



# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：94120243

※申請日期：94.6.17

※IPC 分類：H01L33/00

## 一、發明名稱：

光子晶體波導之結構

## 二、申請人：(共1人)

姓名或名稱：

國立交通大學

代表人：張俊彥

住居所或營業所地址：

新竹市大學路 1001 號

國籍：中華民國

## 三、發明人：(共3人)

姓名：

1. 趙遠鳳

2. 楊宗哲

3. 李文德

國籍：

1. 中華民國

2. 中華民國

3. 中華民國

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項  第一款或  第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

**五、中文發明摘要：**

一種光子晶體波導之結構，其包含一平面型光子晶體波導單元、一以上設置於平面型光子晶體波導單元之二端之矽質波導單元、一以上設置於各矽質波導單元相對應一面之側形漸變式單元及一設置於各側形漸變式單元上且位於矽質波導單元之輸出／輸入端以上之缺陷柱。藉此，可增加光子晶體波導的耦合效率。

**六、英文發明摘要：**

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 ( 1 ) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

平面型光子晶體波導單元 1

矽質波導單元 2

側形漸變式單元 3

缺陷柱 4

## 八、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種光子晶體波導之結構，尤指一種可改善光學通訊系統或光學積體電路之光子晶體波導結構者。

### 【先前技術】

從一般晶體結構中，我們可以看出晶體內部的原子及其勢場是呈週期性有序排列的，也正是因為有這種週期勢場的存在，使得在晶體中運動的電子受到週期勢場的布拉格散射，從而形成能帶結構，且帶與帶之間可能存在帶隙。又由固態物理可知，電子波的能量如果落在帶隙中，就無法繼續傳播。其實，不只是電子波，還是其它波（如光波等），只要受到週期性調制，都可能會有能帶結構，也都有可能出現帶隙，而能量落在帶隙中的波同樣不能傳播。簡言之，在半導體中，離子的週期性排列產生了能帶結構，而能帶又控制著載流子（半導體中的電子或者空穴）在半導體中的運動。相似的，在光子晶體中是由光的折射率

指數的週期性變化產生了光帶隙結構，從而由光帶隙結構控制著光在光子晶體中的運動。雖然只有完美的光子晶體才可能擁有能隙，但就應用的角色來看，不完美的光子晶體之雜質態 (impurity state) 更具有其實用性。實驗上發現，在二維或三維的光子晶體中加入或移去一些介電物質，便可以產生雜質或缺陷 (defect)。對於一個雜質態而言，由於雜質四周都是光子晶體形成的「禁區」，電磁波在空間分佈上只能侷限在雜質附近，因此一個點狀缺陷 (point defect) 相當於一個微空腔 (micro-cavity)。如果接連製造幾個點狀缺陷，形成線狀缺陷 (line defect)，電磁波便可能沿著這些缺陷傳遞，就相當於一個波導 (waveguide)，這是由於材料之介電係數的對比值較大及材料吸收很小時，在晶格介面處之散射以及布拉格 (Bragg) 繞射效應促使光子沿著光子晶體結構或導引通過光子晶體結構。

利用光子晶體所設計的新式光學波導可以在低折射率 (如空氣) 的環境中傳播；有別於傳統光學波導的傳播需受限在高折射率介質中的情形。

因此可大幅改善傳統光學波導中，諸如色散效應、能量傳遞及可彎曲程度受限制的情形。此種光子晶體可取代傳統光纖，應用在光通訊與積體光學儀器的領域，具有非常大的商業價值。

但是現今在光學通訊系統或光學積體電路中，光訊號常常需藉由矽質波導單元傳輸至光子晶體波導，但兩者之介面除波導寬度不同外，其物理特性亦不同，因而常造成介面間之反射，並在輸入端造成嚴重的反射情形，使得傳輸效率變得很低（輸出端之穿透率（transmittance）低於 30%），為了提昇傳輸效率，各種因應方式陸續提出，諸如：

1. grating-coupling-base 結構：參考 "Two compact structures for perpendicular coupling of optical signals between dielectric and photonic crystal waveguides", Opt. Express, 10 691 (2002)
2. Tapered waveguide 結構：參考 "Tapered Couplers for Efficient Interfacing

Between Dielectric and Photonic Crystal Waveguide”, Jouransl of lightwave technology, Vol.19, No.6, 861~865(2001)

