



(21)申請案號：106127012

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 08 月 10 日

(51)Int. Cl.：

*G01L1/24 (2006.01)**G02B27/00 (2006.01)*

(71)申請人：國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)

新竹市東區大學路 1001 號

(72)發明人：盧贊文 LU, TSAN-WEN (TW)；吳家政 WU, CHIA-CHENG (TW)；李柏璵 LEE, PO-TSUNG (TW)

(74)代理人：江日舜

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：10 共 36 頁

(54)名稱

光學應力感測元件、系統及方法

OPTICAL STRAIN SENSOR, SYSTEM, AND METHOD USING THE SAME

(57)摘要

本發明提供一種光學應力感測元件，乃將至少兩個光學應力感測單元包覆於一包覆體內而可受應力作用來產生形變，其中，每個光學應力感測單元是由多個奈米柱體沿著單一排列方向所構成，這些光學應力感測單元於平面上是以相對於一座標軸夾不同角度來排列，且其兩兩相鄰的夾角為銳角。當光學應力感測元件在平面上受到一未知應力，可透過各光學應力感測單元之光學共振波長變化與資料庫比對後，而感知應力之方向、種類與大小。此外，本發明還提出一種基於該光學應力感測元件之感測系統及感測方法。

An optical strain sensor device consisted of at least two sensing units is provided. Each sensing unit is consisted of plurality of nanorods periodically arranged in single direction and entirely embedded in a deformable cladding body. These sensing units are arranged in different angles relative to an axis of planar coordinate. Via comparing the wavelength shifts of each sensing unit under deformation with a database, this device can detect the direction, type, and strength of an unknown planar strain. In addition, a strain sensing system and method based on this device are also provided.

指定代表圖：

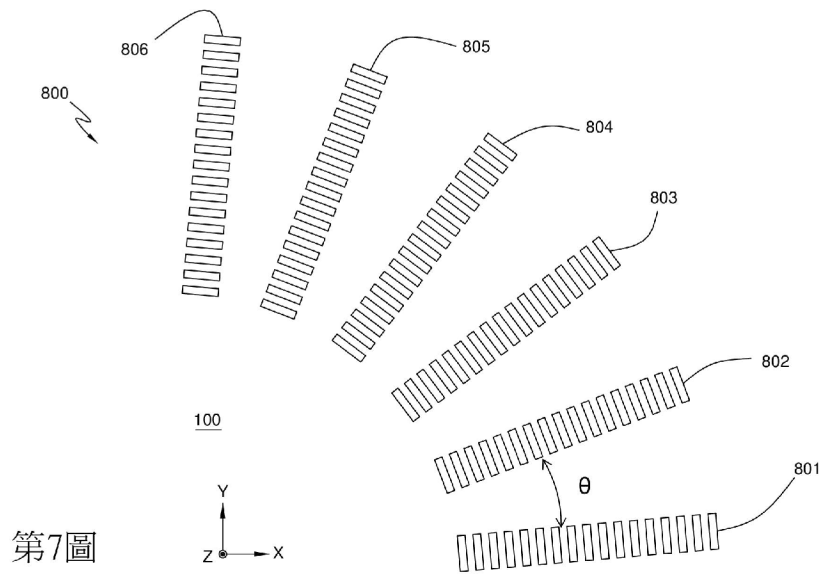
符號簡單說明：

100 . . . 光學應力感測單元

800 . . . 光學應力感測元件

801~806 . . . 光學應力感測單元

θ . . . 夾角



第7圖



201910736

申請日: 106/08/10

IPC分類: G01L 1/24 (2006.01)
G02B 27/00 (2006.01)**【發明摘要】****【中文發明名稱】** 光學應力感測元件、系統及方法**【英文發明名稱】** Optical Strain Sensor, System, and Method using the same**【中文】**

本發明提供一種光學應力感測元件，乃將至少兩個光學應力感測單元包圍於一包圍體內而可受應力作用來產生形變，其中，每個光學應力感測單元是由多個奈米柱體沿著單一排列方向所構成，這些光學應力感測單元於平面上是以相對於一座標軸夾不同角度來排列，且其兩兩相鄰的夾角為銳角。當光學應力感測元件在平面上受到一未知應力，可透過各光學應力感測單元之光學共振波長變化與資料庫比對後，而感知應力之方向、種類與大小。此外，本發明還提出一種基於該光學應力感測元件之感測系統及感測方法。

【英文】

An optical strain sensor device consisted of at least two sensing units is provided. Each sensing unit is consisted of plurality of nanorods periodically arranged in single direction and entirely embedded in a deformable cladding body. These sensing units are arranged in different angles relative to an axis of planar coordinate. Via comparing the wavelength shifts of each sensing unit under deformation with a database, this device can detect the direction, type, and strength of an unknown planar strain. In addition, a strain sensing system and method based on this device are also provided.

【指定代表圖】：第(7)圖。

【代表圖之符號簡單說明】

100	光學應力感測單元
800	光學應力感測元件
801~806	光學應力感測單元
θ	夾角

【發明說明書】

【中文發明名稱】光學應力感測元件、系統及方法

【英文發明名稱】Optical Strain Sensor, System, and Method using the same

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種光學應力感測元件，特別是有關於一種可偵測一平面上之應力方向、種類與大小的光學應力感測元件、系統及方法。

【先前技術】

【0002】 在過去以光學手段來感測結構或物體的應力變化之技術中，光纖是已經被廣泛發展及應用，例如，具有光學共振結構如光柵的光纖感測器。但對於今日日益縮小的穿戴式系統、半導體檢測等需要進行應力偵測的應用上，這類光纖感測器由於本身與架構尺寸的限制，難以嵌入極小物件、系統或極為侷限的空間範圍內，進而構成完整且靈敏的應力感測模組。

【0003】 另一方面，隨著近年奈米製程技術的成熟，各種在波長尺度下的光學共振結構不斷地被研究發展，例如，光子晶體、金屬表面電漿共振結構等。這類光學共振結構不僅具有極小的元件佈局尺寸，亦在繞射極限下具有極佳的光控制能力，因此這類光學結構普遍被相關領域研究者認為在積體集成光路晶片中將扮演重要角色。除了既有光電元件之應用外，這類光學共振結構也因應近年穿戴式裝置的蓬勃發展及伴隨的應力監測應用需求，而被用於應力感測的元件與系統開發上。

【0004】 以光子晶體結構為例，美國公告專利第8839683號「光子晶體壓力感測器（Photonic crystal pressure sensor）」中揭示了一種二維光子晶體薄板波導結構，其透過薄板形變而導致的光子晶體波導中傳遞波頻率變化，來推估導致形變的外來壓力大小。

【0005】 又例如，美國公開專利第20140158871號「用於感測工件性質並

將光子感測器嵌入金屬中的系統和方法（Systems and methods for sensing properties of a workpiece and embedding a photonic sensor in metal）」則揭露了一種二維光子晶體缺陷元件與傳統積體光路整合的應力感測系統，其係藉由比較一原始參考光學共振訊號與一二維光子晶體缺陷元件受應力形變後的光學共振訊號間之差異，來推估系統所受應力之種類與大小。

【0006】 然而，上述專利文獻至少包括以下缺失：首先，使用二維光子晶體光學共振元件做為核心感測單元，其元件圖案尺寸往往大於數百微米平方，難以在有限空間下整合大量感測單元於系統中；其次，二維光子晶體元件於構造上亦難以與積體集成光路中習知使用的光波導達成高效率整合。

【0007】 此外，上述專利文獻仍採用以連續性介電質結構為基礎之光子晶體元件，此類結構對於外加應力所能產生之應變與光學共振訊號變化極低，而造成其感測靈敏度之不足。更重要的是，上述專利文獻僅能感測在『已知方向』下之應力大小與種類，亦即上述專利文獻所揭露之元件與系統，對於平面上任意未知方向之外加應力，具有於實際應用上無法處理並分析之缺失。

【發明內容】

【0008】 有鑑於此，本發明的主要目的在於提供一種光學應力感測元件、系統及方法，具有小元件佈局尺寸和高應力感測靈敏度，且易於與積體集成光路中光波導整合，同時，此元件、系統及方法係可感測一平面上未知應力之來源方向，並進一步分析其種類和大小。

【0009】 因此，為達上述目的，本發明揭露一種光學應力感測元件，用以感測一平面上之應力大小、種類與方向。此光學應力感測元件包含一受到應力作用後會產生形變的包覆體，包覆體將多個光學應力感測單元予以包覆，各個光學應力感測單元是由沿著單一排列方向間隔排列之多個奈米柱體所構成的光學共振結構，這些光學應力感測單元是於平面上以相對於一座標軸夾不同角度的方

