

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：

1. 美國；2004, 09, 22; 10/946, 747

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。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

發明領域

本發明係關於發光二極體(LED)，特別係關於具有改良
5 效率之LED。

【先前技術】

發明背景

LED具有多種可能的應用用途。例如LED可用於顯示
器如LCD，LED可用於要求高亮度及輕薄短小照明的投影
10、娛樂、一般照明、及汽車等應用用途。LED超過習知白
熱燈及鹵素燈的效果為亮度高、壽命長、瞬間操作、節省
能量、環保友善、耐用的輕薄短小。

雖言LED具有該等優點，但於習知LED內部產生的大
部分光由於被主動層有效萃取。幾乎LED產生的80%光係在
15 結構的逃逸錐外側。大部分剩餘光被導引入核心內，或完
全於高折射率基材層做內部反射。。

長久以來，已知可提高LED的效率，特別為提高光萃
取效率。舉例言之，高折射率基材($n \sim 3.5$)的折射率與用來
封裝LED的環氧樹脂的折射率($n \sim 1.5$)間的差異大，結果導
20 致總內部反射的臨界角相當小。比較內部量子效率，如此
又大為限制外部量子效率。已經瞭解，使用光學透明傳導
層，以及具有低折射率之包覆層及具有低折射率的透射基
材可改良光萃取效率。

第1圖顯示一種用來改良由LED結構發出的光之方向

性之方法。第1a圖顯示來自LED之主動層的六個光逃逸錐。第1b圖顯示可將光向上反射出LED之外的位在主動層下方的分散式布雷格反射器104。分散式布雷格反射器係用來將更多光導引出以特定角度錐發射功率的LED結構頂上。

5 本技術說明於US 6,015,719。

另外或此外，使用置於LED結構頂面上的微透鏡陣列可提供增強的光萃取。首先提示於US 5,087,949。也由S Moller等人提示於應用物理期刊91,3324，將微鏡陣列附著於有機LED(OLED)玻璃基板上可提供類似使用半導體LED
10 所見效果，此處觀察得跨整個觀視半空間之x2.3的外部耦合效率的改良。

使用微陣列於LED結構表面之舉例說明顯示於第2圖。號碼201顯示非於同平面的光耦合。微透鏡陣列202置於玻璃基材203頂上，其覆蓋習知LED主動層。

15 第3圖顯示使用夾角小刻面來將組合於主動層之光優先反射出結構頂部。主動層302及覆於其上方的包覆層具有錐形側壁305。金屬接點303顯示於頂面上。主動層產生的光，反射偏離壁面305，由結構頂部射出。此點說明於US 6,015,719。

20 使用光學透明的高折射率聚合物可顯著降低於半導體基材/空氣界面的反射損失。此點舉例說明於第4圖。第4a圖顯示於LED上之習知低折射率凝膠401。逃逸錐與主動層404之夾角顯示為402。基本波導模態角403係位在逃逸錐外部。第4b圖顯示使用高折射率凝膠。使用高折射率凝膠406

，可提供折射率反差度的下降，因而對全內部反射光提供較大的逃逸錐角407。基本波導模態角405現在位在逃逸錐內部。經由折射率由1.46改變為1.60，可達成光輸出的增加約20%。

5 另一種用來改良LED萃取效率的辦法係由Schnitzer等人教示於應用物理函件63,2174(1993)。該報告描述使用半導體LED表面的隨機紋理化或粗化，如第5圖所示。參照第5圖，LED表面的粗化503可提供有不同逃逸角的多個微型領域。當來自主動層502的全部內反射光係入射於該等表面之一時，比較全平坦面，該入射光有較高機率係位在該表面之逃逸角。如此提供改良的光萃取效率。雖然此種方法於由於LED內部的吸收區造成多重全內部反射之萃取光方面有效，但光快速衰減，因而無法促成光萃取的次羈幅度及光萃取的改良。

10

15 於US 5,779,924，描述於至少一個結構界面使用定期紋理化，提示可改良由主動核心層603的光萃取。此點顯示於第6圖。週期性紋理化602將更多光導引出結構之外，光不會全然於結構內部內反射造成光大為衰減。

替代週期性紋理化，光子晶體用來達成與增強光萃取的相同效果。此點說明於US 5,955,749。

20

表面粗化、週期性紋理化、及規則光子晶體，全部皆經由相同機轉而提升由LED的光萃取，修改表面側繪，來改良於主動層產生的光入射於表面的機率，將為允許光由結構逃逸之該角度入射至表面。

規則光子晶體(PC)也可透過另一種機轉而獲得較大光萃取。眾所周知通常由於載子的表面復合增加，不希望蝕刻至主動層，而影響主動層的整體光亮度量子效率。雖言如此，若規則量子晶體(PC)係接近主動層附近，則可透過帕索效應(Purcell effect)來提升自生放射效率。於帕索效應，提示比較本體結構，可提升於波長尺寸之微腔內部的原子的自生放射。如第7圖所示，規則光子晶體704經由於主動層705的光學模態的有效折射率反差可能將光學模態約束於「光腔」707。發光顯示為703。

10 Erchak等人於應用物理函件，第78卷，第5期，2001年1月29日，563-565頁，報告經由使用PC嵌合於LED，提高萃取效率及輻射效率，可增加光六倍。

另一項所提議的設計提示光柵型PC結構。於此種設置，提示直接放射模態只汲取20%總光子，而有50%光被約束於高折射率導引模態。高折射率導引模態可極為有效耦合至外部模態，且由結構發射出。

但因規則光子晶體的高度繞射本質，由LED結構頂上輸出的遠場放射係侷限於布雷格點(遵照PC結構的週期性晶格本質)，如第8圖所示。第8圖以剖面圖顯示於具有主動層804之LED結構的規則光子晶體802，如第7圖所示。該結構也於上方顯示。非同平面耦合光801形成由多個布雷格點所組成的遠場照射圖案805。用於大部分用途，需要於遠場達成極為均勻的照明。

本發明之一目的係提供由LED改良的光萃取，同時獲

得期望的遠場照明。

【發明內容】

發明概要

根據本發明之一方面，一種發光二極體(LED)結構包括
5 主動核心層以及至少一層具有第一折射率之基材層，該
LED結構包含二維光子準晶體(PQC)於結構，光子準晶體包
含具有第二折射率之區陣列，該陣列具有長程有序但短程
無序的排列。長程有序排列係與結構的繞射性質有關。

準晶體為非週期性結構，其具有一型稱作為準週期性
10 的長程平移順序。準晶體的細節討論可參考「準晶體：定
義」，作者Ron Lifshitz，物理學基礎，33卷，12期，2003
年12月，包括準週期性的數學定義。本說明書中，準晶體
一詞包括全部準週期性結構，但規則週期性結構除外。

較佳陣列之傅立葉轉換具有旋轉對稱度 n ，此處 $n > 6$
15 。此型光子準晶體的高度對稱度，結果獲得有高度各向同
性的光子能隙。即使使用低折射率反差仍然可達成完全能
隙。

能隙(經由改變最接近的相鄰區の間隔，以及改變各區
的直徑、深度及折射率)可以設計來讓頂能隙重疊LED主動
20 層的放射光譜。藉此方式規則光子晶體的能隙設計為眾所
周知。較佳能隙係於各方向，且用於全部的偏極化。

根據本發明之結合光子準晶體的LED具有比較習知
LED以及比較結合規則光子晶體的LED改良的萃取效率。
準晶體結構提供多項優點。舉例言之，於光子準晶體所見

較高各向同性能隙，結果導致較大的模態約束，因而獲得較高萃取效率。注意尋常光子晶體具有各向異性能隙，不會重疊不同的傳播方向(高折射率反差除外)，因而不會約束單一光波長於各方向皆具有相等穿透深度。此外，屬於準晶體之一種性質的長程有序排列，結果獲得較為均勻的遠場繞射圖案。各區的緊密填充於準晶體結構為可能，結果獲得光子可由結構輸出的更大表面積，因而有更大萃取效率。

較佳基材層為介電質層，準晶體為折射率變化延伸跨部分或跨全部該層。另外，額外不同折射率層，或由金屬形成額外層可置於基材層上，或置於核心層與基材層間，額外層包含設置成為準晶體幾何的區陣列。

準晶體係呈費朋那西(Fibonacci)螺旋圖案。另外，陣列可呈潘羅斯(Penrose)分層圖案，也可呈非均勻的歐幾里得分層圖案。

根據本發明之LED可於多於一層包括光子準晶體。舉例言之，主動層可夾置於一對光子準晶體層間。LED可包括多層不同光子準晶體層、或光子準晶體與尋常光子晶體組合。

基材層包括定期重複的光子準晶體片段。

準晶體區可具有任一種形狀或尺寸，準晶體區跨陣列的幾何性質或材料性質改變。準晶體包括可微調材料區來提供可微調的光學輸出。

根據本發明之第二方面，一種發光二極體(LED)結構包

括主動核心層以及至少一層具有第一折射率之基材層，該LED結構包含二維光子準晶體於結構，光子準晶體包含具有第二折射率之區陣列，其中各區具有與至少另一區的預定恆定間隔，各區係以預定最小距離而與全部其它區隔開，但其中各區陣列為非晶形。

根據本發明之第三方面，一種由LED結構萃取光之方法，包含下述步驟，設置二維光子準晶體於LED結構，該光子準晶體具有長程有序但短程無序的排列。

根據本發明之第四方面，一種製造LED結構之方法，包含下列步驟：

提供主動核心層；

提供至少一基材層；以及

形成光子準晶體於基材層，該光子準晶體具有長程有序但短程無序的排列。

根據本發明之第五方面，一種製造LED結構之方法，包含下列步驟：

提供主動核心層；

提供具有第一折射率之至少一基材層；以及

形成光子能帶結構於基材層，該光子能帶結構包含具有第二折射率之區陣列，其中各區與至少另一區具有預定恆定間隔，各區係以預定最小距離而與全部其它區隔開，但其中各區陣列為非晶形。

根據本發明之第一方面及第二方面之LED可結合於多種光學系統諸如車輛大燈或儀表板顯示器、投影系統或交

通號誌(僅舉出少數實例)。

圖式簡單說明

現在將參照附圖說明本發明之實例，附圖者：

第1A、1B圖為包括分散式布雷格反射器的LED之示意
5 說明圖；

第2圖為具有微透鏡陣列於一個表面上之LED之示意
說明圖；

第3圖為具有錐形側壁之LED之示意說明圖；

第4A、4B圖顯示使用不同折射率凝膠於LED表面上；

10 第5圖為具有粗化表面之LED之示意說明圖；

第6圖為具有光柵結構於一個表面上之LED之示意說
明圖；

第7圖為具有光子晶體結構於LED之一層的LED之示
意說明圖；

15 第8圖為具有光子晶體於一層的LED之遠場放射圖案；

第9A-9D圖顯示根據本發明，於LED之三個不同光子準
晶體之位置之剖面圖；

第10圖顯示典型LED設計細節；

第11A、11B圖顯示根據本發明之LED設計；

20 第12A、12B圖顯示有12倍對稱準晶體蝕刻於結構之
LED之遠場放射；

第13圖顯示使用費朋那西螺旋狀準晶體結構之遠場放
射；

第14圖顯示準晶體結構變化以及對非同平面耦合的影

響；

第15A-15C圖顯示可能的準晶體幾何；

第16圖顯示用於LED之重複準晶體結構的生成；

5 第17A、17B圖顯示本發明提供優勢之LED之區段板結構；

第18圖顯示根據本發明，用於LED之非晶形光子能帶結構；以及

第19圖顯示根據本發明，用於LED之可微調準晶體。

【實施方式】

10 較佳實施例之詳細說明

使用方形、三角形或六角形，藉規則多角形平面有三種可能的均勻分層。於1-均勻分層僅有一類型頂點於平面上。此外，使用1-均勻(阿基米得)分層，有13種不同的空間分層方向性。此等分層圖案於本說明書構成稱作為規則2D
15 光子晶體的基礎。規則2D光子晶體典型係形成於介電質層，具有於折射率形成規則變化的區陣列，週期性係基於平面的均勻分層之一。此類型光子晶體的最簡單實例為於介電質厚塊的孔陣列，經蝕刻之氣桿置於均勻分層圖案的個別頂點。

20 光子晶體提供調整光及電磁(EM)波穿過的均勻方式。經由類似晶體的電子，電磁波係於結構中傳播，該結構具有定期調變的介電常數可設定形成光子能帶結構的布許模態(Bloch mode)。因介電常數及週期性緣故，光子能隙係設定於禁止電磁傳播之處。