3. J coupler 結構：參考”High Efficiency coupling structure for a single-line-defect photonic-crystal waveguide”, Opt. Lett. 27, 1601-1603 (2001)

由上述三種結構而言，其第一種結構之耦合(coupling)距離超過  $5\mu\text{m}$  且結構複雜；第二種結構之輸出/入耦合結構不同且複雜；第三種結構之耦合距離太長；因此其三者均在各波導間的耦合介面作了太多的額外設計與配置，而導致除了矽質波導單元與光子晶體波導間的耦合距離變大，無法形成超短的耦合介面外，而影響其傳輸效率，且並未充分考慮輸出介面的耦合效率。

#### 【發明內容】

本發明之主要目的係在於，可藉由於側形漸變式單元之結構內設置缺陷柱，並將缺陷柱其置於



波導的輸出/輸入端，以增加光子晶體波導的耦合效率。

為達上述之目的，本發明係一種光子晶體波導之結構，其包含一作為光積體電路中波導通道之平面型光子晶體波導單元；一以上設於平面型光子晶體波導單元之二端之矽質波導單元，作為入射光進入光積體電路中之通道、及光積體電路中不同界面或元件間之耦合通道；一以上設於矽質波導單元相對應一面之側形漸變式單元，作為入射光由矽質波導單元進入平面型光子晶體波導單元之緩衝界面；一以上設於側形漸變式單元上且位於矽質波導單元輸出/輸入端之缺陷柱，可集中光波能量或導光與反射光，用以作為光波的模式匹配(mode matching)。

#### 【實施方式】

請參閱『第1圖』所示，係本發明之基本架構示意圖。如圖所示：本發明係一種光子晶體波導之結構，其係由一平面型光子晶體波導單元1、一以上之矽質波導單元2、一以上之側形漸變式

單元 3 及一以上之缺陷柱 4 所構成，可增加光子晶體波導的耦合效率。

上述所提之平面型光子晶體波導單元 1，係作為光積體電路中波導之通道，光波在此通道內具有很強的局域性(localized)，並可使光波沿著波導通道之路徑作高角度的轉彎或分光之用。

各矽質波導單元 2 係分別設置於上述平面型光子晶體波導單元 1 之二端，作為入射光進入光積體電路中之通道、及光積體電路中不同界面或元件間之耦合通道。

各側形漸變式單元 3 係分別設置於上述各矽質波導單元 2 相對應之一面，該側形漸變式單元 3 係為二階式兩倍晶格常數漸變式結構，用以作為入射光經由矽質波導單元進入平面型光子晶體波導單元前之緩衝界面；目的在減少入射光的向後反射(back reflection)，讓大部份的入射光沿著波傳播方向傳播，其功能可提供適切的電場分佈模態，搭配缺陷柱以作為矽質波導單元與平面型光子晶體波導單元 1 間之良好的模式匹配。

各缺陷柱 4 係分別設置於上述各側形漸變式單元 3 上，且位於矽質波導單元 2 之輸出／輸入端，可集中光波能量或導光與反射光，用以作為光波的模式匹配(mode matching)，不同的缺陷柱 4 大小具有不同的能量集中程度，可作為正向(提昇波傳播方向之效率，類似於電路中之阻抗匹配)或反向(波向相反方向傳播，類似於反射器)。如是，藉由上述之結構構成一全新之光子晶體波導之結構。

請參閱『第 1、2 及第 3 圖』所示，係分別為本發明之基本架構示意圖、本發明改變缺陷柱半徑與晶格常數比值對穿透率的影響示意圖及本發明改變缺陷柱位置對穿透率的影響示意圖。如圖所示：在本實施例中矽質波導單元 2 寬度  $w=2.4\mu\text{m}$ ，其折射率為 1.45；平面型光子晶體波導單元 1 係為正方晶格，其在原始光子晶體結構(晶格常數  $a=0.465\mu\text{m}$ ，介質圓柱介電常數為 3.45，介質圓柱半徑為  $0.2a$ ，介質圓柱的背景材料為二氧化矽，折射係數為 1.45)中拔除掉一排介質圓柱形成 W1 波導；該側形漸變式單元 3 係二階式兩倍