式來排列，其中任一對相鄰的光學應力感測單元之間的夾角不超過90度，且隨著應力作用於包覆體而產生形變，會使得每個光學應力感測單元產生光學共振波長之改變。

【0010】 本發明的一實施例中，各個光學應力感測單元是於平面上，以一點為圓心成放射狀依序排列。

【0011】 本發明的一實施例中，這些光學應力感測單元是與應力方向具有一特定夾角，使得在不同應力大小之情況下，維持光學共振波長恆定不變之特性，此特定夾角至少是由包覆體材料之泊松比（Poisson Ratio）來決定。較佳地，本發明的一實施例中，光學應力感測單元之總數為兩個，且這兩個光學應力感測單元之間的夾角不為兩倍於前述特定夾角之互補角。

【0012】 本發明的一實施例中，各個光學應力感測單元之多個奈米柱體具有相同尺寸，且這些奈米柱體是以等距離間隔排列。

【0013】 本發明的一實施例中，各個光學應力感測單元之多個奈米柱體之尺寸與間隔是由每個光學應力感測單元之正中央朝兩側漸增。

【0014】 本發明的一實施例中，這些光學應力感測單元中，每兩相鄰之光學應力感測單元之間的夾角皆為相同或不同。

【0015】 本發明的一實施例中，各個奈米柱體具有一長度垂直於排列方向且具有一寬度平行於排列方向，且各個奈米柱體在排列方向上具有一晶格常數，各個奈米柱體的長度、寬度與晶格常數是等於或小於其光學應力感測單元的光學共振波長。具體而言，包覆體的形變會改變各個奈米柱體的晶格常數的大小，並改變其光學應力感測單元的光學共振波長。

【0016】 本發明的一實施例中，奈米柱體的材料可包含介電質或金屬材料。具體而言，本發明的一實施例中，介電質可為一半導體材料。較佳地，半導體材料可為具有直接能隙或量子侷限結構的受激發光半導體材料。更佳地，其中

具有量子侷限結構的半導體材料可為三-五族或二-六族之三元或四元半導體化合物；舉例而言，所述半導體材料為磷砷化銦鎵（InGaAsP）。

【0017】 本發明的一實施例中，包覆體可為一光學折射率小於2的彈性高分子材料。具體而言，高分子材料可為聚二甲基矽氧烷(polydimethylsiloxane；PDMS)。

【0018】 本發明的一實施例中，形變可包括拉伸、壓縮、撓曲或其他可致使所述光學應力感測單元之晶格常數於平面產生變化之形變。

【0019】 本發明也揭露一種基於前述光學應力感測元件之光學應力感測系統，用以感測一平面上之應力大小、種類與方向，此光學應力感測系統乃由光源、光學導入部、光學感測部、光學導出部、光偵測部以及處理器所構成。其中，光源是用以產生一原始光線；光學導入部鄰近光源，用以收集和導入原始光線；光學感測部包括前述光學應力感測元件，光學應力感測元件耦接於光學導入部，用以接收原始光線，並使光學應力感測單元產生複數共振光線；光學導出部耦接光學應力感測元件，用以收集和導出共振光線；光偵測部耦接光學導出部，用以偵測共振光線，並產生複數光譜訊號；而處理器耦接光偵測部，用以根據光譜訊號而計算各個光學應力感測單元之光學波長位移量，以判斷應力之大小、種類與方向。

【0020】 本發明的一實施例中，光源可為寬頻同調光源或單頻雷射。

【0021】 本發明的一實施例中，光學導入部與光學導出部可為脊型波導或其他具有相同奈米尺度之平面波導形式。

【0022】 另外，本發明也揭露一種基於前述光學應力感測元件及系統之光學應力感測方法，用以感測一平面上之應力大小、種類與方向，其透過前述光學應力感測系統而執行，此方法首先接收光譜訊號，並計算各個光學應力感測單元之光學波長位移量；然後，判斷這些光學應力感測單元中，是否有光學波長位移

量為0之光學應力感測單元存在；若前述判斷步驟結果為否，則將全部光學應力感測單元之波長位移量與一資料庫擬合比對，以估計出應力大小、種類和方向；若前述判斷步驟結果為是，則辨識光學波長位移量為0之光學應力感測單元，而直接決定應力之方向，並於剩餘之光學應力感測單元中任意挑選一光學應力感測單元判讀其波長位移量，而估計出應力之種類與大小。

【0023】 底下藉由具體實施例配合所附的圖式詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

【圖式簡單說明】

【0024】

第1圖為構成本發明一實施例所提供之光學應力感測單元的透視圖。

第2圖為由第1圖之一視角方向之光學應力感測單元的俯視圖。

第3A圖為本發明一實施例中光學應力感測單元於拉伸與壓縮下的共振光譜變化。

第3B圖為本發明一實施例中兩個正交排列的光學應力感測單元在同樣方向壓縮力下之晶格變化趨勢。

第4A與4B圖分別為本發明一實施例中光學應力感測單元於受到非週期方向應力時晶格常數之變化。

第5A與5B圖分別為本發明一實施例中光學應力感測單元受到相對於週期方向下不同夾角施力與不同施力大小之波長位移量變化曲線。

第6A圖與第6B圖分別為本發明一實施例所實際製作的多個光學應力感測單元佈局之電子顯微鏡俯視圖及包覆於包覆體後之光學顯微影像。

第6C~6I圖為第6A圖中各光學應力感測單元在受到沿x軸方向之不同大小壓縮力下之光學共振位移光譜。

第7圖為本發明一實施例所提供之光學應力感測元件的示意圖。

第8A與8B圖為本發明中當光學應力感測單元數量為兩個時，無法執行感測分析之兩種排列狀況。

第9圖為本發明一實施例所提供之光學應力感測方法的流程圖。

第10A圖為本發明一實施例所提供之光學應力感測系統的示意圖。

第10B圖為本發明一實施例所提供之光學導入部-光學感測部-光學導出部之佈局的俯視圖。

【實施方式】

【0025】 根據本發明所揭露之光學應力感測元件，主要包括有複數個光學應力感測單元，這些光學應力感測單元係於二維平面上進行排列，可用以感測該平面上所受到一未知應力之大小、種類與方向。底下即詳細說明本發明之光學應力感測元件的具體構成、原理和其功效，以及有關光學應力感測元件於光學應力感測系統及感測方法之應用。

【0026】 請參照第1圖，其繪示構成本發明一實施例所提供之光學應力感測單元100之示意圖。光學應力感測單元100主要是由間隔排列之多個奈米柱體101所構成，這些奈米柱體完全被包覆於一包覆體102中。

【0027】 本發明中，奈米柱體101可由介電質或金屬材料所構成。較佳地，介電質可為半導體材料，進一步而言，半導體材料可為具有直接能隙或量子侷限結構的受激發光之半導體材料；包覆體102為受外加應力下產生形變之材料，形變可為拉伸、壓縮、彎曲或其他可致使所述光學應力感測單元100之晶格常數於平面產生變化之形變；較佳地，包覆體102材料可為光學折射率不高於2之彈性高分子材料。具體而言，本發明所揭露之包覆體102材料可為聚二甲基矽氧烷 (polydimethylsiloxane；PDMS)，奈米柱體101材料可為具有量子井結構之磷砷化銦鎵 (InGaAsP) 半導體化合物。

【0028】 請參照第2圖，其展示了由第1圖所指視角方向103之該些奈米柱

體101之俯視圖。本實施例中，奈米柱體101各具有相同之寬度 w 與長度 L ，並以一彼此間為等距離之晶格常數 a 沿一方向（ x 軸）週期性排列；奈米柱體101之結構可允許一光波沿該週期性排列方向傳輸，並以布拉格波（Bloch Wave）的形式產生光學共振，且奈米柱體101之長度 L 、寬度 w 與晶格常數 a 具有等於或小於該光學共振之波長。

【0029】 在本實施例中，如第2圖所示，當一應力沿該週期排列方向（ x 軸）施加於包覆體102時，包覆體102會帶動奈米柱體101產生對應於該應力的形變，例如受到一沿 x 軸方向壓縮力 $C1$ 時，奈米柱體101間的晶格常數 a 會隨外力而壓縮減小；反之，當受到一沿 x 軸方向拉伸力 $S1$ 時，奈米柱體101間的晶格常數 a 會隨外力而拉伸增大；由於這些應力所造成晶格常數 a 之增加與減小，將直接改變奈米柱體101結構所允許之光學共振波長，而產生波長於光譜上之位移。