二維光子晶體被提示用於LED改良光萃取。光子晶體可改良來自LED的光萃取有兩種機轉：

(1)表面圖案化可提高光於完全內反射且於LED基材內部衰減之前逃逸出結構的可能性；

5 (2)藉帕索效應來加強主動層的自生放射。

但LED的規則二維光子晶體經常造成非期望的遠場繞射圖案。此外，帕索效應對LED結構使用規則二維光子晶體具有有限的影響，原因在於光約束非為各向同性。

本發明之具體例中，二維準晶體係用於主動層以外的
10 LED結構層。光子準晶體(PQC)為具有短程平移無序但長程準週期性有序排列的光子能帶結構。實例說明於Zoorob等人，自然2000，404期，2000年4月13日，即使於低折射率材料仍然有完全能隙。光子準晶體具有極其各向同性能隙。準晶體提供準晶體所嵌合之LED所產生之輸出光圖案該
15 方面的效果，以及帕索效應方面的效果。

光子準晶體係以規則光子晶體之相同方式形成。二維準晶體可由介電質材料之桿陣列或介電質材料之孔陣列所組成。通常二維準晶體可描述於第一折射率背景材料之第二折射率桿陣列。本發明中，光子準晶體之設計方式，係
20 經由選擇最接近相鄰桿間間隔以及桿直徑、深度及折射率，讓其重疊LED之主動層的放射光譜。如此提供波長選擇性以及加強的模態約束。理想上，能隙係於各方向且為全部偏極化之能隙。

現在簡短說明帕索效應。帕索效應所描述之自生發射

增強因數係以如下方程式表示：

$$P = \frac{3}{4\pi^2} \left(\frac{\lambda}{n} \right)^3 \frac{Q}{V}$$

此處 λ =波長， n =折射率， V =腔容積， Q =約束因數(約束因數係與光子被約束於腔內的時間成正比)。

- 5 由此方程式，顯然容積愈小，則增強因數愈大。經由將經過適當設計之具有強力光約束的光子準晶體結構(理想上，具有能隙重疊主動層之放射光譜)接近主動層，可於準晶體結構產生小型約束容積，而無需缺陷。若於光子能隙附近放射光，則高 Q 因數造成於主動層的強力侷限化效應
- 10 結果導致自生放射的劇增。光子準晶體具有此種各向同性能隙，更進一步增強約束，因而更進一步增強自生放射。須注意就此方面而言，二維光子晶體具有各向異性能隙其並未於全部傳播方向皆重疊，因而無法於全部方向充分約束光。
- 15 於LED結構，光子準晶體可以多種方式設置於各層之一。準晶體可鑑於LED之各層之一或界面的變化來定義。另外，特定區的折射率變化可定義準晶體的一種元素的頂點。結構的折射率可藉擴散摻雜或藉離子植入來摻雜期望區而改變，但特定層之高度係經由蝕刻特定層而改變(離子
- 20 植入屬於眾所周知之技術，說明於Dearnaley, G., Freeman, J. H., Nelson, R. S., Stephen, 離子植入期刊；美國艾塞維爾出版公司，紐約，1973年，802頁等)。

第9圖顯示根據本發明之四個不同實例。第9a圖示意顯

示其中光子準晶體901已經蝕刻入表面的LED結構。第9b圖顯示光子準晶體902嵌合於LED結構的一層903。此型結構可經由蝕刻至期望層，且隨後過度生長上層來形成。第9c圖顯示經由將摻雜劑擴散至預定位置來局部改變結構的折射率所形成的光子準晶體904。此項目的可藉以微影術來界定光罩而達成，光罩隨後經過蝕刻且用作為離子植入或擴散的樣版。電子接點905及主動層906係顯示於第9a圖及第9b圖。

第9d圖顯示穿透主動層之LED結構的光子準晶體908。使用諸如GaN材料系統907之低表面復合材料層變成可能，原因在於GaN材料系統之表面復合效果較不顯著，因而不會如同其它已知之LED材料系統如GaAs影響自生放射。於主動層形成光子準晶體，可提供遠較大的光學模式約束(由於主動層的有效折射率反差增高)且與光子能帶結構產生較強的交互作用。此種較強約束允許形成較小光腔，以及較高的Q因數。如此大為增強帕索效應。使用規則光子晶體的GaN的帕索效應討論於Shakya J.、Kim K.H.等人，「於III-氮化物紫外光光子晶體發光二極體增強的光萃取」，APL 85卷，第1期，2004年7月5日，142-144頁。

第10圖詳細顯示使用發射波長約960奈米光的GaAs材料系統，高效率微腔LED的可能設計細節。此項設計提示於(IEEE J. Select Top.於Quan. Elect. Vol. 8, no. 2, Pg 238-247，2002年3月)，且結合高對比DBR結構於主動層1002-1008下方。各個DBR週期係由相對低折射率之 AlO_x

($n \sim 1.7$)層與高折射率的GaAs ($n \sim 3.5$)層組成。如此提供大介電對比反射器，可產生92%向下發射光被向上反射。

座落在DBR頂上為此種p-n接面。在p-n接面擠壓者為GRIN-SCH(分級折射率分開約束非同質結構)來約束載子及光放射於較小的主動區，而產生較低的放射臨界值。

p電子接點1021及n電子接點1022分別係沉積於層1019及層1009上。層1002-1019係使用MBE(分子束磊晶)或MOCVD(金屬有機化學氣相沉積)來生長。製造涉及六個光刻術步驟。第一光刻術程序係界定深溝槽。濕蝕刻(使用濃縮 $H_3PO_4 : H_2O_2$)用來形成深溝槽1024來引發AlGaAs DBR層的氧化(於 $450^\circ C$ 2小時)。界定1022個接點位置的第二光刻術程序為離心。使用選擇性濕蝕刻來去除頂AlGaAs層1016-1018及頂GaAs 1018-1019。第三光刻術程序用來氣化由Ni(10奈米)-Ge(25奈米)-Au(50奈米)-Ni(20奈米)-Au(100奈米)組成的n接點。第四光刻術程序係將惰性材料離心成為深溝槽(1024)。第五光刻術程序係最終用來氣化Au(200奈米)之p接點。

層1011-1017於第10圖以放大形式顯示以求清晰。下表A說明第10圖所述各層，且顯示其厚度及材料。

項目	化合物	厚度	說明
1001	GaAs	400毫米	基材及緩衝層
1002	氧化的 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$	120奈米	多層堆疊體的底部
1003	GaAs	88奈米	
1004	氧化的 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$	120奈米	DBR堆疊的第二週期
1005	GaAs	88奈米	
1006	氧化的 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$	120奈米	DBR堆疊的第三週期
1007	GaAs	88奈米	
1008	$Al_{0.98}Ga_{0.02}As$	120奈米	多層堆疊體的頂部
1009	n摻雜的GaAs	78奈米	底GRIN-SCH結構
1010	n摻雜的 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$	20奈米	底GRIN-SCH結構
1011	$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$	20奈米	底GRIN-SCH結構
1012	$Al_{0.1}Ga_{0.9}As$	15奈米	底GRIN-SCH結構
1013	GaAs	10奈米	底GRIN-SCH結構
1014	$In_{0.04}Ga_{0.96}As$	7.5奈米	量子井於960奈米至970奈米放射
1015	GaAs	10奈米	頂GRIN-SCH結構
1016	$Al_{0.1}Ga_{0.9}As$	15奈米	頂GRIN-SCH結構
1017	$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$	20奈米	頂GRIN-SCH結構
1018	p摻雜的 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$	20奈米	頂GRIN-SCH結構
1019	p摻雜的GaAs	78奈米	頂GRIN-SCH結構
1020	空氣		
1021	P電極		
1022	n電極		

第11圖顯示根據本發明之光子準晶體LED設計實例細節，空氣桿1103有兩倍對稱性光子準晶體排列。各層厚度並未照比例繪製以求清晰。第11a圖為LED透視圖，第11b圖為該結構之剖面圖。

5 下表B顯示第11圖所述各層及其厚度及材料型別。

項目	化合物	厚度
1101	p接點	
1102	p摻雜材料	200奈米
1103	光子準晶體排列	最接近相鄰桿約350奈米間隔
1104	n接點	
1105	DBR鏡多層堆疊體	5x(208奈米)
1106	空氣/填入桿	約200奈米蝕刻深度
1107	p摻雜材料	78奈米
1108	主動層	140奈米
1109	n摻雜材料	78奈米
1110	p接點	
1111	p摻雜材料	200奈米
1112	DBR鏡多層堆疊體	5x(208) 奈米
1113	n接點	
1114	n摻雜材料	78奈米
1115	基材	400奈米

第11圖所示LED係以參照第10圖所述相同方式形成。光子準晶體係使用額外光刻術蝕刻形成。蝕刻孔隨後以另一種材料填補。

LED於光子準晶體區的全部幅員發光。用LED的光子準晶體圖案係依據應用用途決定。如前文說明，尋常二維

光子晶體產生非期望的遠場繞射圖案。規則四倍對稱性正方晶格光子晶體(PC)具有於遠場的明亮布雷格點的規則排列，如第8圖所示。若對稱性提高至六倍，則三角形晶格PC投射有類似晶格圖案的遠場放射。

- 5 為了快速預測因圖案化光子分層壓印而LED產生的遠場發光圖案，計算光子分層的二維光學轉換。藉轉換所形成的布雷格峰排列，表示從LED結構頂部投射光被收集於觀察平面上的遠場所產生的亮點。

10 為了獲得合理均勻的遠場照明，較佳於準晶體之各區的傅立葉轉換具有大於6之旋轉對稱度。

15 光子準晶體(PQC)可設計來具有高度對稱結構，諸如第12圖所示的12倍對稱正方-三角分層PQC。第12a圖顯示LED結構之剖面圖，箭頭1201表示結構輸出之光耦合。光於主動層1202產生，藉光子準晶體1203萃取。LED的逃逸錐角顯示為1204。第12b圖顯示第12a圖之LED透視圖，更明白顯示準晶體圖案。也顯示遠場所得繞射圖案。第12c圖為遠場繞射圖案之放大視圖。12倍對稱結構提供比較規則光子晶體更多於傅立葉空間的布雷格峰。於第12c圖所示情況下
20 12亮峰包圍中心布雷格點，結果獲得比較規則PC晶格產生的亮布雷格點更圓的繞射圖案。於指定區產生更多遠場點，獲得更均勻的照明。

另外，為了提供更圓更均勻的照明，也使用另一種較高階對稱性結構，諸如向日葵結構。

向日葵結構係基於費朋那西螺旋圖案。較佳於迪卡爾

座標系，費朋那西螺旋圖案定義為 $x_n = \cos(n\varphi)\sqrt{n}$ 及 $y_n = \sin(n\varphi)\sqrt{n}$ 及 $\varphi = \pi(\sqrt{5}-1)$ ，此處 n 為圖案中一點的整數指數。為了產生圖案，對各個 n 值作圖一點。此等值可為 $n=1$ 、2、3、4...等。另外，某些 n 值可選擇性刪除來形成缺陷、環狀圖案或區段板。舉例言之， n 之奇數值可刪除而留下 $n=4$ 、6、8、10....等。於光子準晶體，桿被置於所產生之各點。

第13圖顯示由向日葵光子準晶體結構所得遠場放射。向日葵提供類似遠場放射的均勻環。光被放射跨光子準晶體結構。圓對稱能帶結構及能隙提供緊密微腔，此處光放射大為增強。此外，向日葵圖案提供桿的最佳堆疊來增強光萃取。各桿具有設定量的光萃取。於均勻區導入較大量桿，獲得較高有效填補分量，因而提供較高光萃取。

為了提供改良之光萃取效率至特定遠場放射錐，可改變不同參數。相鄰光子準晶體桿、蝕刻深度、桿直徑及桿形狀間的時間隔可改變(如第14圖及第15圖所示)。第14圖顯示於LED之光子準晶體改變桿直徑及桿蝕刻深度的影響。結合光子準晶體的LED結構1405放射的光指示為1401。發光的角度相依性顯示為角度相對於強度的插圖1402。桿直徑縮小以箭頭1404指示。變更結構放射光1403減少，以插圖1406表示。桿蝕刻深度的減少以箭頭1408表示。於插圖1409可知藉減少蝕刻深度，發光角度縮小。

