

# 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(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2112-M-009-023-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電子物理學系

計畫主持人：楊宗哲

計畫參與人員：許永昌、劉文龍、趙遠鳳、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 93 年 6 月 25 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)

三個主題的奈米物理研究：奈米線，週期釘扎及光子晶體

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2112 - M - 009 - 023 -

執行期間： 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：楊宗哲

共同主持人：

計畫參與人員：許永昌、劉文龍、趙遠鳳、吳添全等四位博士生

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：國立交通大學電子物理系

中 華 民 國 93 年 6 月 日

## 摘要

本計畫係為 93 期中報告，主要有三大主題的研究成果。一為以時域有限差分法來分析近場光學中光與散射體的相互作用之物理現象。此部份研究一系列次波長尺度下孔徑的通光效率及場型分佈特性，提出光纖探針的優化設計程序並達光斑縮小的效果。也對研究固體半浸入式透鏡附加局部鍍鋁膜之優化探針，提出實現高密度光儲存之最佳化設計。二為以平面波展開法與時域有限差分法並用，追求平面型光子晶體波導兩端的傳輸效率的提升。主要就二維正方晶格圓柱，三角晶格圓柱的結構及方形異質結構作成的波導，提出此一波導與常規二氧化矽波導最佳藕合設計，達到高效率(90%)的傳輸。三為鈮薄膜上作成反點形三角晶格釘札。在外加磁場，接近超導轉變溫度下，施以不同方向的直流電，由磁阻數據得出匹配場具有各向異性的特性。

關鍵詞：光子晶體、近場光學、藕合傳輸效率、光子晶體波導、鈮薄膜、反點形三角晶格、磁阻匹配場。

## Abstract

In this middle report of the project, there are results of three essential subjects. One is to use FDTD method to analyze the physical phenomena of the interaction between light and scatters in the near-field optics. In this part, the efficiency of transmission of light through the subwavelength scale of circular aperture and the properties of near-field distribution are studied. The optimum design of optical probe is proposed to achieve the small size of optical spot. Solid immersion lens coated by partial Al film to form optimum probe is proposed and shown to be an optimum design for high density optical storage. Second one is to use both of plane wave expansion method and FDTD to simulate the coupling efficiency between conventional silica waveguide and photonic crystal (square lattice, triangular lattice and heterostructure) waveguide. An optimum design is proposed to achieve 90% coupling efficiency. Third one is to fabricate a triangular antidot array in Nb thin film. The magnetoresistance of this film is measured and found anisotropic matching field under an applied different current directions for a low magnetic field and near superconducting transition temperature.

Keyword: photonic crystal, near-field optics, coupling efficiency, photonic crystal waveguide, Nb film, antidot triangular lattice, magnetoresistance, matching field.

## 一、簡介

在近一年來國際上光子晶體的研究已有很大的進展，尤其在負折射率介質的觀念的引入，許多新現象的揭發，將負折射率介質的可能應用予以推及至另一个新的境界。即使不是如 J.P. Pendry 在 PRL2000 年的文章所言那樣的負折射率介質的負折射現象，卻彌補傳統光學的缺點，及提升傳統光學元件的功能，這是值得重視的新發展領域。就以 Goos-Hanchen Shift(Felbacq et al,PRL 92,193902,(2004))效應已被推展到更一般化，其中的物理內涵已非一般幾何光學中所提到的 Goos-Hanchen 偏移，這種現象將會在積體光學中，以光學晶體為基底的元件在設計上會造成很大的衝擊，這是在未來研究上需注意的課題。另外，在 ridge 波導雷射與光子晶體波導的組合上已成功地採用”all pc photonic crystal”雷射克服二者間藕合的問題(Kampetal,physicaE21,802,(2004))。

還有一樣值得一提，溫維體與沈平(PRL89,223901,(2002);APL83,2106,(2003))提出一種利用局域共振的原理製造人工光、聲結構材料的方法，此方法不依賴於結構的週期性，可製造出次波長(sub-wavelength)的能隙結構。此一原理可用於開發 spin-polarized insulator 材料。

在將近一年的時間裡，我們在光子晶體及超導 Nb 薄膜的週期釘扎等二方面有較突出的研究成果，在第一性原理的奈米磁性方面，將在未來一年裡會有進展。首先對光子晶體在一年裡所完成的主要成果有二大類，一為 conventional silica 波導與光子晶體波導的藕合問題，依照不同光子晶體的波導提出優化設計，以達到最佳藕合效率。其中一篇即將發表於 Japanese Journal of Applied physics Letters。二為關於近場高密度光存儲的問題，就其中一種方案，固體浸沒透鏡存儲。我們提出對半球形的固體浸沒透鏡的改進方案，其結果發表於 Journal of Applied physics。其次對 Nb 薄膜上作成三角形晶格的 antidot array，在超導臨界溫度之下，外加不同均勻磁場，並通以不同直流電，量測 I vs V 曲線，發現匹配磁場具有各向異性。底下，將把一年來的成果較詳細地描述，並提出未來一年內將進行的工作。

## 二、光子晶體成果

光子晶體在近一年來的成果分別敘述如下：

1. conventional silica waveguide 和 planar photonic crystal waveguide 的藕合效率優化設計。

(a)在均勻介質  $\text{SiO}_2$  中，以 Si 介電圓柱排成二維三角晶格，並沿  $\Gamma K$  方向拿掉一排形成光子晶體波導，在其二端作成對稱形的 tapered 結構中，對稱性地放置一對圓柱缺陷，發現在出入端處耦合效率可提升到 90 % (將發表於 Japanese Journal of Applied physics Letters 上)。