【0030】 進一步而言，奈米柱體101可以漸變方式排列，其中奈米柱體101之寬度 w 與晶格常數 a 是由光學應力感測單元100中心向左右兩邊線性增加，而形成一具有模隙侷限效應的奈米共振腔，進而提供更低損耗的光學共振特性。

【0031】 第1圖所示的光學應力感測單元100之製作方法、共振腔具體設計與效果，有關此部份的技術特徵，詳細可參閱申請人發表之文獻「Tunable nanoblock lasers and stretching sensors」(Tsan-Wen Lu, Chun Wang, Chi-Feng Hsiao, and Po-Tsung Lee, *Nanoscale* 8(37), pp. 16769-16775 (2016))。

【0032】 如第3A圖所示，其展示本發明一實施例中光學應力感測單元於拉伸與壓縮下的共振光譜變化；對光學應力感測單元100施以一沿如第2圖所定義 x 軸單一方向之拉伸力 $S1$ ，使其結構拉伸，在拉伸量逐漸由0增加至10%的過程中，將致使晶格常數 a 逐漸增加，而可達成光學應力感測單元100之光學共振波長於光譜區域401線性地紅移。在本實施例中，光學應力感測單元100在10%的拉伸量下，其光學共振波長之紅移總量為78奈米（nm）；相反地，若於同方向

施以一壓縮力C1於同一光學應力感測單元100，而使其結構受到壓縮形變，在壓縮量逐漸由0增加至10%的過程中，將致使晶格常數a逐漸減小，而造成光學應力感測單元100之光學共振波長於光譜區域402線性地藍移，在本實施例中，光學應力感測單元100在10%的壓縮量下，其光學共振波長之藍移總量為77 nm。

【0033】 因此，本發明之光學應力感測單元100可透過其光學共振波長於光譜上的位移量及其位移趨勢（藍移或紅移），來判定所受到的外力大小與種類（壓縮或拉伸）；然而，此感測操作僅限於應力方向相對於光學應力感測單元100為已知的情況，且為沿奈米柱體101的週期排列方向（x軸）所施加之應力，故於實務上並無法感知二維平面上任一未知應力之來源方向，進而判斷其大小與種類。

【0034】 為了使本發明所揭露之光學應力感測單元100進一步可用以感知一平面上不同方向來源之應力，本發明進一步探討光學應力感測單元100受到一平面上不同方向來源之應力下，其結構與波長變化之行為描述如下。

【0035】 舉例而言，如第3B圖所示，其展示兩個正交排列的光學應力感測單元403、404在同樣方向壓縮力下之晶格常數變化趨勢；當施加一沿x軸之壓縮力C2於沿x軸向排列的光學應力感測單元403而言，將如第3A圖所描述之情形，在光譜上將完全反映出來自於應力所造成之晶格常數應變壓縮量LC1所致使的波長藍移變化的光譜區域402；為清楚說明第3B圖和第4A、4B圖之不同實施例，故分別以LC1~LC3和LS1~LS3為代號表示不同實施例所提及的晶格常數應變壓縮量及膨脹量，圖中並未標示。另一方面，由於包覆體屬於一般常見材料而具有正珀松比（Poisson Ratio）之材料係數，因此沿x軸方向所施加的壓縮力C2將造成包覆體y軸與z軸之膨脹應變，故相同的壓縮力C2對於沿y軸排列的光學應力感測單元404而言，光學應力感測單元404反而會產生一沿y方向之晶格常數應變膨脹量LS1，而於光譜上產生如第3A圖之波長紅移變化的光譜區域401，而該沿

y方向之晶格常數應變膨脹量 $LS1$ 大小則等於沿x方向(施力方向)之晶格常數應變壓縮量 $LC1$ 大小乘以材料泊松比乘以一常數而推估，此常數可由包覆體於y軸長度除以包覆體於y軸與z軸長度之總和而決定。

【0036】 然而，以上特性仍屬外力沿相對於光學應力感測單元之軸向方向時之情形。若外力來自於平面上任一方向，則請參照第4A與4B圖，其分別展示本發明一實施例中光學應力感測單元於受到非週期方向應力時其晶格常數之變化。

【0037】 本實施例中，應力為沿x軸施加之壓縮力 $C3$ ，並與光學應力感測單元之晶格週期性排列方向夾一角度 α ，如第4A圖所示；在此一狀況下，光學應力感測單元之奈米柱體將以相對於週期排列方向離軸的方式排列，沿x軸產生晶格常數應變壓縮量 $LC2$ ，且沿y軸產生晶格常數應變膨脹量 $LS2$ ；相反地，若光學應力感測元件受到沿x軸施加之拉伸力 $S3$ ，則非軸向排列之光學應力感測單元之奈米柱體將以相對於週期排列方向離軸的方式排列，沿x軸產生晶格常數應變膨脹量 $LS3$ 與沿y軸產生晶格常數應變壓縮量 $LC3$ ，如第4B圖所示。

【0038】 如第4A圖與第4B圖所示，在壓縮或拉伸下，由於沿該兩軸將對光學應力感測單元造成不同趨勢之晶格常數應變壓縮/膨脹量，從而使光學應力感測單元產生趨勢不同之光學波長位移分量，並合成為一光學共振波長位移。

【0039】 透過數值模擬方法，第5A圖展示了上述光學應力感測單元在與受力方向夾角 α 等於0度至90度角間，不同施力種類與大小下所造成的光學共振波長位移曲線；其中區域601與603之曲線為施力種類為一壓縮力，而區域602與604之曲線為施力種類為一拉伸力。以造成包覆體於x軸向產生5%晶格常數應變壓縮量的施力為例，在區域601與603中，其波長位移變化量隨著與施力方向夾角由0增加至90度角的過程，呈現出一類似遲滯曲線的變化趨勢；當光學應力感測單元與x軸向施力的夾角越大，對光學應力感測單元來說，所受到x軸方向的晶格

常數應變壓縮量越小，受到y軸方向的晶格常數應變膨脹量越大，所致使的光學波長位移量（藍移）也將逐漸變小而轉為紅移，此處所指波長紅移與藍移是相對於光學應力感測單元未受力下的原始光學共振波長而言，於第5A圖中縱軸上以位移量負值表示藍移，正值表示紅移。

【0040】 特別的是，可以從第5A圖中發現，所有曲線將會交會於一點C，亦即在該點C之對應角度下，無論受力大小與種類，所有光學應力感測單元所對應之波長位移量皆為0。而此現象是由於光學應力感測單元因受力所造成x軸方向的晶格常數應變壓縮量與y軸方向的晶格常數應變膨脹量，兩者分別造成的波長藍移分量與波長紅移分量恰為相等而抵銷，致使其合成光學共振波長不變。因此，無論施力大小為何，其光學共振波長將不會有變化而呈現與施力大小零相關之特性；而此特定角度是由包覆體之結構尺寸常數與珀松比之乘積決定；在本實施例中，所採用之PDMS材料具有0.495之珀松比。

【0041】 第5B圖則展示了根據第5A圖不同的繪製方式，其中橫軸為因施力造成包覆體與奈米柱狀結構的晶格常數應變壓縮/膨脹量，縱軸則代表了波長位移量，不同曲線則分別對應光學壓力感測元件與施力方向間的不同夾角 α ；區域605與區域606分別代表所受力之種類為壓縮與拉伸。可以清楚的觀察到，如先前所述，對應角度 α 等於54.7度之曲線，在不同的晶格常數應變壓縮/膨脹量下，其波長維持恆定不變。

【0042】 第6A圖和第6B圖分別展示了依本發明所實際製作的多個光學應力感測單元佈局之電子顯微鏡圖及包覆於包覆體後之光學顯微影像。這些光學應力感測單元於平面座標上，以相對於x軸夾不同 α 角而排列，該 α 角分別從0度以15度為增加區間漸增至90度。第6C~6I圖則展示了第6A圖中於座標第一象限排列之七個光學應力感測單元在受到沿x軸方向不同大小之壓縮力（亦即各光學應力感測單元與受力方向之夾角 α 分別為0°、15°、30°、45°、60°、75°與90°），致

使x軸方向產生1~5%之壓縮量，各光學應力感測單元之光學共振位移光譜。第6C~6I圖所展現出的結果如第5A圖所預測，呈現出一遲滯曲線的變化趨勢；當 α 角度增加，光學應力感測單元所受到x軸方向的晶格常數應變壓縮量越小，受到y軸方向的晶格常數應變膨脹量則越大，致使光學波長位移量隨著 α 角度變大，而由藍移逐漸轉為紅移。