第15圖顯示兩種可能的桿形狀。第15a圖顯示位於LED之主動層1502上方具有方形剖面之桿1501。桿1501係由上

層所覆蓋。第15b圖顯示類似第15a圖之結構，桿1505係位於主動層1506上方。本實例中，桿具有圓形剖面。

此外，光子準晶體相對於主動層之位置(第15圖以1504表示)也可變更來提供微調。光子準晶體也同等位於主動層下方。如此經由對不同角度方向以不同效率萃取光變更光性質，也影響遠場放射側繪圖。

光子準晶體層相對於主動層位置如第15圖所示，係以1504表示。此變化對於提升由主動層之自生發光特別重要。光子準晶體層愈接近主動層，則發光與光子準晶體能帶結構的交互作用愈強。為了獲得最強交互作用，光子準晶體層係形成於主動區上方及下方，間隔1504被設定為零，且較佳於主動層(若表面復合並不重要)，諸如於參照第9d圖討論的Ga_N材料系統。

總而言之，光子準晶體必須充分接近主動層，讓主動層的光學模態消散場與光子準晶體交互作用來建立光腔模態。於光腔模態，該模態係侷限於主動層平面，最終將由平面逃逸出。

光子準晶體也可形成於金屬薄層(諸如50奈米銀)。此層可沉積於主動核心頂上。金屬光子準晶體(可建立準週期性表面電漿圍模態)與自生發光的交互作用，允許光被極強力約束於主動層，導入自生發光的次冪幅度增高。

使用光子準晶體分層於LED用於光萃取的關鍵點係為了避免短程有序，免除亮布雷格峰，以及長程有序排列的外推來提供於遠場的平順環狀干涉。

另一排列中，以多根桿數目1603所形成的光子準晶體之重複區段可用於LED結構。來自準晶體分層的有限數目元件選用作為超晶胞1602。然後此種超晶胞1602以週期性方式重複，來提供有高度對稱性繞射本質的大面積光子能帶結構1601，如第16圖所示。

須注意經由使用蝕刻區段板結構，可產生錐狀遠場發光。此等係由同心蝕刻環組成，此處中區設計為活性。

本發明之結構由於結構理由及光學理由係優於區段板型結構。於結構上蝕刻較少材料(製造上較快速且較可靠)，提供較為強勁設計，圖案較為連結的結構。

就光學上其效果也較大。以區段板為例，主動區被約束於結構中央，大發光區由區段板所包圍。如此，導致不具有萃取能力的大型中區，因而本區之光只允許於狹窄逃逸錐放射，也允許全部內反射。全然內反射的光強力衰減，因而只達成最小光萃取增強。顯示於第17圖。第17a圖顯示區段板結構1702，於LED產生環狀發光1701。第17b圖顯示第17a圖之結構的剖面圖。主動層1704之發光於區段板中央強力衰減，以1703指示。

結構只環繞中心圓盤為對稱，如此若光係於圓盤周邊發光，或介於區段板間發光，則光未被萃取於同一個圓錐角，因而結果導致於遠場發光的假影效應。

此外，由於此等結構並未於主動層內部建立光腔或侷限化模態，故此等結構無法由帕索型增強獲益。

以光子準晶體為例，高度繞射結構並未由徑向對稱的

結構所界定；因此若光於結構的任何位置發光，則該光將與能帶結構交互作用，耦合偏離結構，產生正確遠場發光錐。如此提供以極為良好界定的圓錐角大面積發光的能力。

於本發明之另一方面，非晶形光子型結構用於LED結構來提供單一中心布雷格點。於此種分層，桿間間隔固定，以各桿為中心的隨機旋轉決定下一桿的所在位置。此等結構由於桿的Mie繞射行為，可能具有能隙。但此等結構具有特徵性強力光子侷限化。光學模態可由一個繞射中心(本例為桿)至另一個繞射中心跨整個結構隨機散佈，最終建立極為強力的安德森侷限化(Anderson localisation)。由侷限化所建立的模態具有極高Q因數(~10000)。

此外，如第18圖所示，非晶形圖案化並未於遠場產生任何形式的相干干涉，因而可見均勻照明。桿之非晶形圖案以1801指示。結合此型圖案之LED結構1802於遠場產生可預測的均勻照明1803。

LED有多種應用，例如交通號誌、車輛大燈、發射紅外光感測物件、投影及家庭照明。本發明透過改良效率以及透過光輸出形式來提供用於此等應用用途之改良LED結構。

於本發明之又一方面，LED結構可具有以可微調材料填補的經蝕刻的光子準晶體桿。此材料可為可電子微調材料或液晶。材料將經由改變桿之折射率而響應，改變光子準晶體的能帶結構而響應。於此種配置，可微調光的侷限程度及絕對波長。如此，又經由偏好以與具有寬廣波長發

光範圍的LED略為不同波長、或不同強度之偏好發光來變更發光性質。於LED用來產生投影機的光之用途中，可提供不同氣氛設定的手段(電影的溫暖天氣或最大呈現亮度)。本設定實例顯示於第19圖。具有主動層1906之LED結構由其頂面之具有如前述光子準晶體結構1905之區發光1904。光子準晶體之桿係以折射率可藉施加電場而微調的材料填補。電場係由電壓源1907跨結構體施加。由結構的發光1904顯示於作圖1902，其為發光相對於波長的作圖。虛線指示主動層1906的發光特性。小部分波長能帶係由於光子準晶體的光子能帶結構結果而從結構頂上發出。經由微調桿1905的折射率，可選擇發射波長能帶。

【圖式簡單說明】

第1A、1B圖為包括分散式布雷格反射器的LED之示意說明圖；

15 第2圖為具有微透鏡陣列於一個表面上之LED之示意說明圖；

第3圖為具有錐形側壁之LED之示意說明圖；

第4A、4B圖顯示使用不同折射率凝膠於LED表面上；

第5圖為具有粗化表面之LED之示意說明圖；

20 第6圖為具有光柵結構於一個表面上之LED之示意說明圖；

第7圖為具有光子晶體結構於LED之一層的LED之示意說明圖；

第8圖為具有光子晶體於一層的LED之遠場放射圖案；

第9A-9D圖顯示根據本發明，於LED之三個不同光子準晶體之位置之剖面圖；

第10圖顯示典型LED設計細節；

第11A、11B圖顯示根據本發明之LED設計；

5 第12A、12B圖顯示有12倍對稱準晶體蝕刻於結構之LED之遠場放射；

第13圖顯示使用費朋那西螺旋狀準晶體結構之遠場放射；

10 第14圖顯示準晶體結構變化以及對非同平面耦合的影響；

第15A-15C圖顯示可能的準晶體幾何；

第16圖顯示用於LED之重複準晶體結構的生成；

第17A、17B圖顯示本發明提供優勢之LED之區段板結構；

15 第18圖顯示根據本發明，用於LED之非晶形光子能帶結構；以及

第19圖顯示根據本發明，用於LED之可微調準晶體。

【主要元件符號說明】

104...分散式布雷格反射器	305...錐形側壁
201...光之非同平面耦合	401...低折射率凝膠
202...微透鏡陣列	402...逃逸錐角
203...玻璃基材	403...基本波導模態角
302...主動層	404...主動層
303...金屬接點	405...基本波導模態角

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 406...高折射率層 | 1016-1018...頂AlGaAs層 |
| 407...逃逸錐角 | 1021...p電接點 |
| 502...主動層 | 1022...n電接點 |
| 503...粗化 | 1024...深溝槽 |
| 602...週期性紋理化 | 1101...p接點 |
| 603...主動核心層 | 1102...p摻雜材料 |
| 703...發光 | 1103...光子準晶體排列 |
| 704...規則光子晶體 | 1104...n接點 |
| 705...主動層 | 1105...DBR鏡多層堆疊 |
| 707...光腔 | 1106...空氣/填補桿 |
| 801...非同平面耦合光 | 1107...p摻雜材料 |
| 802...規則光子晶體 | 1108...主動層 |
| 805...遠場照明圖案 | 1109...n摻雜材料 |
| 901...光子準晶體 | 1110...p接點 |
| 902...光子準晶體 | 1111...p摻雜材料 |
| 903...一層 | 1112...DBR鏡多層堆疊 |
| 904...光子準晶體 | 1113...n接點 |
| 905...電接點 | 1114...n摻雜材料 |
| 906...主動層 | 1115...基材 |
| 907...GaN材料系統 | 1201...箭頭 |
| 908...光子準晶體 | 1202...主動層 |
| 1002-1008...主動層 | 1203...光子準晶體 |
| 1002-1019...層 | 1204...逃逸錐角 |
| 1018-1019...頂GaAs | 1401...發光 |

- 1402...插圖
- 1403...發光
- 1404...箭頭
- 1405...光子準晶體
- 1406...插圖
- 1408...箭頭
- 1409...插圖
- 1501...桿
- 1502...主動層
- 1504...主動層位置、間隔
- 1505...桿
- 1506...主動層
- 1601...大面積光子態帶結構
- 1602...超晶胞
- 1603...桿
- 1701...環狀發光
- 1702...區段板結構
- 1703...區段板中心
- 1704...主動層
- 1801...桿之非晶形圖案
- 1802...LED結構
- 1803...均勻照明
- 1902...作圖
- 1904...發光
- 1905...桿、光子準晶體結構
- 1906...主動層
- 1907...電壓源

五、中文發明摘要：

根據本發明之一方面，一種發光二極體(LED)結構包括主動核心層以及至少一層具有第一折射率之基材層，該LED結構包含二維光子準晶體於結構，光子準晶體包含具有第二折射率之區陣列，該陣列具有長程有序但短程無序的排列。長程有序排列係與結構的繞射性質有關，造成來自LED的均勻遠場繞射圖案。本發明具有從LED萃取光改良的效果，但不含非期望的遠場照射圖案。

六、英文發明摘要：

According to one aspect of the present invention, a light emitting diode (LED) structure including an active core layer and at least one substrate layer having a first refractive index, comprises a 2-dimensional photonic quasicrystal in the structure, the photonic quasicrystal comprising an array of regions having a second refractive index, the array exhibiting long range order but short range disorder. The long range order is associated with diffractive properties of the structure and gives rise to uniform far field diffraction patterns from the LED. The present invention enjoys the benefit of improved light extraction from LEDs without undesirable far field illumination patterns.

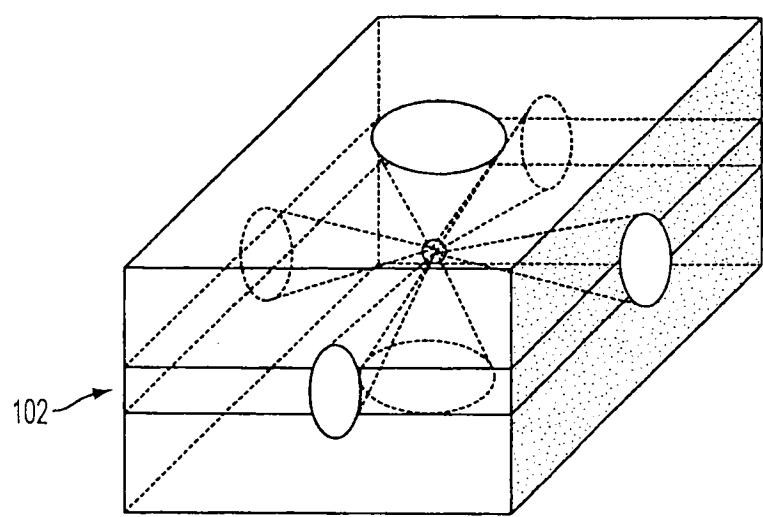
十、申請專利範圍：

1. 一種包括主動核心層以及至少一層具有第一折射率之
5 基材層的發光二極體(LED)結構，該LED結構包含二維
光子準晶體於結構，光子準晶體包含具有第二折射率之
區陣列，該陣列具有長程有序但短程無序的排列。
2. 如申請專利範圍第1項之發光二極體(LED)結構，其中該
陣列之傅立葉轉換具有旋轉對稱度 n ，此處 $n > 6$ 。
3. 如申請專利範圍第1項之發光二極體(LED)結構，其中該
10 光子準晶體係設計成具有能隙係與LED主動層的發光
光譜重疊。
4. 如申請專利範圍第3項之發光二極體(LED)結構，其中該
能隙係於全方向延伸且對全部偏極化延伸。
5. 如申請專利範圍第1項之發光二極體(LED)結構，其中該
15 基材層為介電質層，且該準晶體為跨該層部分或完全延
伸的折射率變化。
6. 如申請專利範圍第1至4項中任一項之發光二極體(LED)
結構，其中該基材層含有具有準晶體幾何的金屬層。
7. 如申請專利範圍第1項之發光二極體(LED)結構，其中該
陣列係呈費朋那西(Fibonacci)螺旋圖案形式。
- 20 8. 如申請專利範圍第1項之發光二極體(LED)結構，其中該
陣列係呈潘羅斯(Penrose)分層圖案。
9. 如申請專利範圍第1項之發光二極體(LED)結構，其中該
光子準晶體係於發光二極體的光出射表層。
10. 如申請專利範圍第1項之發光二極體(LED)結構，其中該

