

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

奈米物理研究:奈米線,週期釘扎及光子晶體(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2112-M-009-010-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學電子物理學系(所)

計畫主持人：楊宗哲

計畫參與人員：吳仲卿教授、洪連輝教授、趙遠鳳、歐敏男、胡仲安、張國彬、
劉文龍、吳添全

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 6 月 22 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告
期中進度報告

計畫名稱：奈米物理研究：奈米線、週期釘扎及光子晶體(2/3)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC93-2112-M009-010

執行期間：94年8月1日至94年7月31日

計畫主持人：楊宗哲教授

共同主持人：

計畫參與人員：吳仲卿教授、洪連輝教授、趙遠鳳、歐敏男、胡仲安、
張國彬、劉文龍、吳添全、

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、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

執行單位：交通大學電子物理系

中 華 民 國 年 月 日

奈米物理(2/3)期中進度報告

計劃編號：NSC93-2112-M009-010

計劃名稱：奈米物理研究：奈米線、週期釘扎及光子晶體(2/3)

中文摘要

本年度期中報告，針對光子晶體及超導二方面所進行的研究成果作一扼要的說明。在光子晶體方面，已完成如何控制二維光子晶體的完全能隙的方法。另外，提出一種很新的設計方案，將異質結構形成的光子晶體作成的波導與矽波導藕合，能使模藕合效率提升到 90%。在微波段，以二種金屬材料交互堆疊作成的一維多層膜，發現其吸收率可達到 90%以上。在超導方面，超導體在溫度梯度下，呈現巨熱磁通量，提出一合理的解釋。針對超導體 / 介電材料作成的超晶格系統，引用 Abeles 理論，在二流體模型下，運用轉移矩陣法算出光子能帶結構，並作詳細的分析，得到很新的結果，針對 Nb 薄膜上作成 honeycomb hole arrays 中，觀測到每一渦旋釘扎中心捕捉渦旋的個數隨溫度變化的情形，得到很有學術價值的結果。

關鍵詞：光子晶體、完全能隙、波導、吸收率、熱電功率、超導體、渦旋

英文摘要

In this report, the results of photonic crystal and superconductor will be briefly described. In the photonic crystal, the control of complete photonic band gap is proposed and illustrated to be useful. A new design of waveguide of the heterostructure photonic crystal coupling with silica waveguide is found to be able to increase the coupling efficiency up to 90%. In the microwave region, we made a special design of the multilayer of two different kinds of metal alternated layer to be found the absorption reached 90% above. In superconductors, we propose a reasonable explanation of a giant thermal flux density for superconductors under the temperature gradient. For a superlattice of superconductor/dielectric multiple layer, the photonic band structure is calculated by transfer matrix method within two fluid model. The detail analysis is made and new results are obtained. For honeycomb hole arrays on Nb film, the number of vortices captured by pinning center are investigated and the valuable academic results are also obtained.

Keywords: photonic crystal, complete photonic bandgap, waveguide, absorption, thermoelectric power, superconductor, vortex.

二、緣由與目的

本年度(93年度)即將結束前，我們在光子晶體及超導渦漩二大部份有一些重要進展。本報告將以此二大部份分別略述我們的成果及未來預計進行的研究方向和重要性。

在近一年來光子晶體的進展，負折射介質的性質及應用方面的論文數目一直在增加，尤其在理論的部份，實驗的部份較少。大部份的負折射現象的實驗，仍以正折射率介質形成的光子晶體為主要研究對象。另一個主題，正受到人們的注意，林尚 首先作出以三度空間 絲光子晶體而成燈，能發出 40~50%的可見光，開拓傳統燈 的新前景，但其原因尚未明朗。雖然他 5 月份在交通大學的演講，說明以 FDTD 方法模擬，可明白那些頻率可通過，但其機制卻未提及。因此，在未來一、二年內需投入人力，以研究此一課題，能夠申請一些專利，維護台灣 21 世紀明亮光源的產業工業。在此一年內，我們在光子晶體的研究進展上，已完成如何控制二維光子晶體完全能隙的大小，也完成一維金屬 / 介電材料多層不同厚度，不同複數介電常數的金屬及介電材料的介電常數，在微波頻率範圍內，各方向的吸收率可達 90%以上。對 TE 模，只能達到 80%左右，此一部份有待進一步探討。最近，我們得到特殊二維光子晶體，如何微調零速度的色散，對於設計特殊光學元件會有很大的助益。