【0043】 因此，根據上述理論與實驗的光學特性，可以第5A圖與第5B圖做為一資料庫，在一給定夾角 θ 經設計之光學應力感測元件受到平面上一未知施力下，透過各光學應力感測單元波長位移量與資料庫中各變化曲線之擬合比對，而可估計出該施力之方向、種類與大小。

【0044】 也因此，本發明基於上述機制與特性可提供一種可偵測施力之方向、種類與大小之光學應力感測元件；如第7圖所示，本發明所提供之光學應力感測元件800是由複數個具有如第1圖所述之光學應力感測單元801~806包覆於包覆體100中所構成。其中，光學應力感測單元801~806於平面座標上之一象限，例如是第一象限中，相對於x軸夾不同角度而排列。具體而言，光學應力感測單元801~806可以一圓心點呈現放射狀排列，而達成整體元件圖形尺寸之最小化，但其排列方式不限於此；各相鄰之光學應力感測單元801~806之間的夾角 θ 呈現為小於90度之銳角，而光學應力感測單元801~806中每兩兩相鄰所夾的夾角 θ 可為相同或不同。

【0045】 進一步而言，根據本發明所揭露之光學應力感測元件，所屬技術領域之通常知識者能輕易想到將上述光學元件中之光學應力感測單元的數量極大化，藉以極大量化之數據達成精準映射或繪出所受外力之方向、種類與大小；惟數量之極大化也會造成整體感測元件圖形尺寸的極大化與數據處理量增加，並不利於該元件以極小之尺寸以及簡易分析過程等特點整合於積體光路晶片

【0046】 因此，本發明亦提出在尺寸極小化與感測功能運作之前提下，前述第7圖所揭示之光學應力感測元件，其最小感測單元數量為2；惟在此狀況下，光學應力感測單元之排列方式需避免以下兩種狀況：其一，光學應力感測單元不可以兩兩垂直排列，其原因具體如第8A圖所示，若光學應力感測單元901與902為垂直，則面對一施力方向903與光學應力感測單元901與902夾相同角度時，光學應力感測單元901與902的數據與前述第5A圖與第5B圖之資料庫比對後，將得出受力方向可為方向903或與其夾互補角之方向904，進而造成無法感測方向之問題。

【0047】 其二，光學應力感測單元兩者間之夾角不可為前述第5A圖中C點角度之兩倍角的互補角。具體而言，本實施例中，C點之角度乃為54.7度，則光學應力感測單元之排列不可夾70.6度角；其原因具體如第8B圖所示，在此排列下，若外力來自於與兩光學應力感測單元夾54.7度角之方向905，該些光學應力感測單元會呈現波長維持恆定不變之行為，雖能依此迅速判斷其施力方向，但也由於此時所有光學應力感測單元在不同壓縮/膨脹量下的波長恆定，故亦無法判別其施力種類與大小之狀況。

【0048】 進一步而言，若光學應力感測單元的數量增加至3個以上（包括3個），則再無上述排列方向組合之限制，並可透過各光學應力感測單元的波長位移量與前述資料庫中各變化曲線之擬合比對，而估計出施力之方向、種類與大小。當然，所屬發明領域之習知技藝者亦可進一步增加光學應力感測單元的數量，以求更精準之應力感測，惟此舉同樣可受伴隨的元件圖形尺寸增大，而限制其單元數量之增加。

【0049】 此外，當光學應力感測單元數量大於或等於3個時，更可進一步的利用前述特定角度下波長位移不變之光學特性，進一步簡化前述資料庫比對與擬合過程。具體而言，可以在元件受力後所接收到的光學應力感測單元訊號

中，先判斷是否有光學應力感測單元呈現共振波長不變之特性，若有，則能直接判定所受應力的方向為何；而基於已知的施力方向，接著，便僅需於剩餘的光學應力感測單元中，判讀任意一個以上的光學應力感測單元之波長位移，便能判定所受到力之大小與種類；此狀況下無須將所有光學應力感測單元之訊號與資料庫作擬合比對，進而能簡化感測訊號之分析複雜度。

【0050】 具體而言，請參照第9圖，其展示本發明根據上述光學應力感測元件之特性所提出之光學應力感測方法的流程圖。首先，於步驟S1001中，接受光學應力感測元件之訊號，其中包括計算各光學應力感測單元之光學波長位移；接續，於步驟S1002中，係用以判斷是否有光學波長位移接近不變之光學應力感測單元存在，若無，則接續步驟S1003；於步驟S1003中，將全部光學應力感測單元的波長位移量與前述資料庫中各變化曲線之擬合比對，而同時估計出施力之種類、方向與大小。

【0051】 另一方面，若步驟S1002之判斷結果為是，則接續步驟S1004，辨識該具有不變光學波長之光學應力感測單元，而直接決定施力之方向；接著，則進行步驟S1005，於剩餘的光學應力感測單元中，任意挑選一個光學應力感測單元判讀其波長位移，在步驟S1004已決定施力方向的前提下，透過資料庫的比對即能完成判定所受施力之大小與種類，而無須將所有光學應力感測單元之波長位移與資料庫比對，而具有簡化資料比對步驟之功效。

【0052】 第10A圖則為本發明根據前述光學應力感測元件所提出之光學感測系統之實施例。光學應力感測系統包括寬頻光源1101、光學導入部1102、光學感測部1103、光學導出部1104、光偵測部1105以及處理器1106。其中，寬頻光源1101係用以發出一寬頻光的原始光線；光學導入部1102鄰近於寬頻光源1101，用以收集和導入該原始光線；光學感測部1103則包括前述光學應力感測元件，並耦接光學導入部1102，用以接收該原始光線，並使前述光學應力感測單元產生複

數共振光線；光學導出部1104耦接光學應力感測元件，用以收集和導出該些共振光線；光偵測部1105耦接光學導出部1104，用以偵測該些共振光線，並產生複數光譜訊號；而處理器1106耦接光偵測部1105，用以根據該些光譜訊號而計算各光學應力感測單元之光學波長位移量，以判斷該應力大小、種類與方向。

【0053】 藉此，透過光學導入部1102將寬頻光分別輸入至光學感測部1103，寬頻光於各光學感測單元中在受力與非受力狀況下之光學共振訊號皆透過光學導出部1104傳遞至光偵測部1105，光偵測部1105連接至處理器1106而執行具有前述第9圖中光學應力感測方法之步驟S1001~S1005之程式。

【0054】 進一步而言，寬頻光源1101可為一具有同調性之寬頻光源，較佳地，其可為多波長雷射；光學感測部1103，舉例而言，可具有如第7圖所示之光學應力感測元件中各光學應力感測單元之佈局；光學導入部1102與光學導出部1104可設計有脊型波導，或其他具有相同奈米尺度之波導形式，且可為直接連接於光學應力感測元件之平面光學波導。舉例而言，第10B圖展示了一光學導入部1102-光學感測部1103-光學導出部1104之佈局示例的俯視圖；在此佈局下，光學應力感測單元數量為4，較佳地，單一光學應力感測單元具有相同的晶格常數，亦即可選擇性地不透過設計漸變晶格來形成侷域性共振腔結構，使得光學應力感測單元具有一在晶格間共振且可沿週期性排列方向傳播之光學共振模態，而具有由光學導入部/光學應力感測單元/光學導出部之間的高效率耦合功效。

【0055】 又，本實施例中的光學應力感測單元可由可受激發光之半導體或有機材料所構成，在此狀況下，則可簡化前述結構中之光學導入部1102，而直接透過寬頻光源1101之直接激發各光學應力感測單元而產生共振。在此實施例中，激發光源不需為寬頻光，故光源1101可簡化成低成本之單波長光源，較佳地可為一單頻雷射光源。此外，在此實施例中，較佳地，單一光學應力感測單元具有漸變的晶格常數來形成一侷域性共振腔結構。

【0056】 相較於傳統奈微米尺度的人造光學共振結構，僅能感測在『已知方向』下之應力大小與種類，對於平面上任意未知方向之外加應力，具有實際應用上無法處理並分析之缺失，而根據本發明所揭露的光學應力感測元件、系統與方法，則不僅具有小元件圖形尺寸和高應力感測靈敏度，也可高度相容及整合於積體集成光路中，且該元件、系統與方法係可感測平面上未知應力之來源方向，並進一步分析其種類與大小，且其透過與資料庫比對的方法，係可提供迅速判定並簡化訊號分析之程序。

【0057】 以上所述之實施例僅係為說明本發明之技術思想及特點，其目的在使熟習此項技藝之人士能夠瞭解本發明之內容並據以實施，當不能以之限定本發明之專利範圍，即大凡依本發明所揭示之精神所作之均等變化或修飾，仍應涵蓋在本發明之專利範圍內。