晶格常數漸變式結構，分別拔除掉 5 排及 3 排形成二階式兩倍晶格常數漸變式結構，其中平面型光子晶體波導單元 1 的長度至少要 10 倍晶格常數，其輸出/入端的耦合(coupling)效應才可忽略。

由第 2 圖觀之，圖中係表示平面型正方晶格光子晶體波導內量得之穿透率 5 及輸出端之矽質波導單元內量得之穿透率 6，此時缺陷柱 4 分別位於側形漸變式單元 3 輸入/出中，從為正方晶格之平面型光子晶體波導單元 1 中心點算起距  $9.7a$  的位置，由第 2 圖知缺陷柱 4 半徑介於  $0.578a$  至  $0.656a$  穿透率超過 80% 以上，而當缺陷柱 4 半徑為  $0.622a$  時穿透率可達 90% 以上，若適當調整缺陷柱 4 半徑落在  $0.2a \sim 0.33a$  之區間，此漸變式結構附加缺陷的光路可以作為很好的反射器。

而第 3 圖為改變缺陷柱 4 於側形漸變式單元 3 中之相對位置，由第 3 圖之平面型正方晶格光子晶體波導內量得之穿透率 5 及輸出端之矽質波導單元內量得之穿透率 6，可看出若缺陷柱 4 分別位於側形漸變式單元 3 輸入/出中從平面型正方

晶格光子晶體波導 2 之中心點算起距  $9.81a \sim 10.57a$  的位置，穿透率超過 80% 以上，其最大值發生在當距中心點  $10.25a \sim 10.5a$  時，穿透率可達 90% 以上。

請參閱『第 4 圖』所示，係本發明改變缺陷柱中心頻率之示意圖：，其中橫軸為正規化頻率（晶格常數與波長之比值， $a/\lambda$ ），例如第 4 圖中代表  $a/\lambda=0.3=1.55\mu\text{m}$  之中心頻率 7，此時參數之最佳組態為缺陷柱 4 半徑為  $0.289\mu\text{m}$ ；缺陷柱 4 距中心點位置為  $10.4a$ ；同理亦可調整參數組態得到第 4 圖中  $a/\lambda=0.289$  及  $a/\lambda=0.306$  之不同中心頻率 8、9。

請參閱『第 5 圖』所示，係本發明另一實施架構示意圖：該平面型光子晶體波導單元 1 a 係以三角晶格之結構為之，由於三角晶格與正方晶格所形成之場型不同，若以第 1 圖之側形漸變式單元 3 應用於三角晶格結構並不能達到高效率耦合的目的，解決方式是以第 5 圖中側形漸變式單元 3 附加缺陷柱 4，其半徑與原始始光子晶體介質圓柱相同，位於距中心點  $2.78\mu\text{m}$  的位置，如此便可

得到 90%以上的耦合效率。

本發明之技術特點係在波導設計的理念上並可達到下列功效：

1. 短的漸變式結構 (the shortness of the taper)。
2. 容易製造 (the ease of fabrication)。
3. 低成本 (its low cost)。
4. 製造上的強健性 (Robust)，即不易因製造上的誤失而影響其傳輸效率。
5. 在結構上易與光積體電路匹配 (the proposed structures is feasibly applicable to the integrated optical circuits compatibility)。
6. 兼顧光波訊號於輸出/入介面傳輸效率之提昇。

綜上所述，本發明光子晶體波導之結構可有效改善習用之種種缺點，可藉由於側形漸變式單元之結構內設置缺陷柱，並將缺陷柱其置於波導的

輸出/輸入端，以增加光子晶體波導的耦合效率，進而使本發明之產生能更進步、更實用、更符合使用者之所須，確已符合發明專利申請之要件，爰依法提出專利申請。

惟以上所述者，僅為本發明之較佳實施例而已，當不能以此限定本發明實施之範圍；故，凡依本發明申請專利範圍及發明說明書內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆應仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