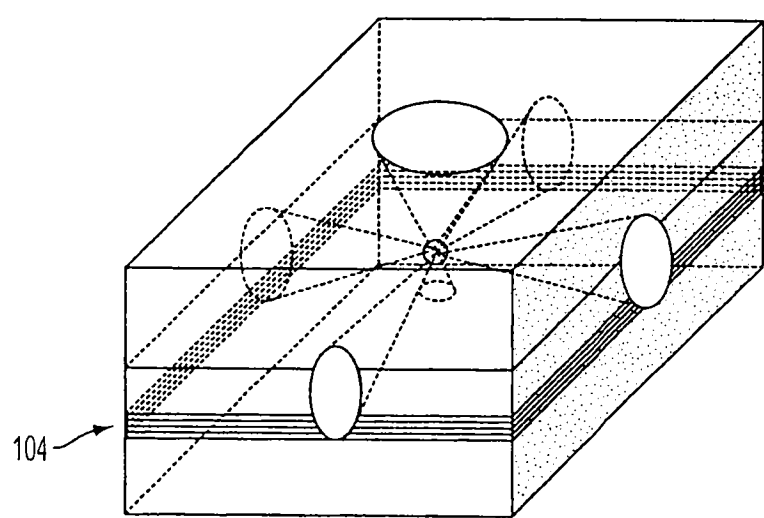
光子準晶體係介於主動層與光出射表面間。

11. 如申請專利範圍第1項之發光二極體(LED)結構，包括光子準晶體於多於一層。
- 5 12. 如申請專利範圍第1項之發光二極體(LED)結構，其中該基材層包括週期性重複的光子準晶體區段。
13. 如申請專利範圍第1項之發光二極體(LED)結構，其中該光子準晶體包括可微調材料區來提供可微調的光輸出。
- 10 14. 一種發光二極體(LED)結構包括主動核心層以及至少一層具有第一折射率之基材層，該LED結構包含二維光子準晶體於結構，光子準晶體包含具有第二折射率之區陣列，其中各區具有與至少另一區的預定恆定間隔，各區係以預定最小距離而與全部其它區隔開，但其中各區陣列為非晶形。
- 15 15. 一種由LED結構萃取光之方法，包含下述步驟，設置二維光子準晶體於LED結構，該光子準晶體具有長程有序但短程無序的排列。
- 20 16. 一種製造LED結構之方法，包含下列步驟：
提供主動核心層；
提供至少一基材層；以及
形成光子準晶體於基材層，該光子準晶體具有長程有序但短程無序的排列。
17. 一種製造LED結構之方法，包含下列步驟：
提供主動核心層；
提供具有第一折射率之至少一基材層；以及

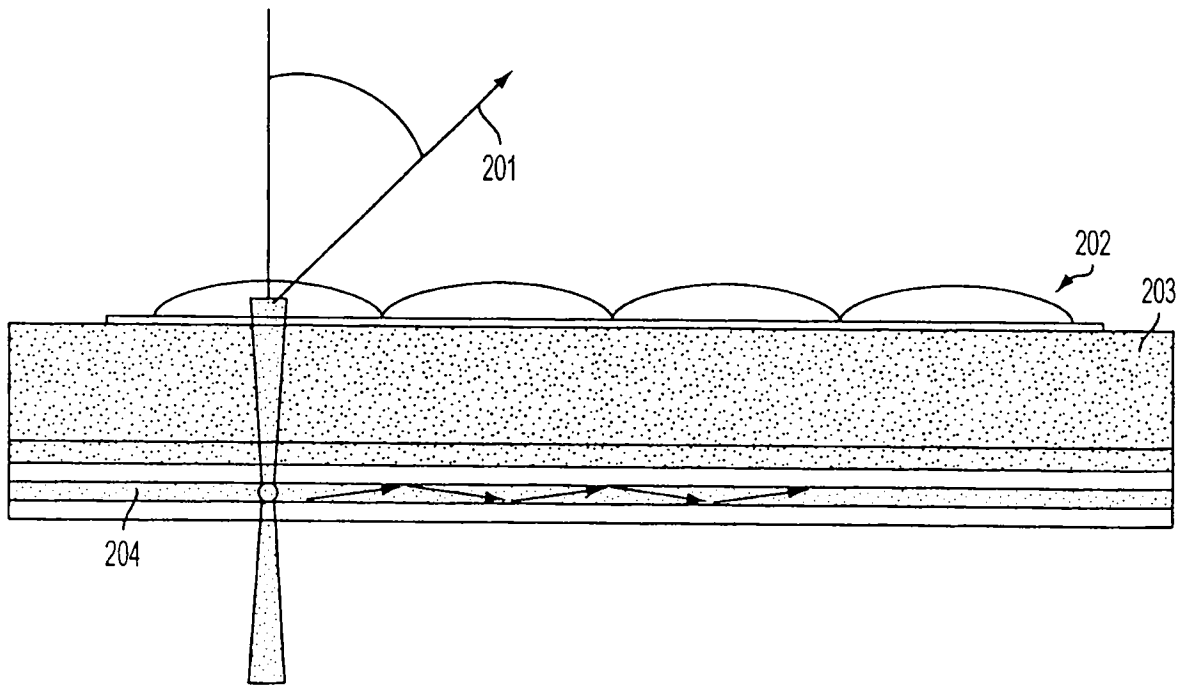
形成光子能帶結構於基材層，該光子能帶結構包含具有第二折射率之區陣列，其中各區與至少另一區具有預定恆定間隔，各區係以預定最小距離而與全部其它區隔開，但其中各區陣列為非晶形。