【符號說明】

【0058】

100	光學應力感測單元
101	奈米柱體
102	包覆體
103	視角方向
401	光譜區域
402	光譜區域
403、404	光學應力感測單元
601~606	區域
800	光學應力感測元件
801~806	光學應力感測單元
901、902	光學應力感測單元

903~905	方向
1101	光源
1102	光學導入部
1103	光學感測部
1104	光學導出部
1105	光偵測部
1106	處理器
a	晶格常數
C	點
C1~C3	壓縮力
L	長度
S1002~S1005	步驟
S1、S3	拉伸力
w	寬度
α	夾角
θ	夾角

【發明申請專利範圍】

- 【第1項】 一種光學應力感測元件，係用以感測一平面上之應力大小、種類與方向，該光學應力感測元件包含：
- 一包覆體，係受該應力作用而產生形變；以及
- 複數光學應力感測單元，係由該包覆體所包覆，各該光學應力感測單元係為沿著單一排列方向間隔排列之複數奈米柱體所構成的光學共振結構，該些光學應力感測單元係於該平面上以相對於一座標軸夾不同角度來排列，而每兩相鄰之該些光學應力感測單元之間的夾角為一小於90度之銳角，且隨著該應力作用於該包覆體來產生形變，而使得各該光學應力感測單元產生一光學共振波長之改變。
- 【第2項】 如請求項第1項所述之光學應力感測元件，其中各該光學應力感測單元係於該平面上，以一點為圓心成放射狀依序排列。
- 【第3項】 如請求項第1項所述之光學應力感測元件，其中該些光學應力感測單元係與該應力方向具有一特定夾角，使得在不同應力大小之情況下，維持該光學共振波長恆定不變之特性，該特定夾角係至少由該包覆體材料之泊松比（Poisson Ratio）來決定。
- 【第4項】 如請求項第3項所述之光學應力感測元件，其中該些光學應力感測單元之總數為兩個，該兩個光學應力感測單元之間的夾角不為兩倍於該特定夾角之互補角。
- 【第5項】 如請求項第1項所述之光學應力感測元件，其中各該光學應力感測單元之該些奈米柱體具有相同尺寸，且該些奈米柱體係以等距離間隔排列。
- 【第6項】 如請求項第1項所述之光學應力感測元件，其中各該光學應力感測單

元之該些奈米柱體之尺寸與間隔係由各該光學應力感測單元之正中央朝兩側漸增。

- 【第7項】 如請求項第1項所述之光學應力感測元件，其中該些每兩相鄰之光學應力感測單元之間的夾角皆為相同或不同。
- 【第8項】 如請求項第1項所述之光學應力感測元件，其中各該奈米柱體具有一長度垂直於該排列方向且具有一寬度平行於該排列方向，且各該奈米柱體在該排列方向上具有一晶格常數，該長度、該寬度與該晶格常數係等於或小於該光學共振波長。
- 【第9項】 如請求項第8項所述之光學應力感測元件，其中該包覆體的形變係改變該晶格常數的大小，並改變該光學共振波長。
- 【第10項】 如請求項第1項所述之光學應力感測元件，其中該些奈米柱體的材料包含介電質或金屬材料。
- 【第11項】 如請求項第10項所述之光學應力感測元件，其中該介電質係為一半導體材料。
- 【第12項】 如請求項第11項所述之光學應力感測元件，其中該半導體材料係為具有直接能隙或量子侷限結構的受激發光半導體材料。
- 【第13項】 如請求項第12項所述之光學應力感測元件，其中該具有量子侷限結構的半導體材料係為三-五族或二-六族之三元或四元半導體化合物材料所構成。
- 【第14項】 如請求項第1項所述之光學應力感測元件，其中該包覆體係為一光學折射率小於2的彈性高分子材料。
- 【第15項】 如請求項第14項所述之光學應力感測元件，其中該高分子材料為聚二甲基矽氧烷(polydimethylsiloxane；PDMS)。
- 【第16項】 如請求項第1項所述之光學應力感測元件，其中該形變包括拉伸、壓

縮或撓曲。

【第17項】 一種光學應力感測系統，包含：

一光源，用以產生一原始光線；

一光學導入部，係鄰近該光源，用以收集和導入該原始光線；

一光學感測部，包括如請求項第1-16項中任一項所述之該光學應力感測元件，該光學應力感測元件係耦接該光學導入部，用以接收該原始光線，並使該些光學應力感測單元產生複數共振光線；

一光學導出部，係耦接該光學應力感測元件，用以收集和導出該些共振光線；

一光偵測部，係耦接該光學導出部，用以偵測該些共振光線，並產生複數光譜訊號；以及

一處理器，係耦接該光偵測部，用以根據該些光譜訊號而計算各該光學應力感測單元之光學波長位移量，以判斷該應力大小、種類與方向。

【第18項】 如請求項第17項所述之光學應力感測系統，其中該光源係為一寬頻同調光源或一單頻雷射。

【第19項】 如請求項第17項所述之光學應力感測系統，其中該光學導入部與該光學導出部係為脊型波導或平面波導。

【第20項】 一種光學應力感測方法，係透過如請求項第17-19項中任一項所述之光學應力感測系統而執行，該方法包括下列步驟：

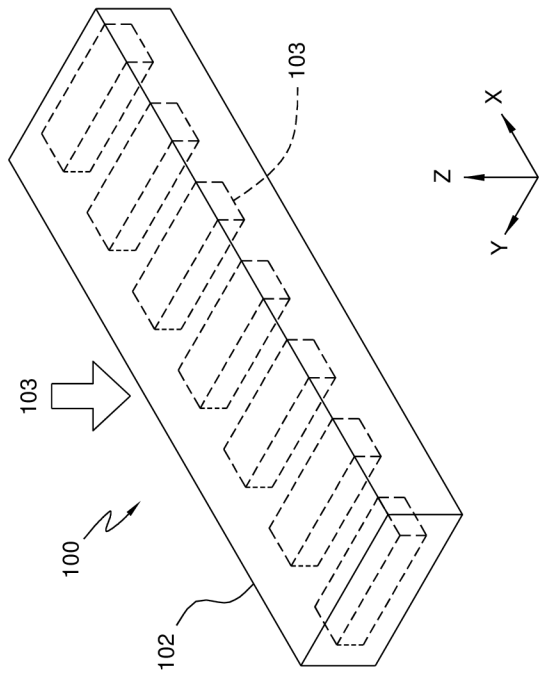
接收該些光譜訊號，並計算各該光學應力感測單元之光學波長位移量；

判斷該些光學應力感測單元中，是否有光學波長位移量為0之光學應力感測單元存在；

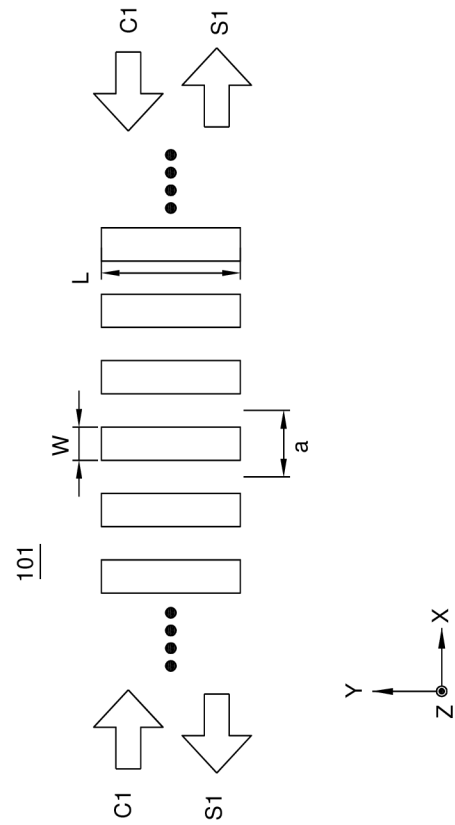
若該判斷步驟結果為否，則將全部該些光學應力感測單元之波長位移量與一資料庫擬合比對，以估計出該應力大小、種類和方向；以及

若該判斷步驟結果為是，則辨識該光學波長位移量為0之光學應力感測單元，而直接決定該應力之方向，並於剩餘之該些光學應力感測單元中任意挑選一光學應力感測單元判讀其波長位移量，而估計出該應力之種類與大小。