在此一年度內，我們進行超導方面的研究，已有二方面的成果，一為控制渦漩運動，在 AC 小電流的驅動下，會產生 dc 電壓的現象。另一為以超導 / 介電材料多層膜形成的一維光子晶體，成功地計算出光子能帶帶隙及相關特性。

底下，將今年內完成及即將完成的成果作大略的介紹。

三、研究報告內容

今年度的成果分為二大部份，分別大略敘述如下。

(一)光子晶體

(a)在光電材料柱上長針刺的方式，調節二維光子晶體的完全能隙。其原理是由長針刺的長度調節 Mie 散射的頻率，使之打開 TE 及 TM 模的能隙相互重疊，我們在四方晶格上的格點處，放入四方形介電柱子，以平面波法算出能帶頻譜，得到在高頻帶有完全能隙出現，現在在四方柱的各邊正中央處長出薄薄的針刺，當針刺長度約達 $0.08a$ 時，高頻的完全能隙就完全消失，整個光子晶體沒有完全能隙(方柱邊長 $0.57a$ ，針刺厚度 $0.08a$ ，介電常數為 11.4，背景介電常數為 1.0， a 為方形晶格常數)。繼續增加針刺長度約達 $0.155a$ 時，低頻完全能隙開始出現，並在長度為 $0.19a$ 時，完全能隙達到最大值。為了確定其成因是來自柱子的 Mie 散射，我們不去改變晶體對稱性及晶格常數，所以 Bragg 散射引起的能隙應該不變當我們比較不同針刺長度的能帶變化情形，發現低頻完全能隙的形成，主要來自 TM 模的第二、三、四能帶的變化來，且主要注意 M 點處 TM 模的第二、三、四的能帶之頻率及電場絕對值的分佈。將此一分佈與以 FDTD(有限時間差分)方法計算單一柱子的 Mie 散射作比較，發現二者有強烈的相似性。因此，我們確定，Mie 散射主導此晶體的完全能隙變化。(此一工作已呈送 J. Phys. C 及

solid state comm. 審定中)。

(b) 以異質結構形成的光子晶體作成的波導與矽波導藕合，發現能使模藕合效率提升。我們的作法是將二個半無限大的光子晶體，其填充因子不同，形成異質結的光子晶體，由二者的接合處形成波導，以 FDTD 方法計算矽波導出口端的穿透係數超過 90%，此一設計方案的最大好處是，矽波導與之接合時，可調整二異質光子晶體的接合間距，使之穿透效率達到 80% 或 90% 以上。(此一成果將發表於 opt. commu.)。

(c) 針對在微波段，將二種金屬層或一種金屬層與一介電質層作成一維多層膜，探討吸收率的問題，發現在多方位下，二種不同特殊的金屬層，只有 TM 膜可達 90% 以上，而 TE 膜卻只能達到 80%。對 TE 膜吸收率部份，正在進行另一方案的設計中。另外，以脈衝微波照射二種不同金屬層作成的一維多層膜的吸收問題，正在探討之中。

(二) 超導體

(a) 超導體中的熱電效應

一般上相信超導體中，在溫度梯度下，不會有感應電場，結果不存在熱電效應或可忽略之。在正常金屬中，溫度梯度產生有效電場，把熱誘導的擴散電流抵消。而超導體中，準粒子的擴散電流被超導電流的反向流動所抵消。超導電流誘導了真正的電場，此電場近似等於屏蔽的伯奴利勢位。這就解釋在超導熱電耦所觀測到的巨熱磁通量。(將發表於 Chinese J. Phys.)

(b) 超導體薄層 / 介電層形成的超晶格的光子能帶的計算。我們引用 Abeles 理論，並以轉移矩陣法解得超導 / 介電材料的超晶格的光子能帶及穿透率頻譜，在計算的過程中，超導體的

折射率採用二流體模型來表示 $n_s = \sqrt{1 - \frac{c^2}{\omega^2 \lambda_L^2}}$ 式中 $\lambda_L = \frac{\lambda_o}{\sqrt{1 - (T/T_c)^4}}$ 是 London 穿透深

度。對於 TE 模的光從真空或空氣中，以入射角 θ 入射於超導 / 介電的超晶格，得到 transcendental 方程式。由此可得光子能帶結構，發現第一個能隙跟入射角無關，第二個能隙稍微會隨入射角改變，至於第三個能隙從入射角 20° 開始到 60° 間，近乎成線性變化，爾後達飽和值 0.32，這些結果提供超導體的電磁響應的基本信息(此一成果送 optics Express 審查中)。