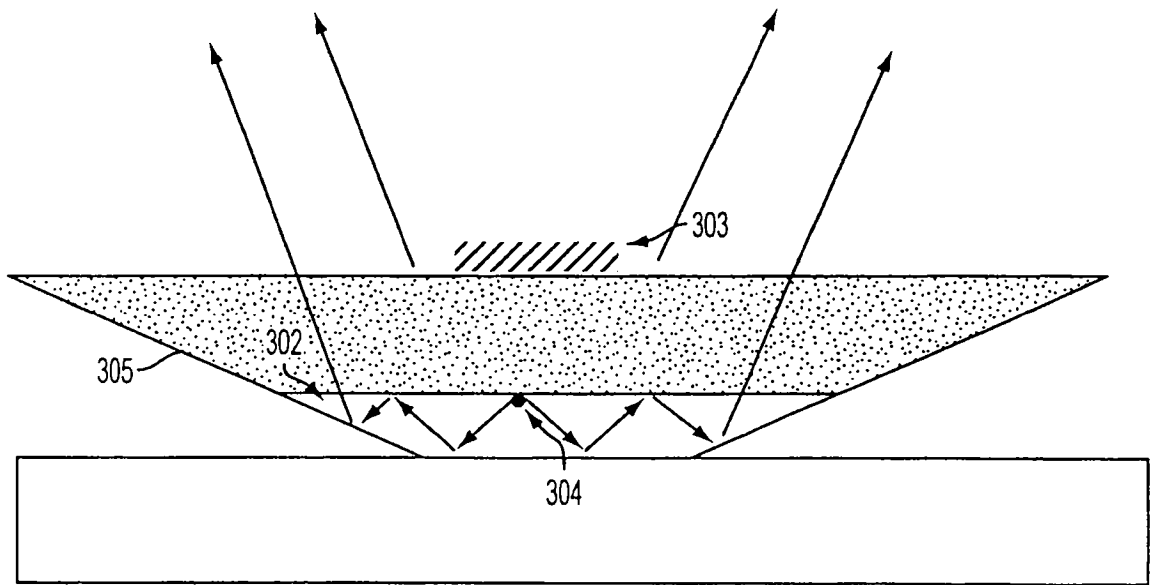
第 1A 圖



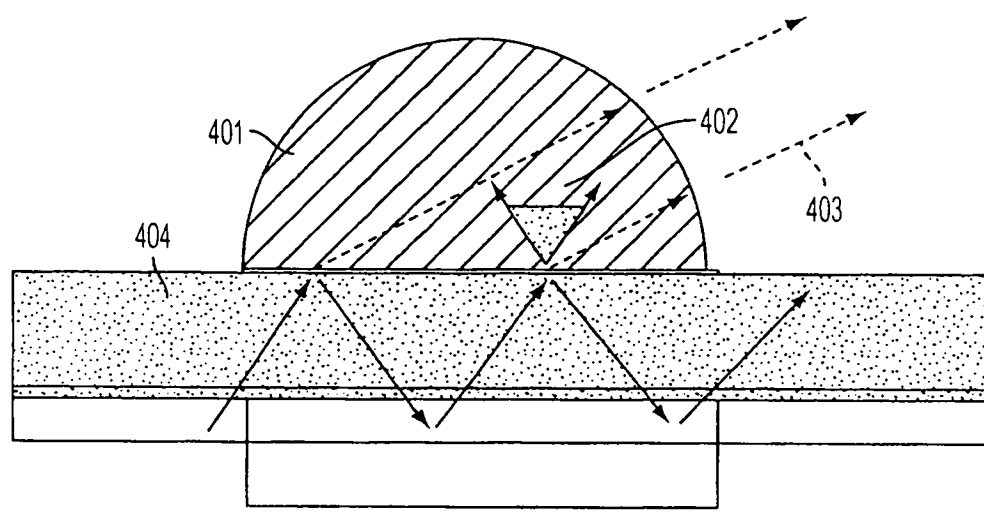
第 1B 圖



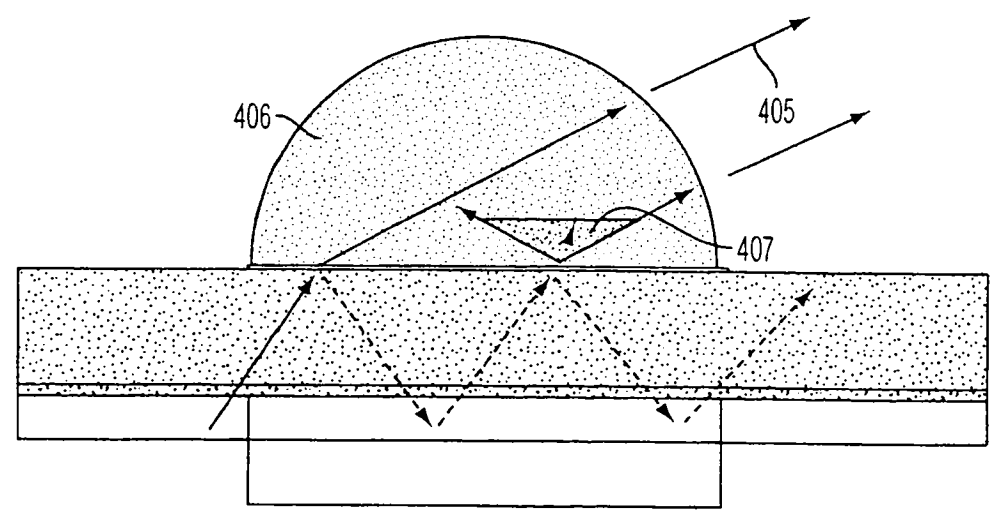
第 2 圖



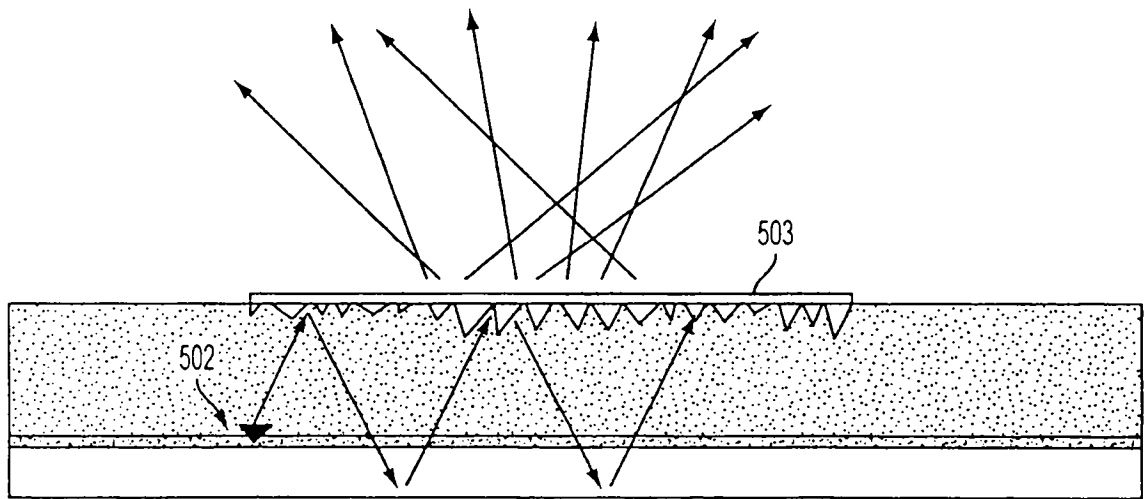
第 3 圖



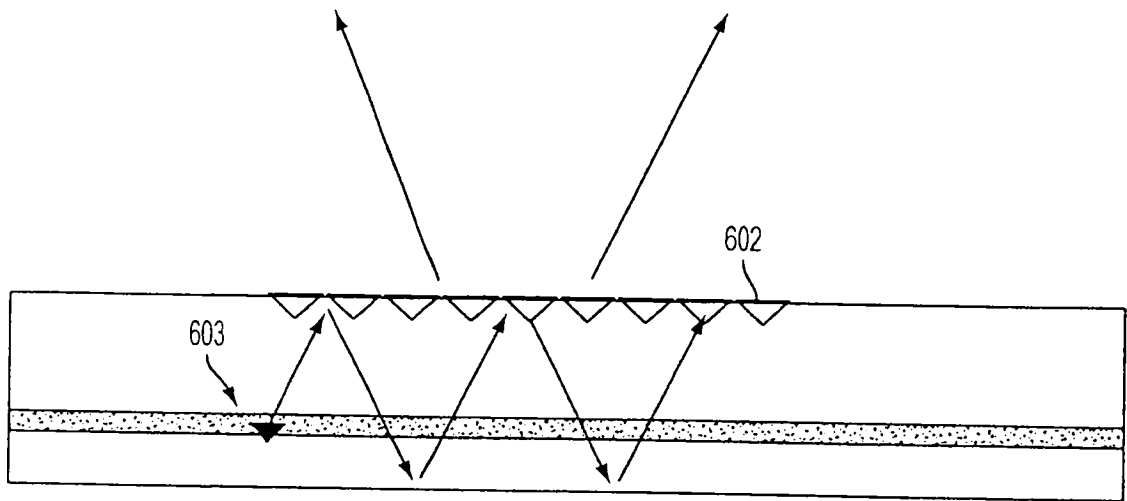
第4A圖



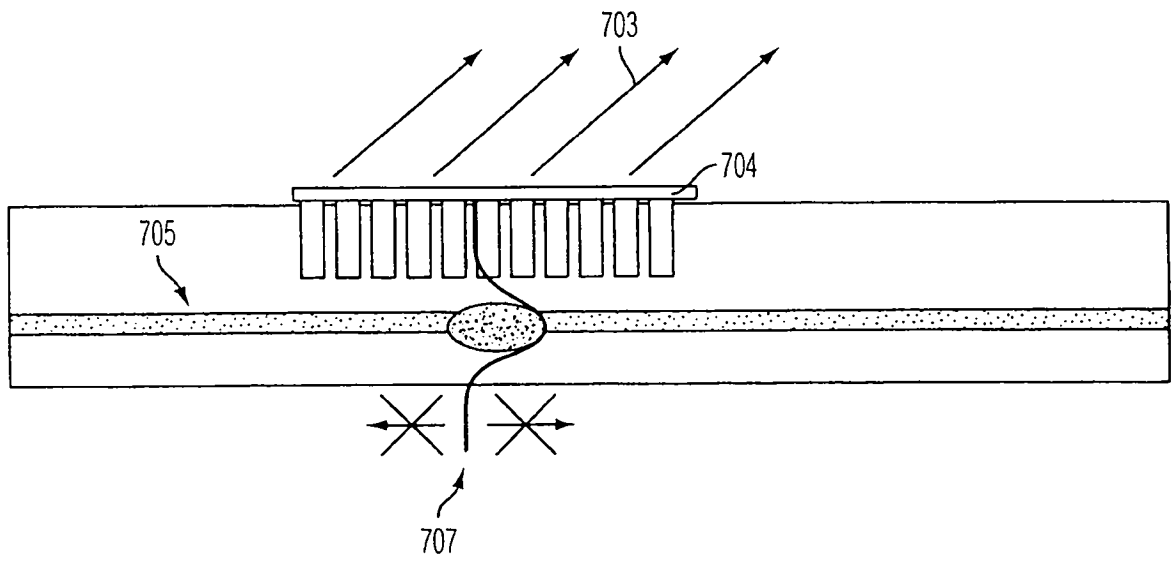
第4B圖



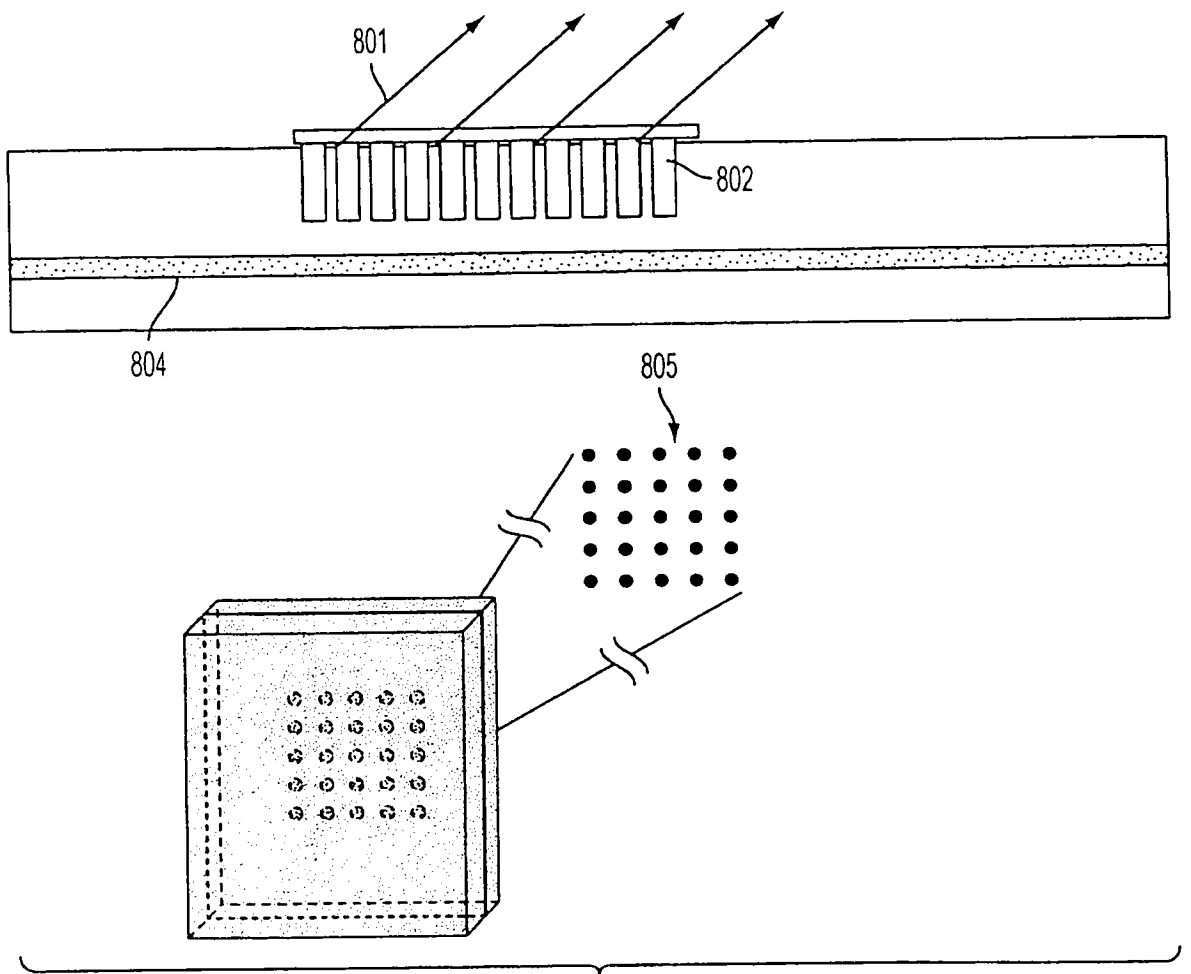
第 5 圖



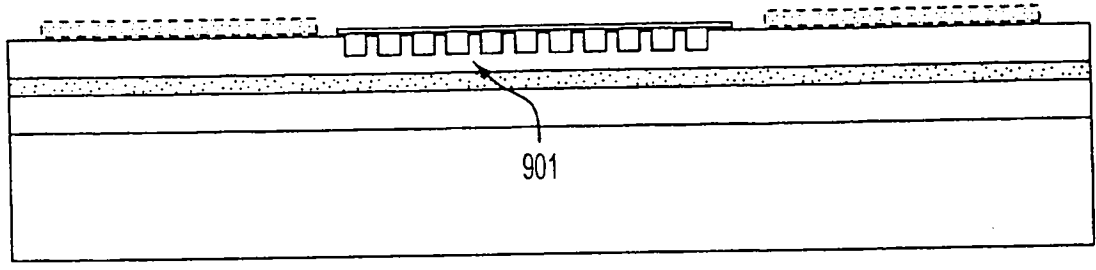
第 6 圖



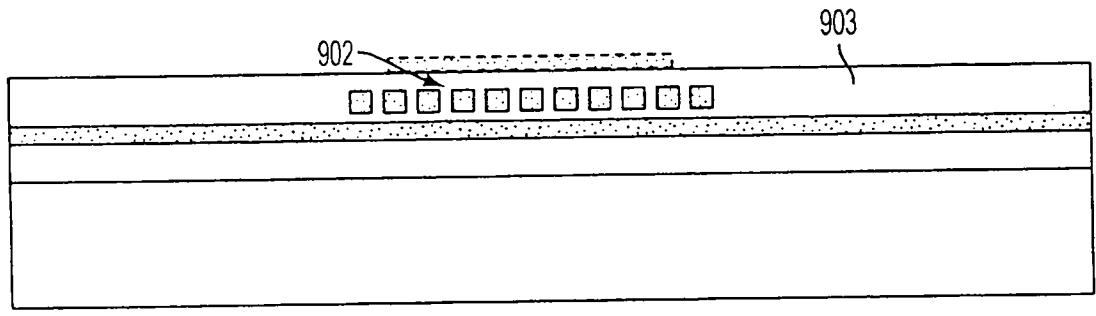
第 17 圖



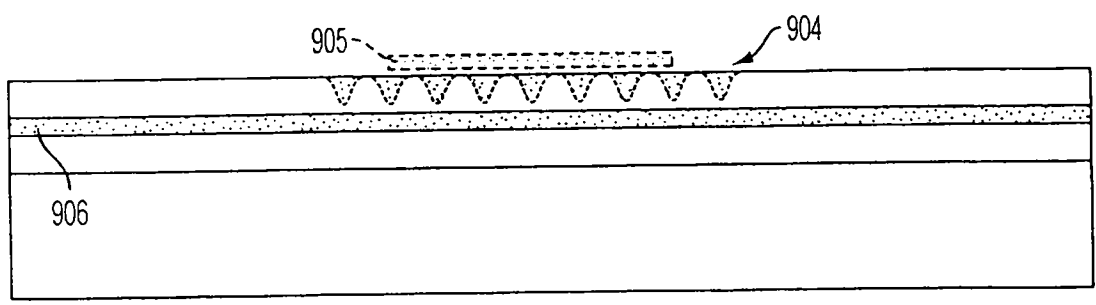
第 8 圖



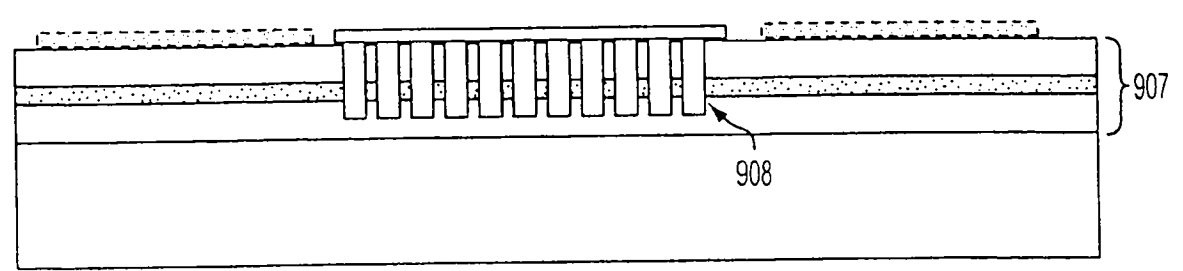