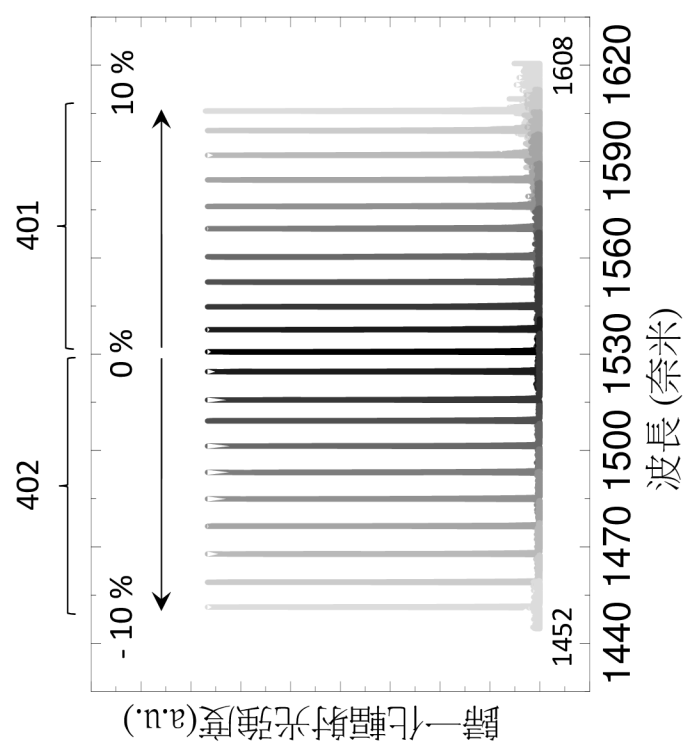
【發明圖式】



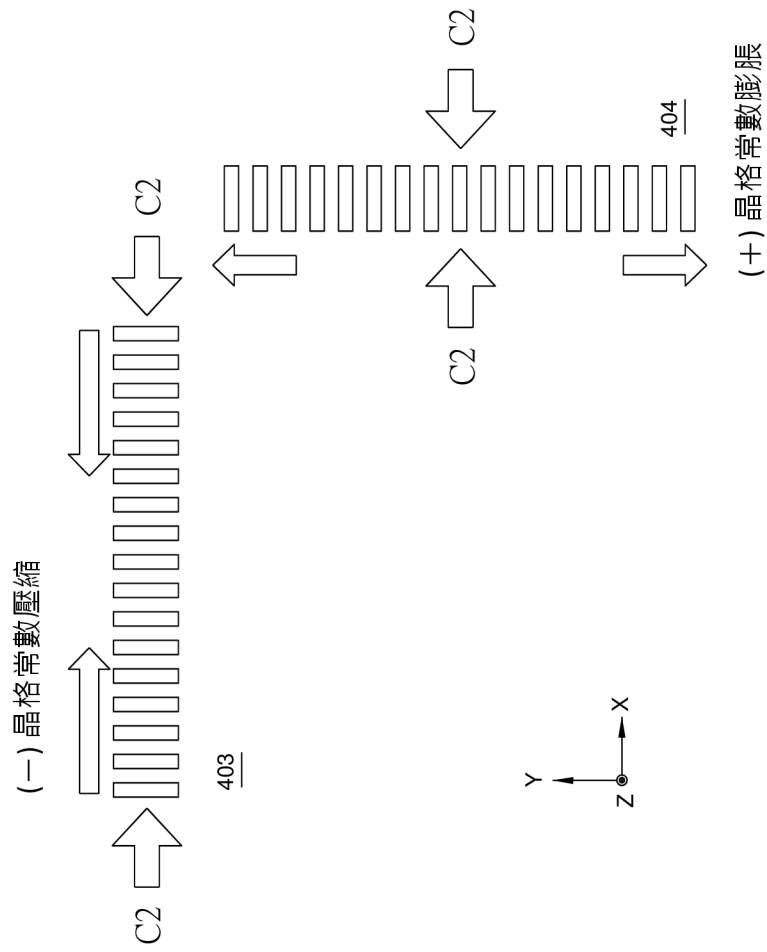
第1圖



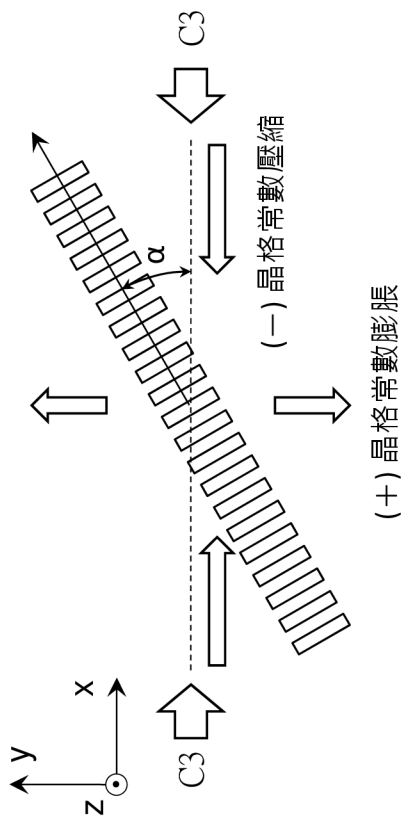
第2圖



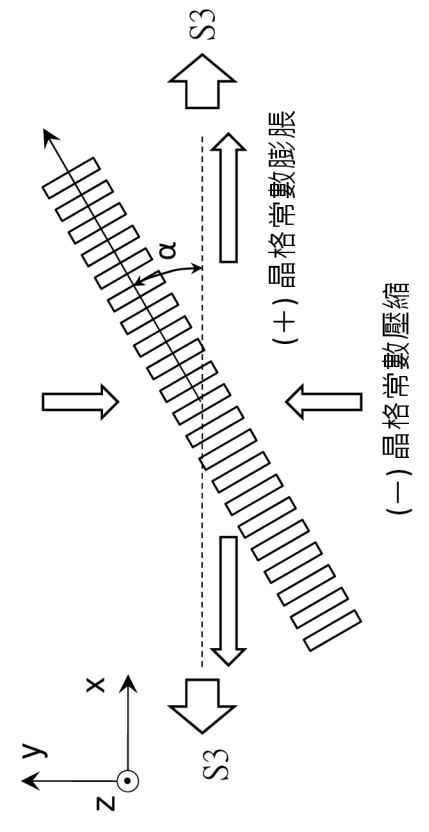
第3A圖



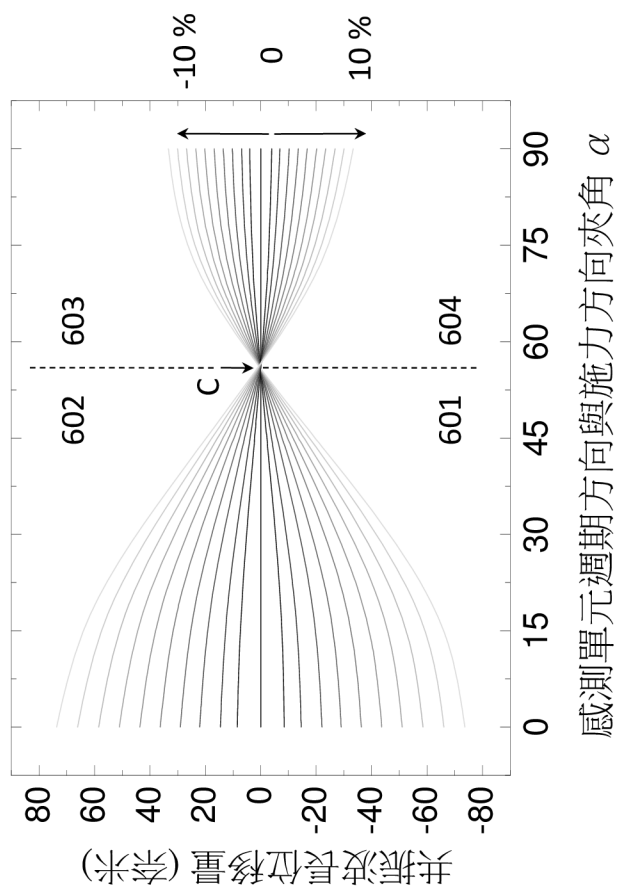
第3B圖



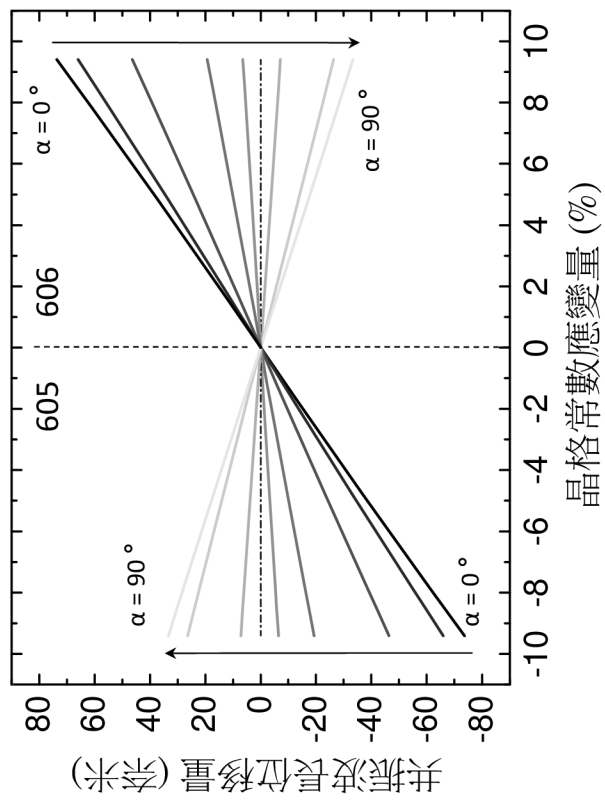