(b)延續(a)，將三角晶格換成四方晶格，而沿(10)方向拿掉一排柱子形成光子晶體波導，在此波導二端拿掉一些柱子形成 tapered 結構，此時故意作成 two step size 形狀，且缺陷圓柱半徑予以優化。以 FDTD(finite difference time domain)方法計算穿透係數，在波長 1.55um 可得到 90%。若適當調整缺陷圓柱體的半徑，該光子晶體波導結構可作為反射元件。(送到 Applied optics 審查中)

(c)提出 silica 波導(SWG)與異質結構的平面型光子晶體波導間的耦合技術。此處異質結構的平面型光子晶體波導係由二個半無限具不同填充因子的二維光子晶體四方晶格構成。在與 SWG 藕合處，沿介面方向兩邊分別拿掉二根圓柱，在另一端處，亦作相同的動作。如此，我們以 FDTD 方法算出在 1.65um 波長附近之穿透係數超過 90%，此藕合方式比(b)部份所提的方法更具簡便和優秀(送 Optics Letters 審查中)。

2. 在近場光存儲技術上以固體浸沒透鏡(SIL)存儲和近場超分辨結構光碟技術最被看重。我們以三維的 FDTD 方法模擬固體浸沒透鏡一偵測系統的優化設計。提出以 local metallic coating 在 SIL 基底及 probe 之側邊，結果顯現光束具有高的 throughput 及低反射與只用通常金屬的近場掃描光學顯微鏡偵測作比較(發表於 Journal of Applied Physics, Vol.95,32407,(2004/4/1))。

近場光纖探針優化設計方面，首先在無限大鋁平面上作圓心孔徑的作影像性質的研究，以三度空間的 FDTD 方法模擬，得到近場分佈與光的偏振有緊密的關聯，也與樣品的相互作用有關。若考慮與樣品的相互作用的情形，S-偏振較偏好 confinement 及負責 surface digging，而 P-偏振偏好電場的分佈，並出現在孔徑邊緣上。今在孔徑處作一 tip，此 tip 係在介電針上大部份鍍上金屬，且針頭作成半球形透鏡面或作直接作成尖尖的介電材料的針頭。這樣結構的針，效果更佳(此將發表於 Japanese Journal of Applied Physics)。

3. 改進型平面波法係由我的研究群發展出來，它的 eigenvalues 是 wave vector 對一給定的頻率。如此，可得到等頻圖及同一頻率的所有平面波，我們就

利用這些平面波可計算半無窮大平面的光子晶體的反射率及穿透率。更進一步推廣到負折射率介質的折射問題的探討(許永昌的博士論文 2004 年初)。

### 三、週期釘扎的研究成果

在超導 Nb 薄膜上作成 antidot 的三角晶格,形成週期性釘扎點。在外加均勻磁場垂直於 Nb 薄膜(接近超導轉變溫度)時,會有 vortex 出現。由於 vortex-vortex 相互作用,會有各向異性的釘扎性質。因此,在磁阻對磁場作圖之下,會看到週期性的最小磁阻,此正好是匹配場(matching field)。當 vortex 驅動沿著 rhombic 單胞的短對角線時,臨界電流降低。此表示沿著短對角線上的釘扎勢位產生 vortices 的運動管道被釘住及 interstitial vortices 可在 incommensurate vortex row 上運動,且沿著沒有阻礙的直線路徑(發表於 Journal of Applied Physics, Vol.95,6696,(2004))。

### 四、未來一年的研究方向

#### 1. 設計機械式靈敏位移的光開關、光過濾元件。

依照二年前發展的方形晶格的複合方形二維晶格,二個成份作相互位移,發現可作成完全能隙的不敏靈性功能元件的成果(發表於 J.Physics: condensed matter 16,4557,(2004))。我們進一步發現,在某一條件下,可作成機械式位移靈敏的光開關、光過濾元件。為了朝實用性,將以 FDTD 方法模擬平面形光子晶體的設計方向,作為未來一年的研究工作之一。

#### 2. 將以我們發展的改進型平面波法(solid state communication )推廣到三維光子晶體。預計進行 $\epsilon(\omega),\mu(\omega)$ 相關的磁顆粒三度空間的週期排列的晶格的光子能帶、態密度...等的計算,甚至進行負折射率相關的計算。

#### 3. 發展另一類 perturbation 方法來處理,填充因子固定之下,少量介質的移置或變形所引起能隙或完全能隙的變化計算,並了解其機制,此一工作已完成一部份。

#### 4. 延續今年已完成的三角晶格釘扎機制的探討。未來一年著重了解 off-match field 的渦旋運動機制,預期能得到有關渦旋釘扎勢位的形成及定量的信息。我們進一步要探討,渦旋密度階梯對渦旋運動的影響及對磁阻各向異性所造成的情形。在實驗部份,將就 AC 電流驅動渦旋運動,所造成的磁阻隨外加磁場,溫度和 AC 電流振幅大小的變化情形,預期能夠有新的現象和應用。

### 五、結論

在將近一年的研究進展中,光子晶體方面已有多項成果,一為平面型光子晶體

波導與 silica 波導的藕合效率，提出優化設計，以 FDTD 方法模擬可達到 90% 以上。二為近場的高密度光儲存的新穎設計，可達到高效果。以三度空間的 FDTD 方法計算 solid immersion lens with a conical probe 構造之反射模式，可達到光儲存高密度效果。三為利用已發展改進型平面波方法，可計算半無限二維光子晶體的穿透率及反射率，可了解穿透率 dip 發生的原因。在金屬薄膜上做三角晶格 anti-dot array，在不同低磁場下，加以不同方向的直流電，發現磁阻 dip 正好在 matching field 上。但與直流電方召有關的各向異性。在交流電下，預期會有新現象發生，此為未來要進行的研究工作。