**【圖式簡單說明】**

第 1 圖，係本發明之基本架構示意圖。

第 2 圖，係本發明改變缺陷柱半徑與晶格常數比值對穿透率的影響示意圖。

第 3 圖，係本發明改變缺陷柱位置對穿透率的影響示意圖。

第 4 圖，係本發明改變缺陷柱中心頻率之示意圖。

第 5 圖，係本發明另一實施架構示意圖。

**【主要元件符號說明】**

平面型光子晶體波導單元 1、1 a

矽質波導單元 2

側形漸變式單元 3

缺陷柱 4

平面型正方晶格光子晶體波導內量得之穿透率 5

輸出端之矽質波導單元內量得之穿透率 6

中心頻率 7、8、9



## 九、申請專利範圍：

### 1. 一種光子晶體波導之結構，係包括有：

一平面型光子晶體波導單元，係作為光積體電路中波導之通道；

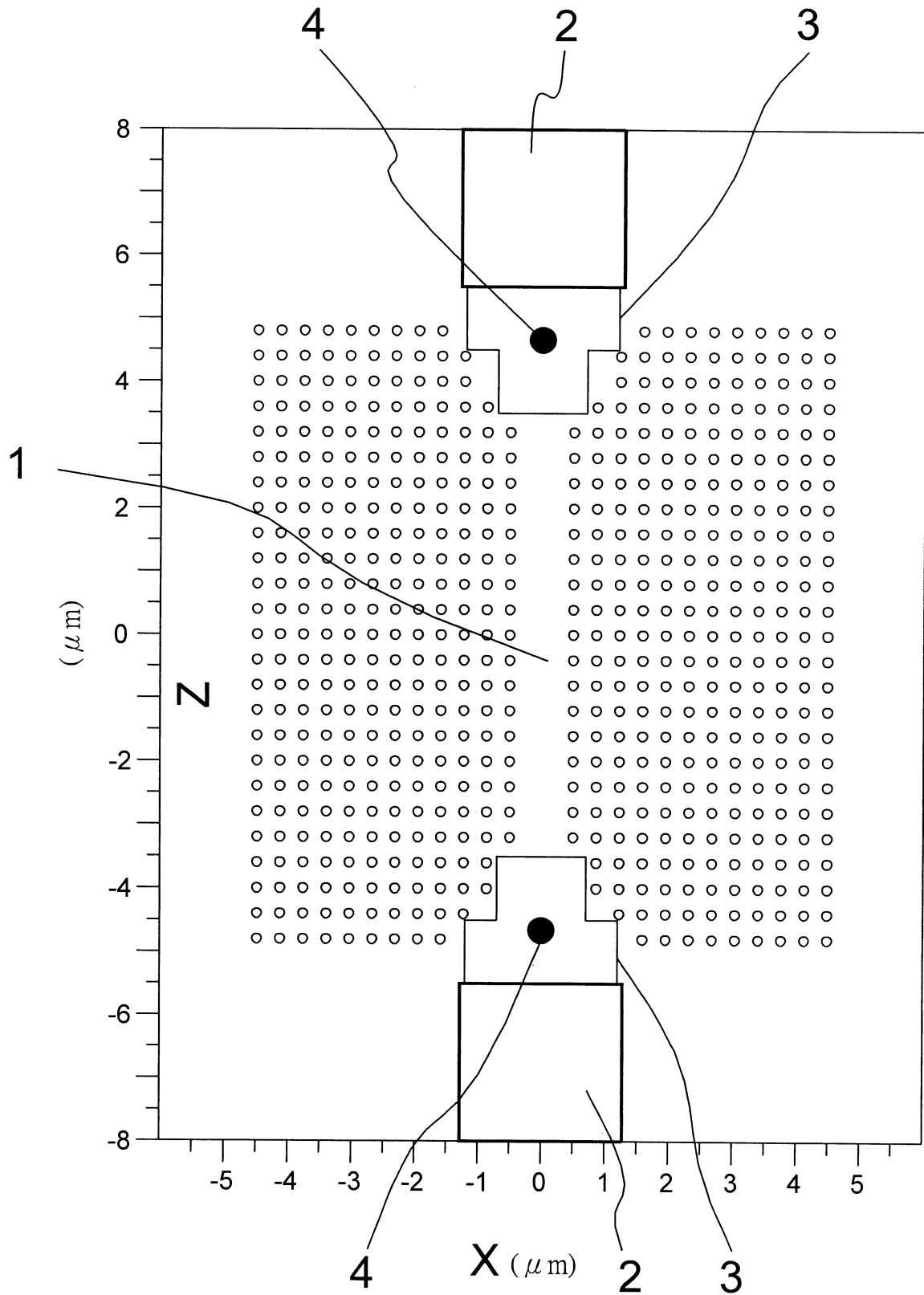
一以上之矽質波導單元，係分別設置於上述平面型光子晶體波導單元之二端，作為入射光進入光積體電路中之通道、及光積體電路中不同界面或元件間之耦合通道；