第4A圖



第4B圖



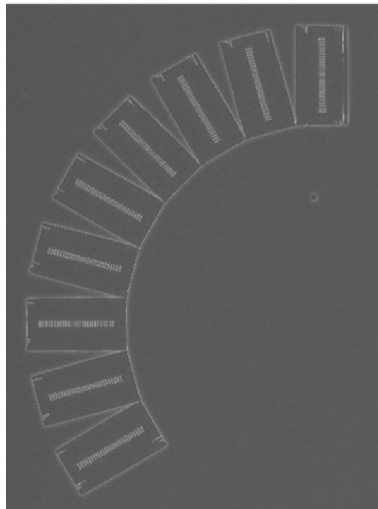
第5A圖



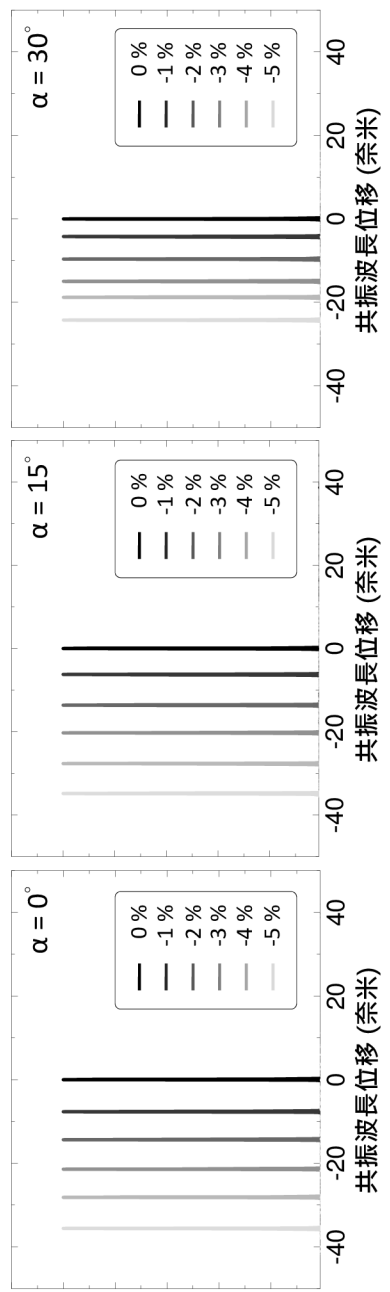
第5B圖



第6B圖



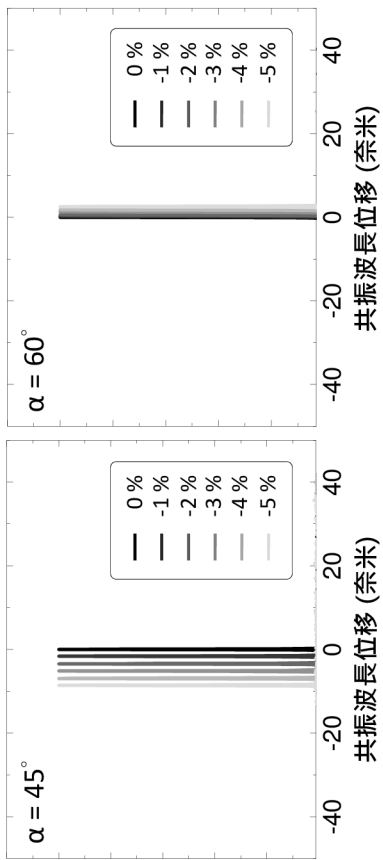
第6A圖



第6E圖

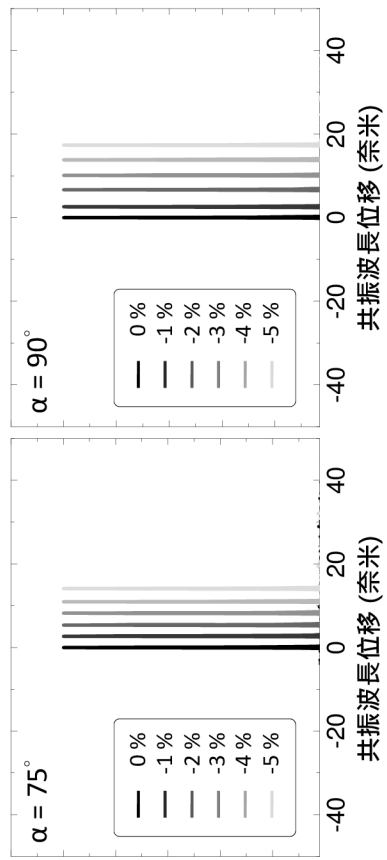
第6D圖

第6C圖



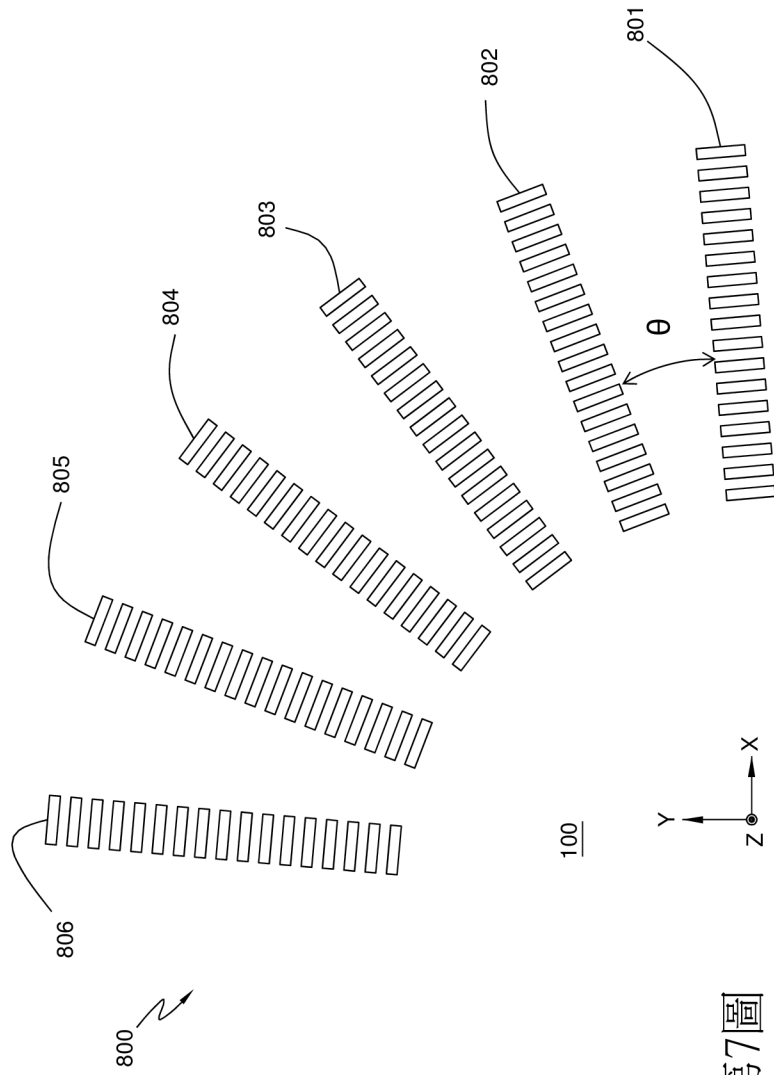