(c) 控制渦旋運動的研究

本年度此課題，著重二個方面，一為在 Nb 薄膜上作成 honeycomb hole arrays 發現電阻與磁場的曲線圖中(在電流 100 A)，極小值有二種區域，匹配場和分數匹配場，相信其複雜行為來自於每一釘扎中心能捕捉一個以上的渦旋。同時，也觀測每一釘扎中心捕捉飽和個數的渦旋隨溫度的變化。此一成果豐富此規律排列的晶格在外加磁場下及接近轉變溫度下，渦

漩結構的內容(本成果將發表於 J. Appl. Phys.)。另一為在 Nb 薄膜上的缺陷形成階梯密度下，探討渦漩的釘扎效應。我們比較缺陷晶格與存在該晶格上有缺陷密度的階梯的磁阻。在整數倍的匹配場處，具有相同尖銳的凹陷。然而具缺陷密度階梯的樣品，在外加 ac 電流下，會呈現 dc 電壓。我們也對磁阻及 dc 電壓對外加電流作圖，發現外加電流反向時，會呈現在匹配場附近有不同傾向的變化。此強烈地顯現渦漩釘扎是各向異性。(本成果將送 Appl. Phys. Lett. 審查)。

四、一年來研究成果的檢討及展望

本年度的研究成果中，有關異質結光子晶體波導與矽波導效率的提高了設計，已向我國專利局申請專利，希望能夠在光子晶體的應用領域中，取得國內專利，以免被國外專利佔據。另外，在 Nb 超導薄膜上的缺陷排列密度呈階梯式，通以 ac 電流及外加均勻小磁場下，於超導轉變溫度以下附近，呈現 dc 電壓現象，一般都是因為缺陷形狀的不對稱性或缺陷大小不一而造成。我們此一工作有別於上述之成因。因此，為更能明確其成因起見，將在未來一年內，以模擬的方式，找出其成因，並進而期盼能有新的應用。

在未來一年內，需要更多的優秀人力，進行三維或二維金屬光子晶體結構的熱輻射問題，以了解在通以電流造成熱輻射光譜能呈現在可見光譜區，達到白熾燈的效率能提高至 70~80%的目標。

參考文獻：

1. T.C. Wu, P.C. Kang, Lance Horng, J.C. Wu, and T.J. Yang, J. Appl. Phys. 95, 6696 (2004).
2. T.C. Wu, J.C. Wang, Lance Horng, J.C. Wu, and T.J. Yang, "Temperature dependence of vortex configuration by honey comb hole arrays in a superconducting Nb film", to be published in J. Appl. Phys.
3. Clessio Leao S. Lina, J. Albino Aguiar, clecio C. de Souza Silva, Physica C419, 41 (2005).
4. R. Laiho, M. Safonchik, K.B. Traito, Physica C418, 87 (2005).
5. Hiroyuki Takeda and Katsumi Yoshino, Appl. Phys. Lett. 80, 4495 (2002).
6. Min Qiu and Sailing He, J. opt. soc. Am. B17, 1027 (2000).
7. Tao Pan and Zhen-Ya Li, Solid state comm.. 128, 187 (2003).
8. Nobuhiko Susa, J. Appl. Phys. 91, 3501 (2002).
9. C. Reichhardt, C.J. Olson, and F. Nori, Phys. Rev. Lett. 78, 2648 (1997).
10. Hiroyuki Takeda and Katsumi Yoshino, Phys. Rev. B70, 85109 (2004).
11. V. Kuzmiak, A.A. Maradudin, and F. Pincemin, Phys. Rev. B50, 16835 (1994).
12. Yuan-Fong Chau, Tzong-Jer Yang, Ben-Yuan Gu, and Win-Der Lee, to be published in opt. comm..

13. Jan Kolacek and Tzong-Jer Yang, "Thermoelectric effects in superconductors", to be published in Chin. J. Phys.
14. Chien-Jang Wu, Mei-song Chen and Tzong-Jer Yang, "photonic band structure for a superconductor/dielectric superlattice", submitted to opt. express.
15. C. H. Raymond Ooi, T.C. Au Yeung, C.H. Kam and T.K. Lim, Phys. Rev. B61, 5920 (2000).