作及基本測量能作多方向的考慮及測試。在原理認識方面，作者須再積極學習。