第6G圖

第6F圖

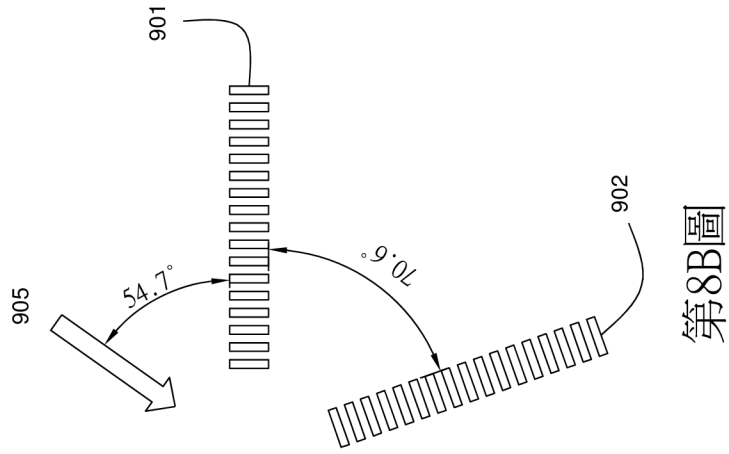


第6I圖

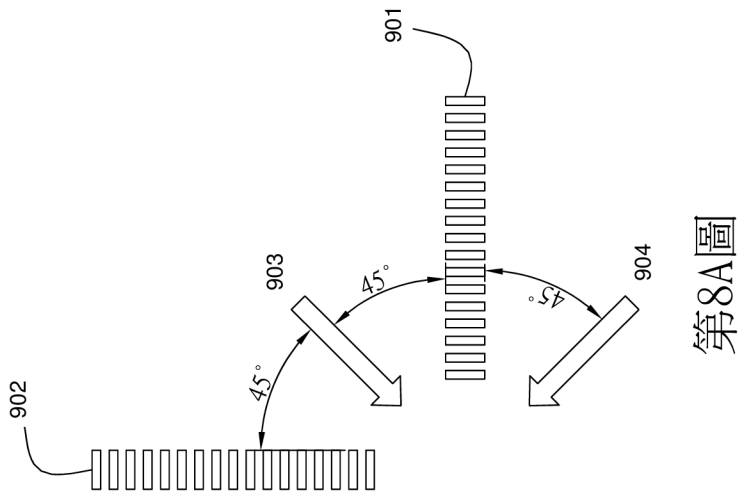
第6H圖



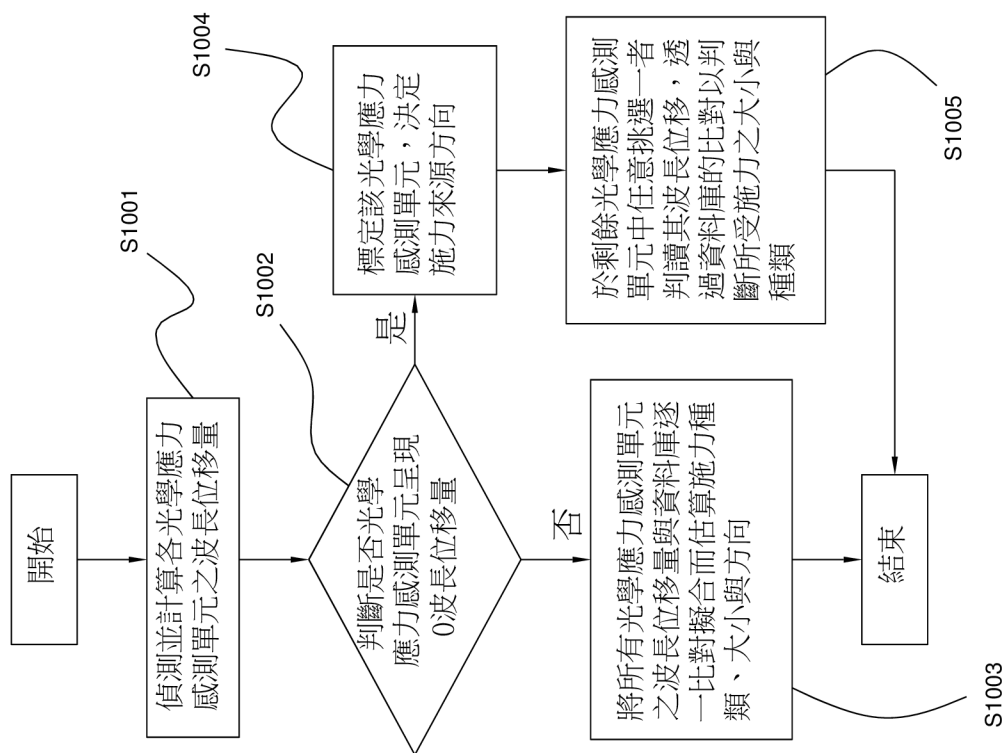
第7圖



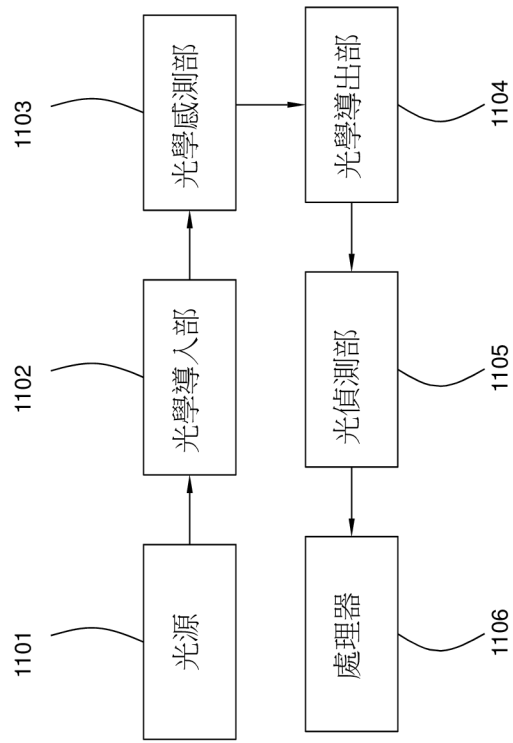
第8B圖



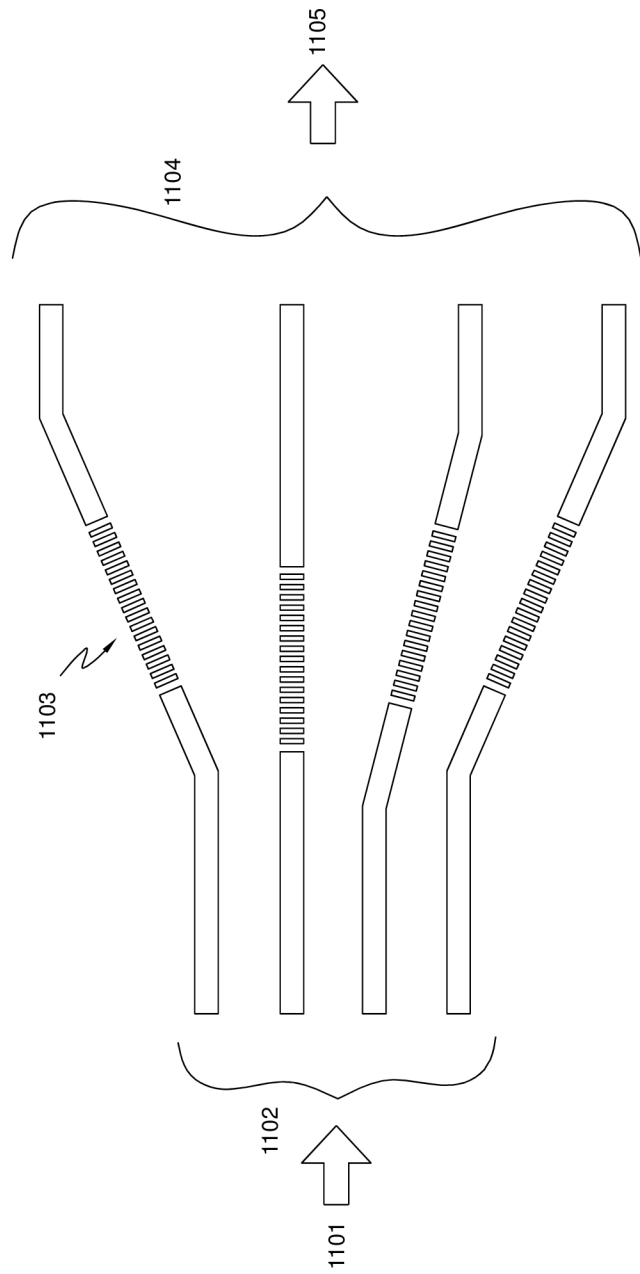
第8A圖



第9圖



第10A圖



第10B圖