第 9A 圖



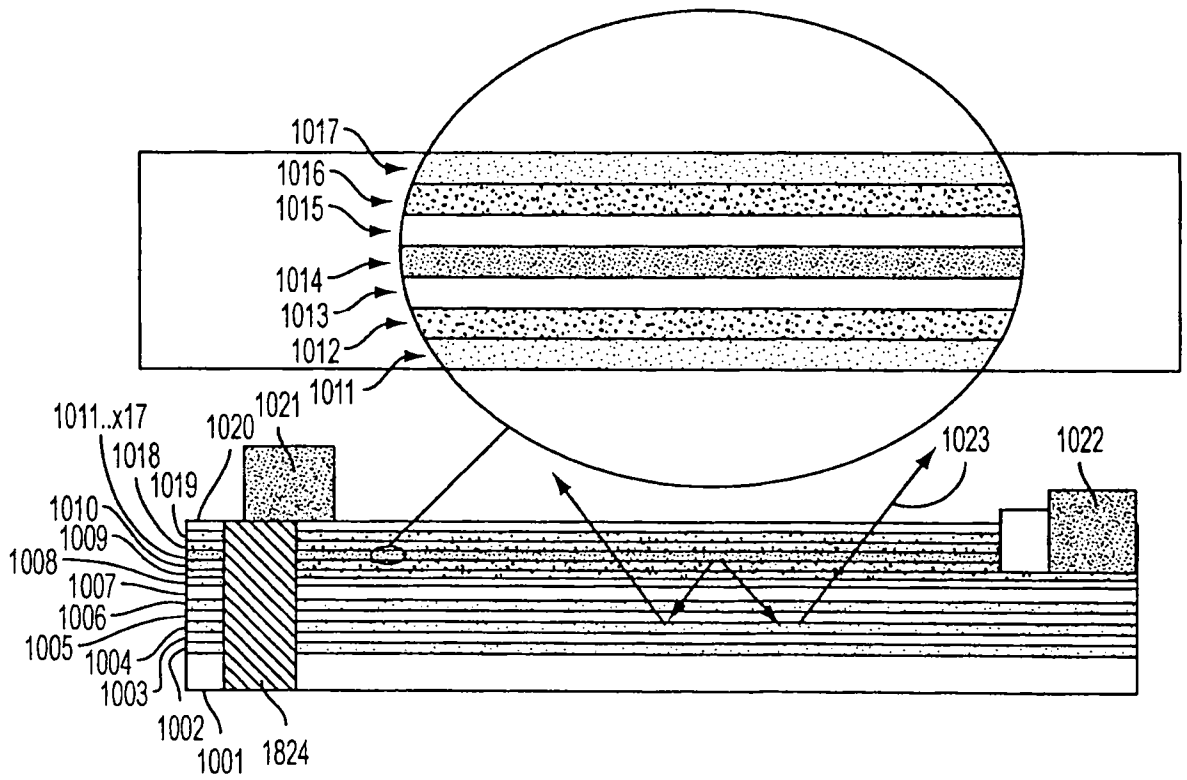
第 9B 圖



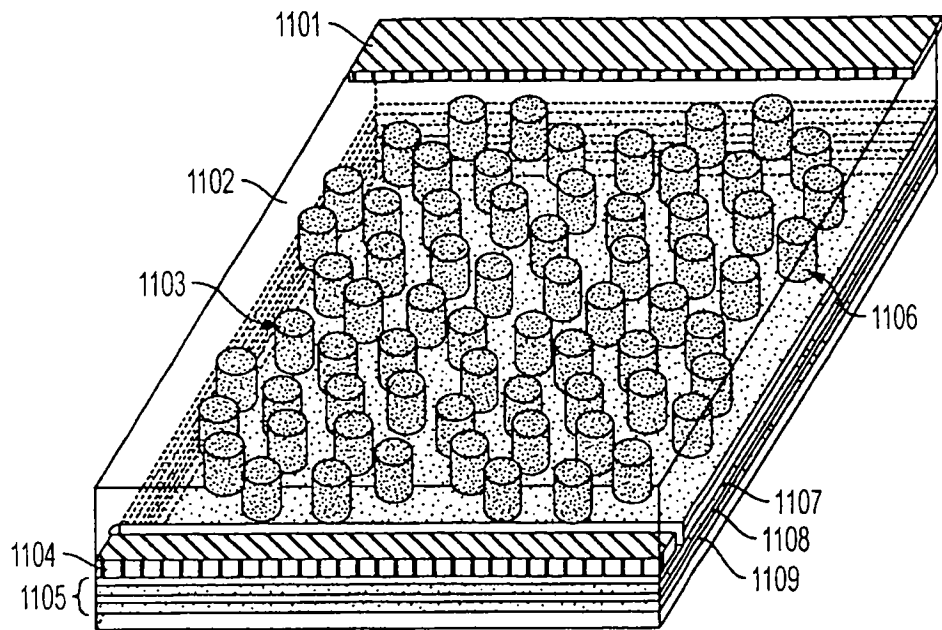
第 9C 圖



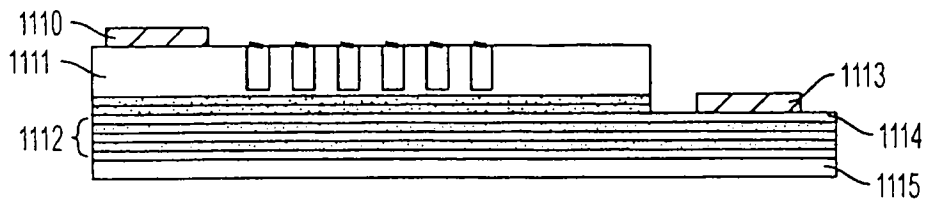
第 9D 圖



第 10 圖

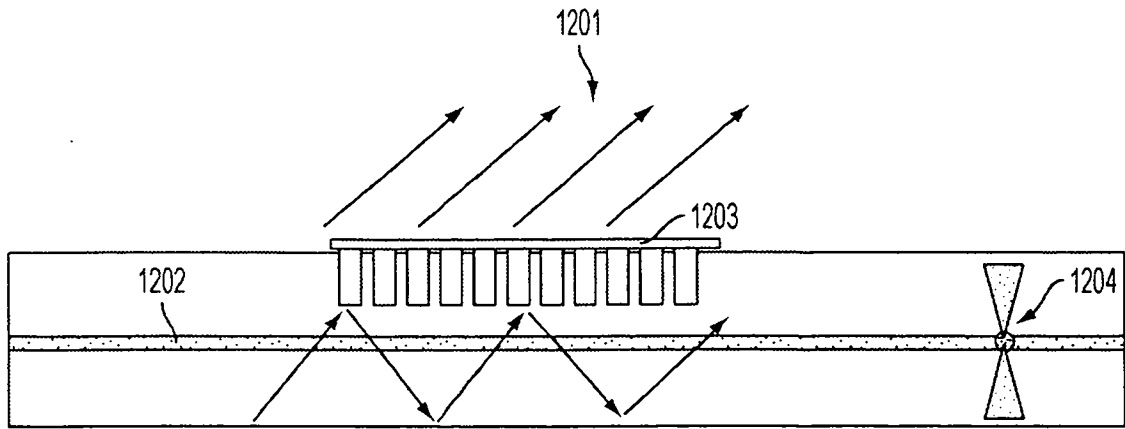


第11A圖

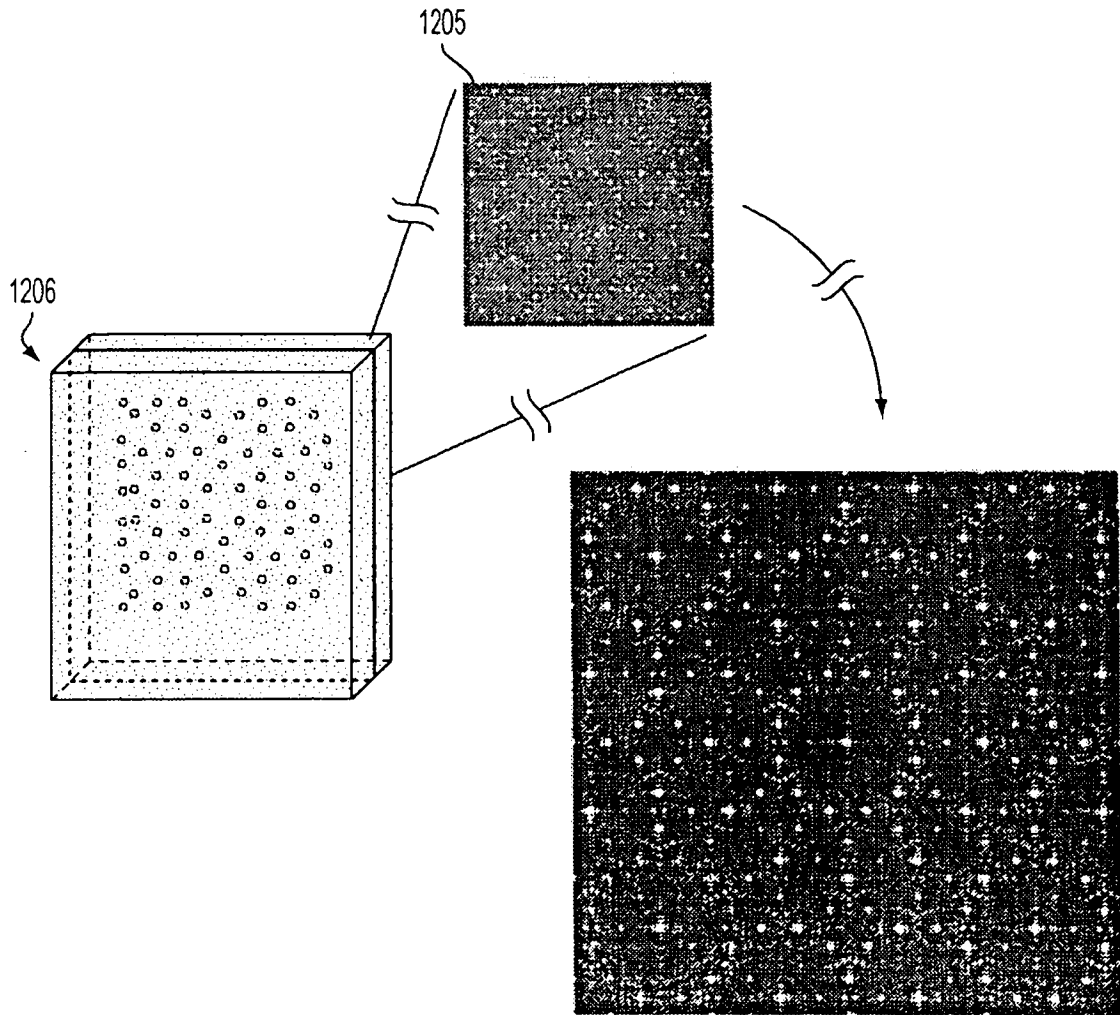


第11B圖

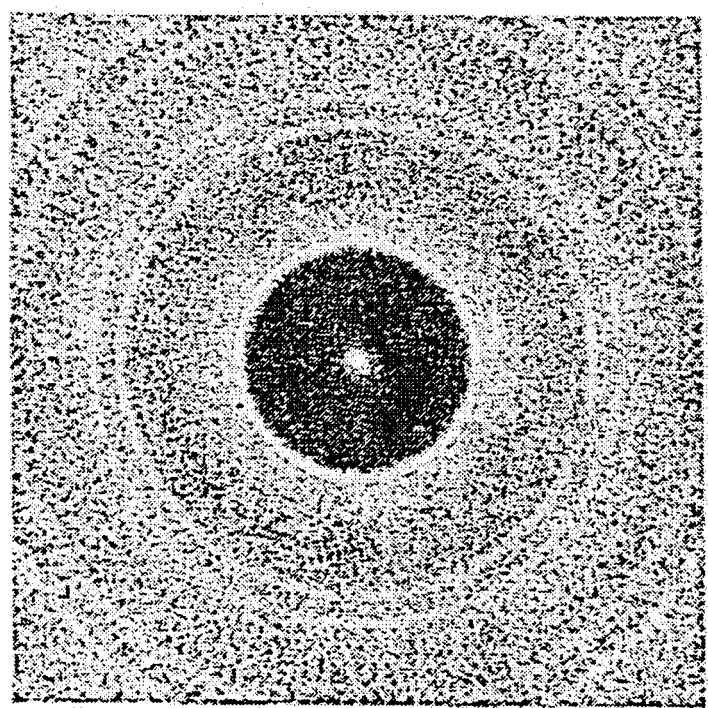
12/19



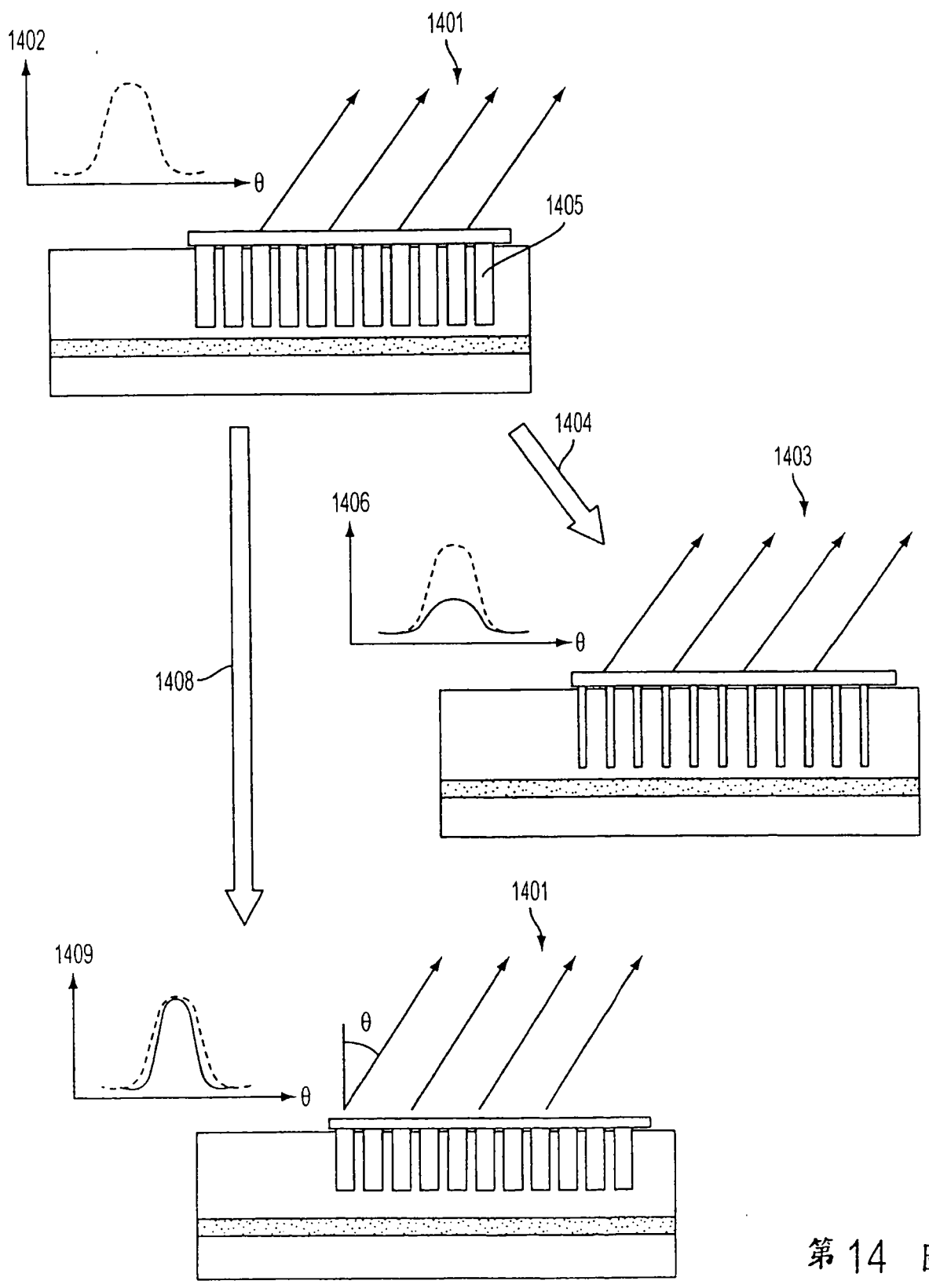
第12A圖



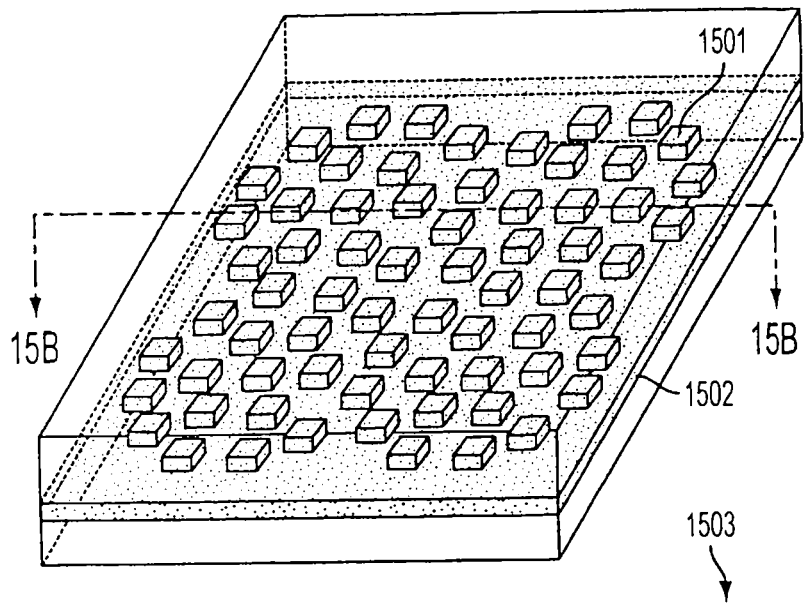
第12B圖



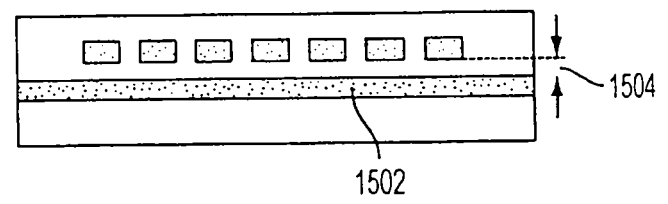
第 13 圖



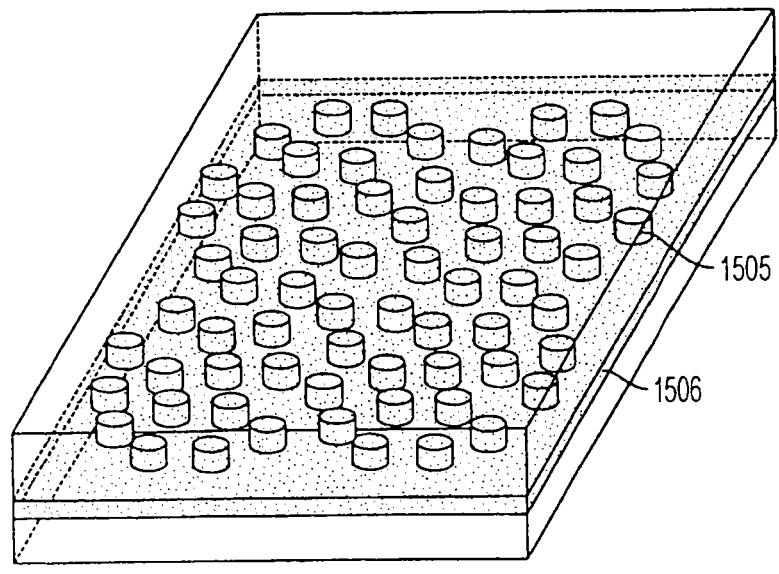
第 14 圖