一以上之側形漸變式單元，係分別設置於上述各矽質波導單元相對應之一面，用以作為入射光經由矽質波導單元進入平面型光子晶體波導單元前之緩衝界面；

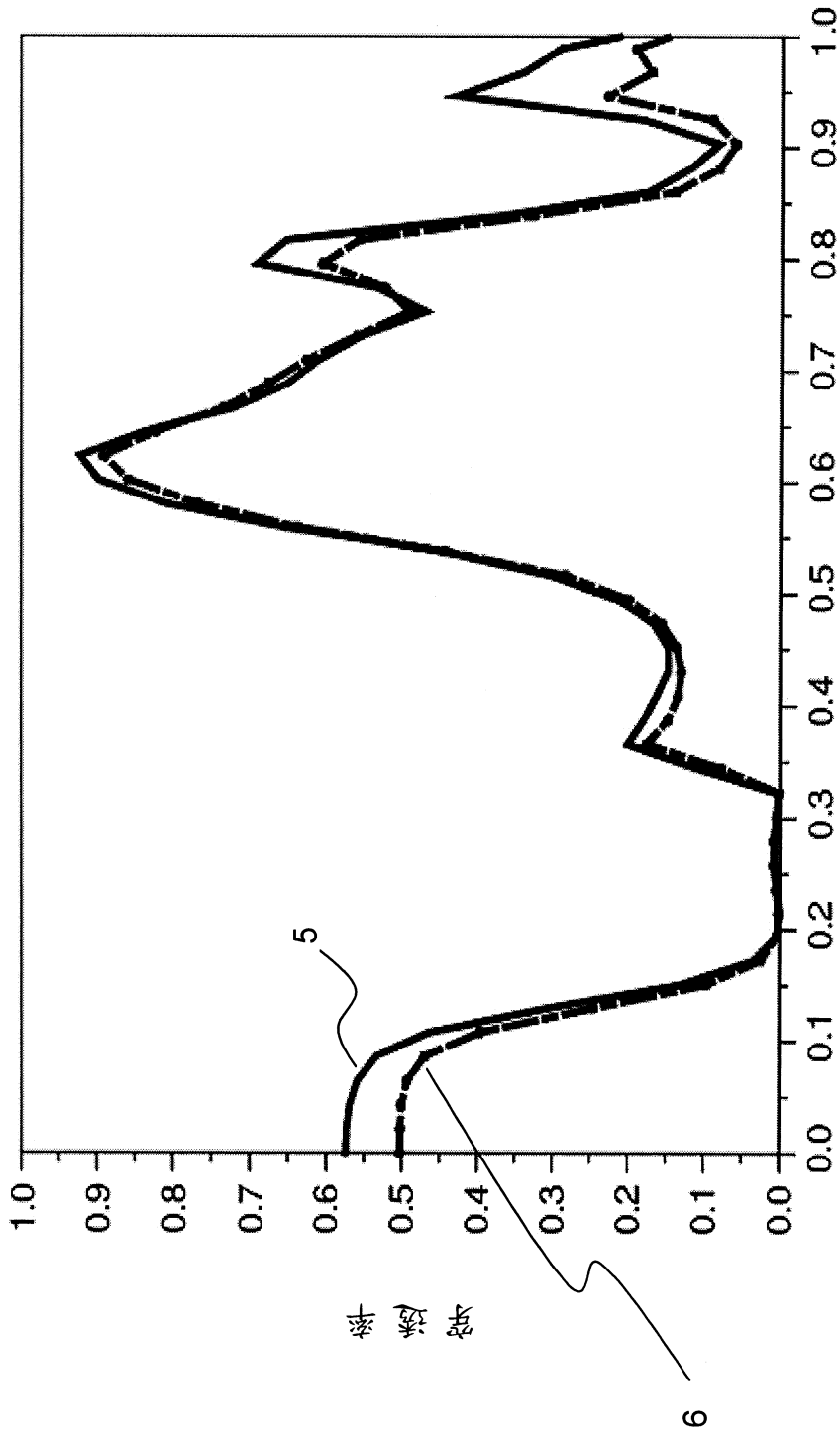
一以上之缺陷柱，係分別設置於上述各側形漸變式單元上，且位於矽質波導單元之輸出／輸入端，可集中光波能量或導光與反射光，用以作為光波的模式匹配(mode matching)。