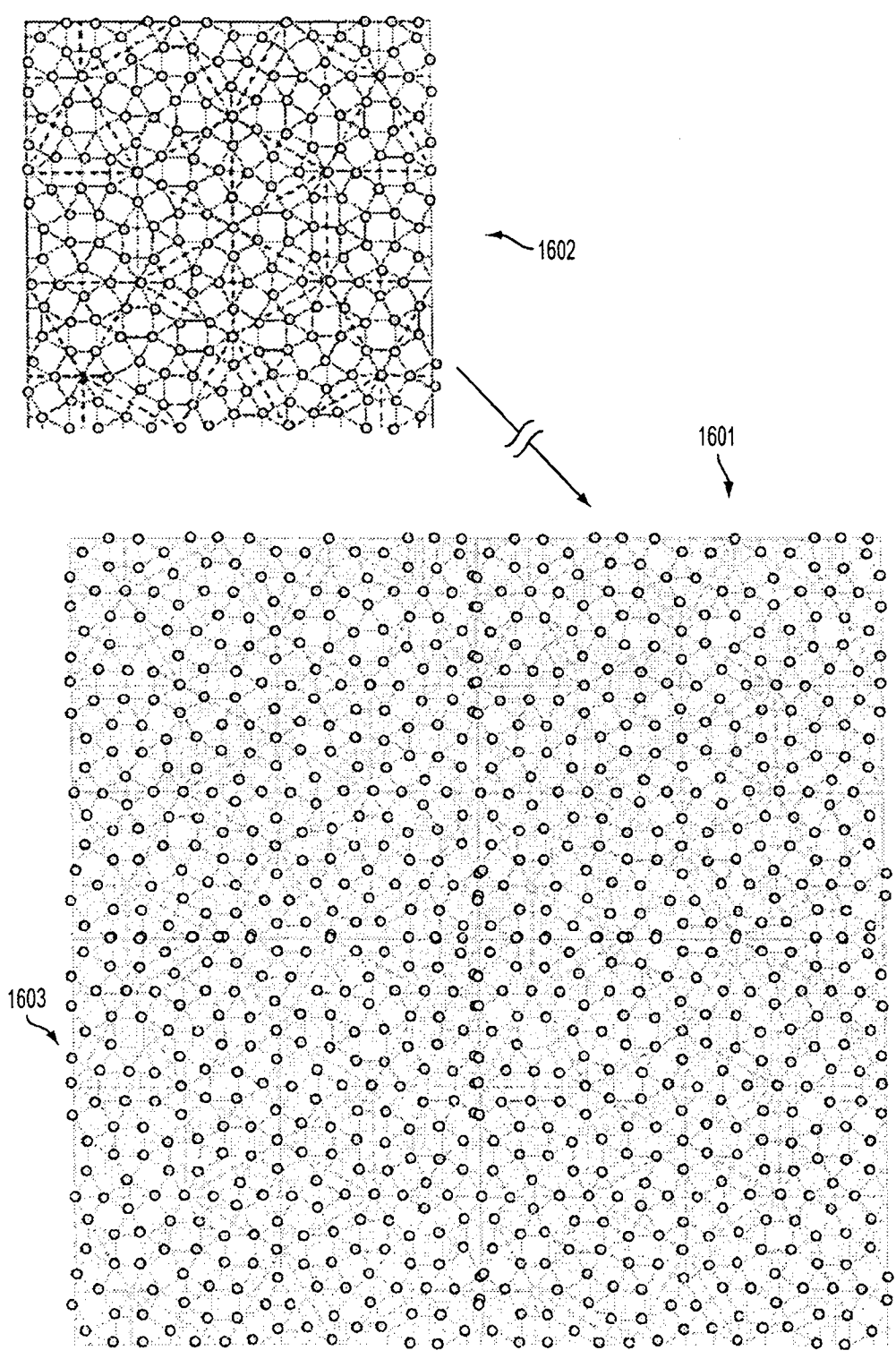
第15A圖



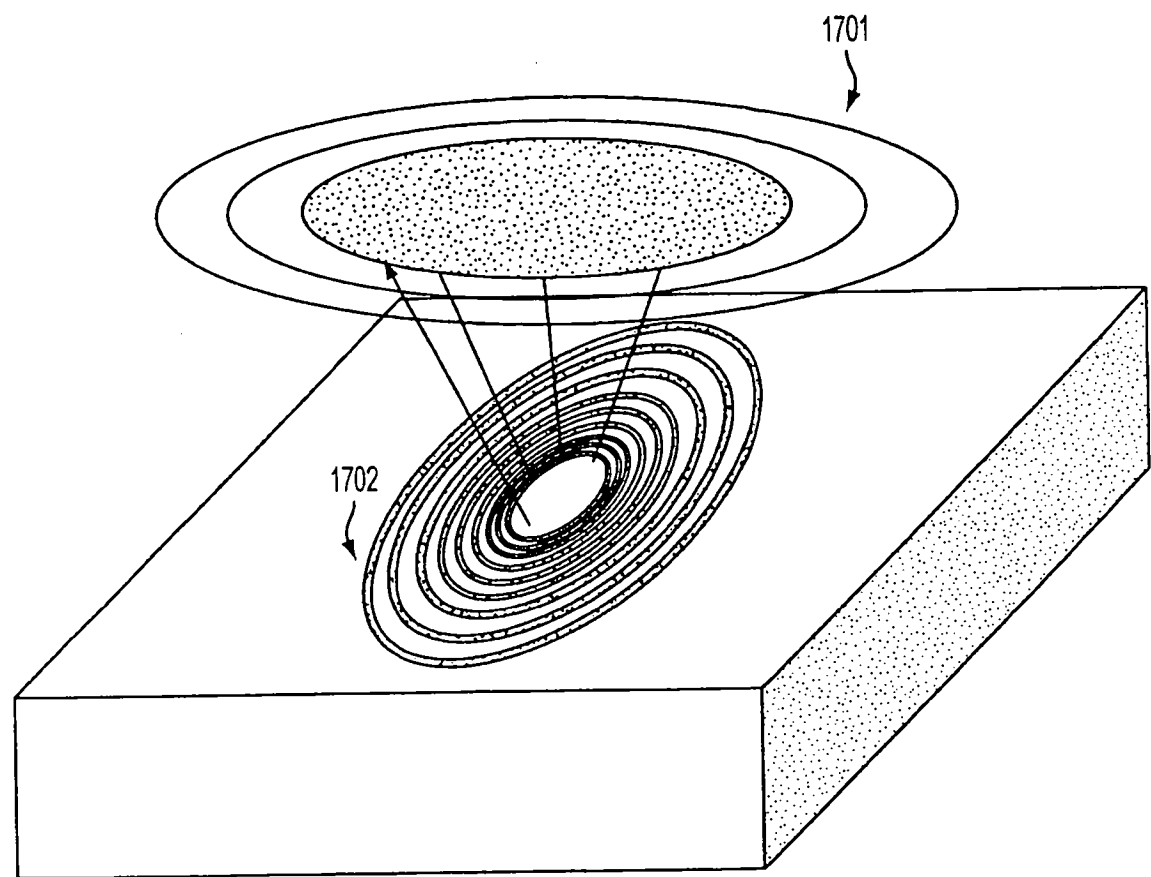
第15B圖



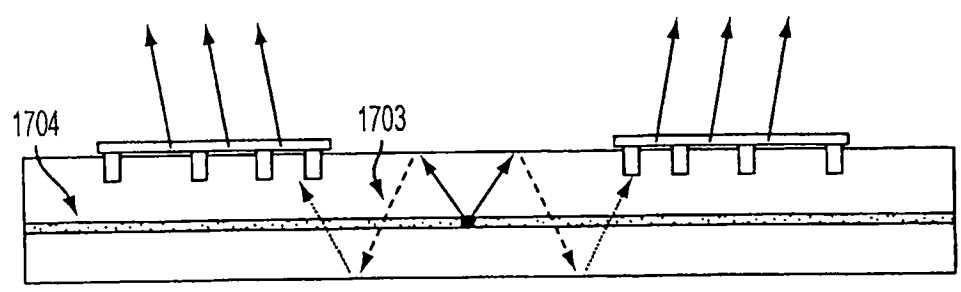
第15C圖



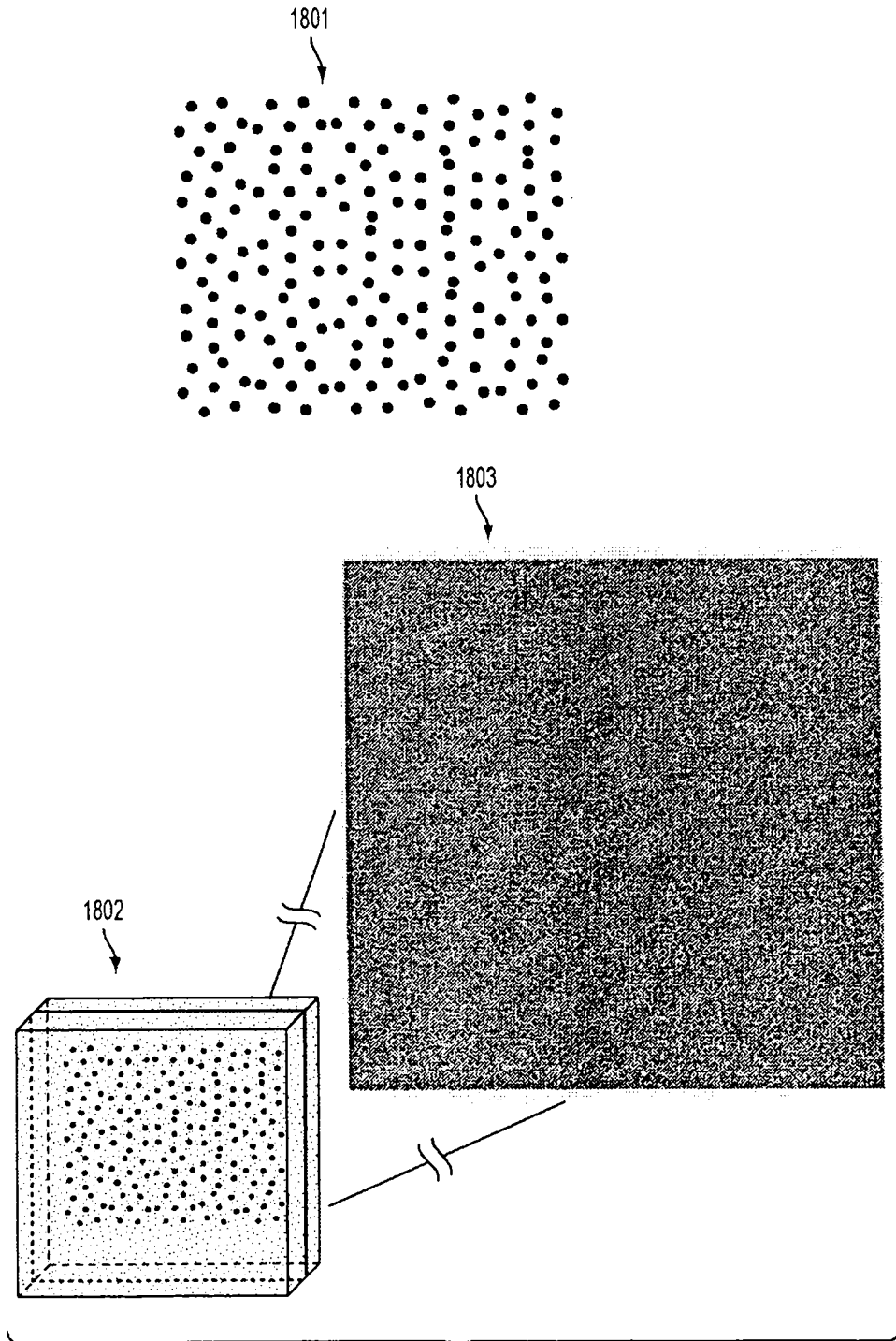
第 16 圖



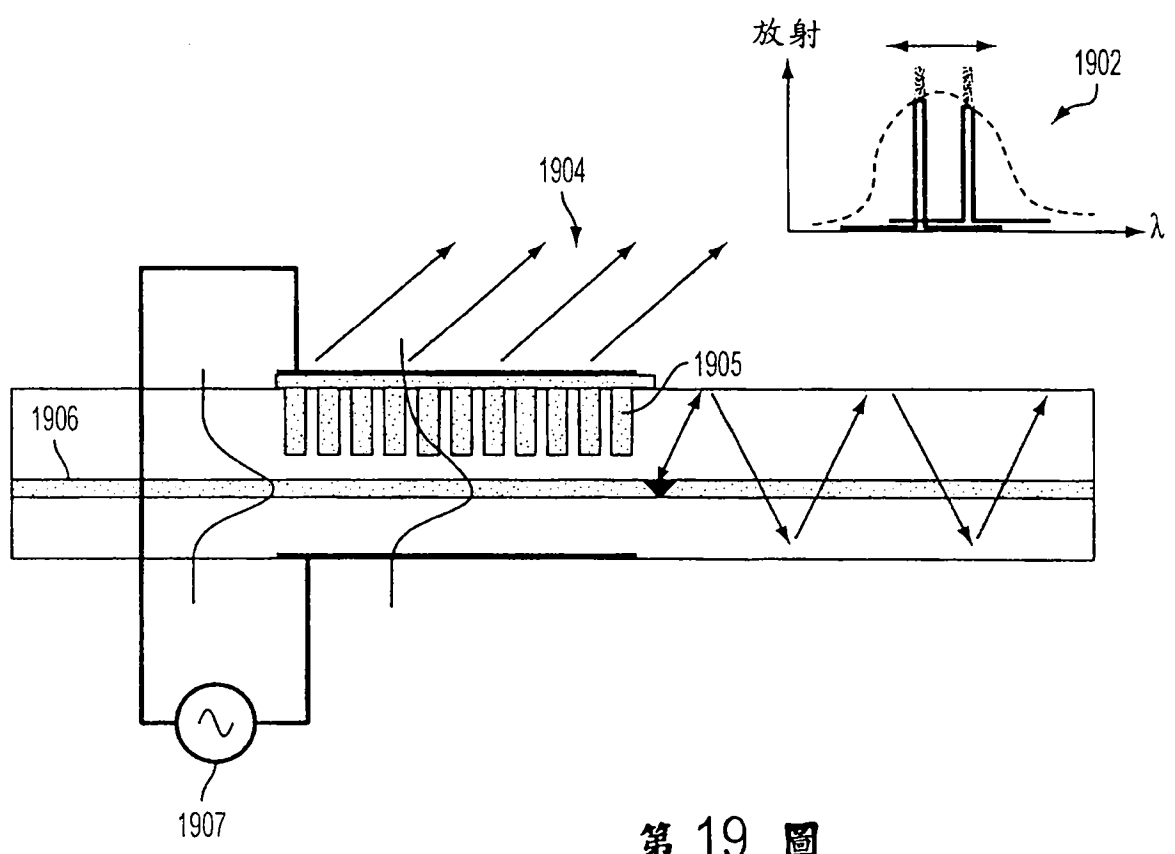
第17A圖



第17B圖



第 18 圖



第 19 圖

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(11)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

1101...p接點	1109...n摻雜材料
1102...p摻雜材料	1110...p接點
1103...光子準晶體排列	1111...p摻雜材料
1104...n接點	1112...DBR鏡多層堆疊
1105...DBR鏡多層堆疊	1113...n接點
1106...空氣/填補桿	1114...n摻雜材料
1107...p摻雜材料	1115...基材
1108...主動層	

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

修正
補充
99年12月24日

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：094132635

※ 申請日期：94.9.21

※IPC 分類：H01L 33/00 (2010.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

發光二極體結構

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

洲磊科技股份有限公司

代表人：(中文/英文)

李明順

住居所或營業所地址：(中文/英文)

(35059) 苗栗縣竹南鎮科義街 38 號 5 樓

國籍：(中文/英文)

中華民國

三、發明人：(共 1 人)

姓名：(中文/英文)

1. 速羅伯 瑪傑德 /ZOROB, MAJD

2. 林肯 約翰 /LINCOLN, JOHN

國籍：(中文/英文)

1. 黎巴嫩 /LEBANESE

2. 英國 /BRITISH