### 2. 依申請專利範圍第 1 項所述之光子晶體波導之結構，其中，該平面型光子晶體波導單元係為三角晶格之光子晶體波導。

3. 依申請專利範圍第 1 項所述之光子晶體波導之結構，其中，該平面型光子晶體波導單元係為正方晶格之光子晶體波導。
4. 依申請專利範圍第 1 項所述之光子晶體波導之結構，其中，該側形漸變式單元係為二階式兩倍晶格常數漸變式結構。
5. 依申請專利範圍第 1 項所述之光子晶體波導之結構，其中，該缺陷柱亦可依所需改變其半徑之大小、以及缺陷柱距平面型光子晶體波導單元中心點之相對位置，以達到所需之中心頻率。
6. 依申請專利範圍第 1 項所述之光子晶體波導之結構，其中，該缺陷柱亦可依所需改變其半徑之大小、以及缺陷柱距平面型光子晶體波導單元中心點之相對位置，以達到所需之波長。

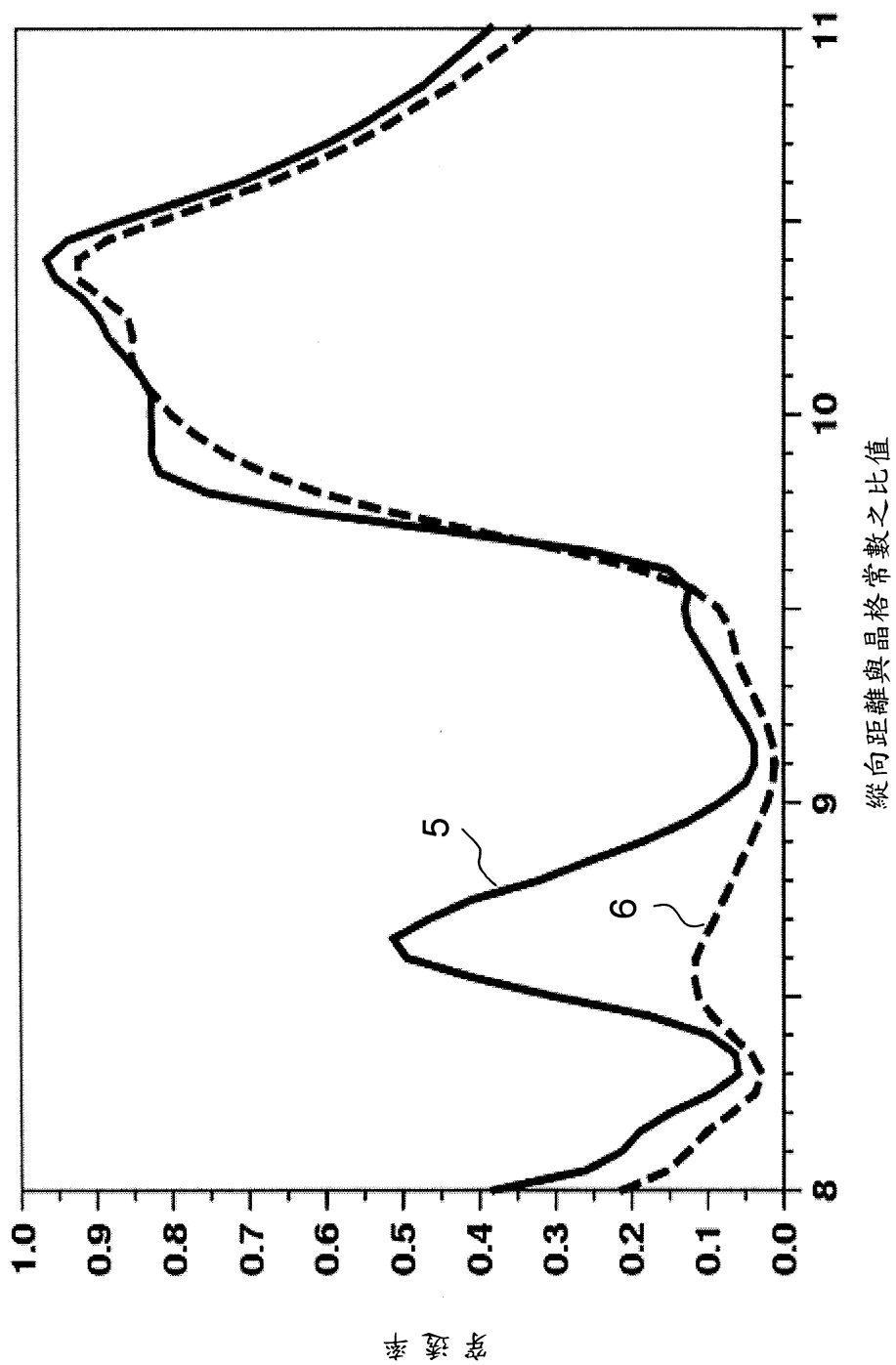


第 1 圖

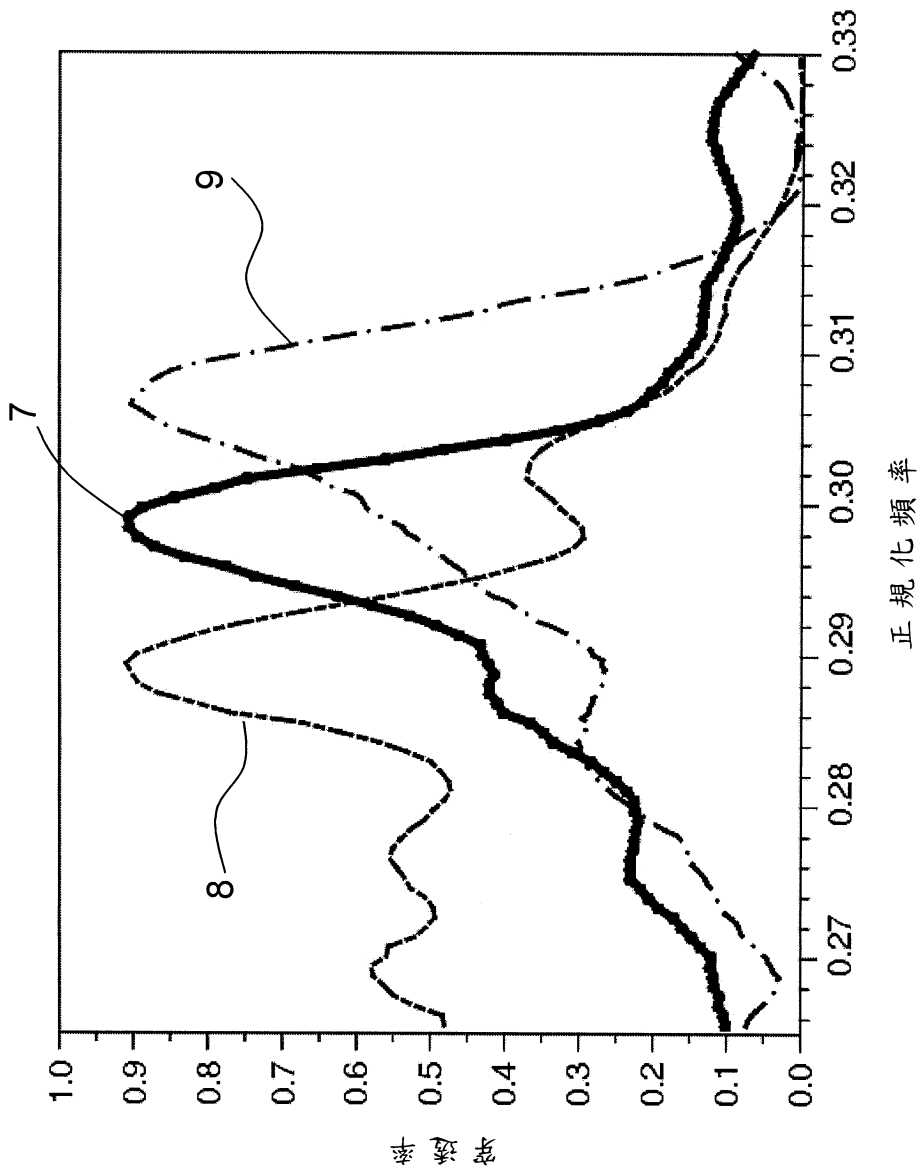


缺陷柱半徑與晶格常數之比值

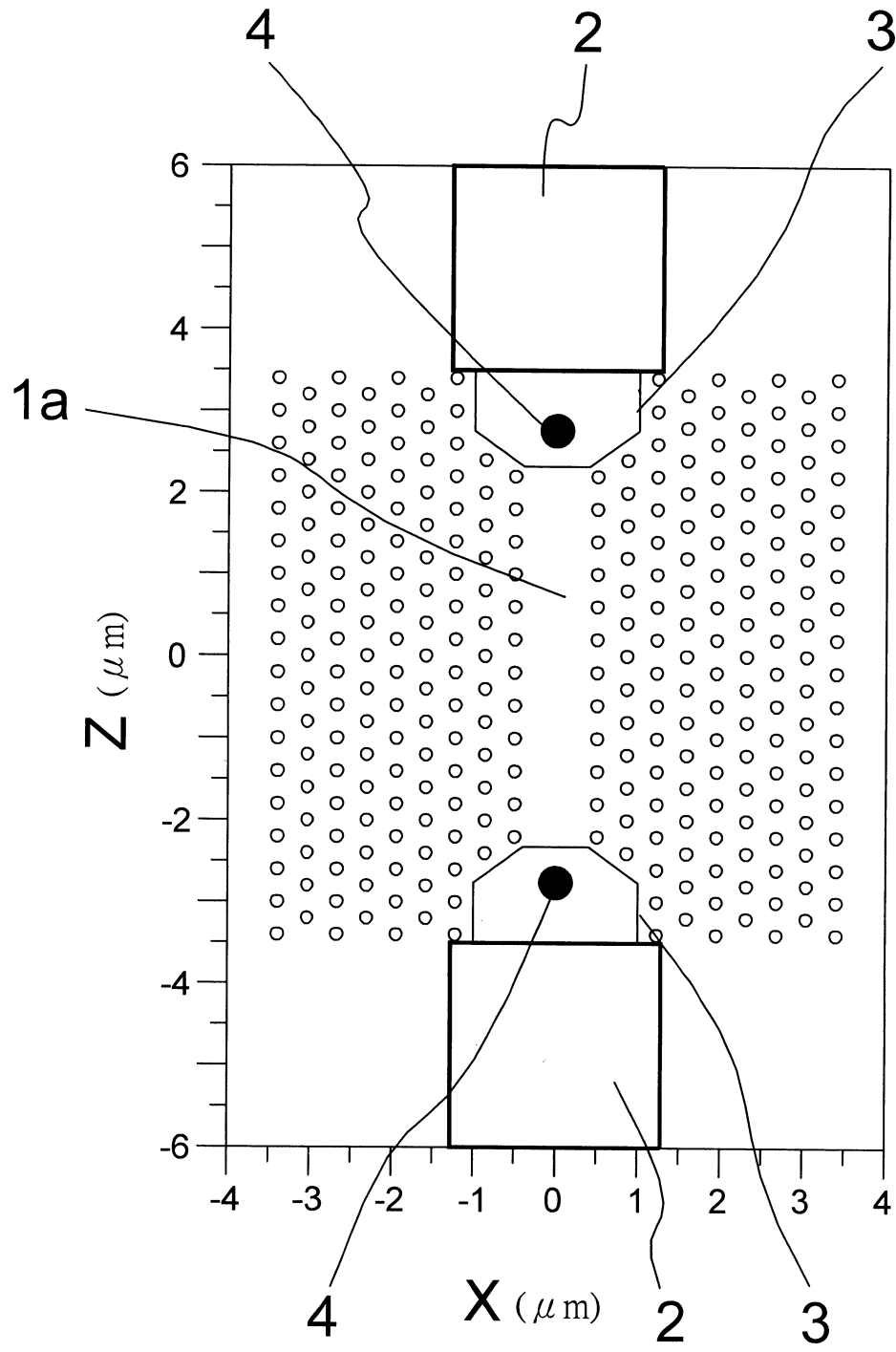
第 2 圖



第 3 圖



第 4 圖



第 5 圖