



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201224220 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 06 月 16 日

(21)申請案號：099142075

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 12 月 03 日

(51)Int. Cl. : **C25B7/00 (2006.01)** **C25D13/00 (2006.01)**
B82B3/00 (2006.01)

(71)申請人：國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)
新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：吳樸偉 WU, PU WEI (TW)；黃苡叡 HUANG, YI JUI (TW)

(74)代理人：陳昭誠

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：9 項 圖式數：4 共 22 頁

(54)名稱

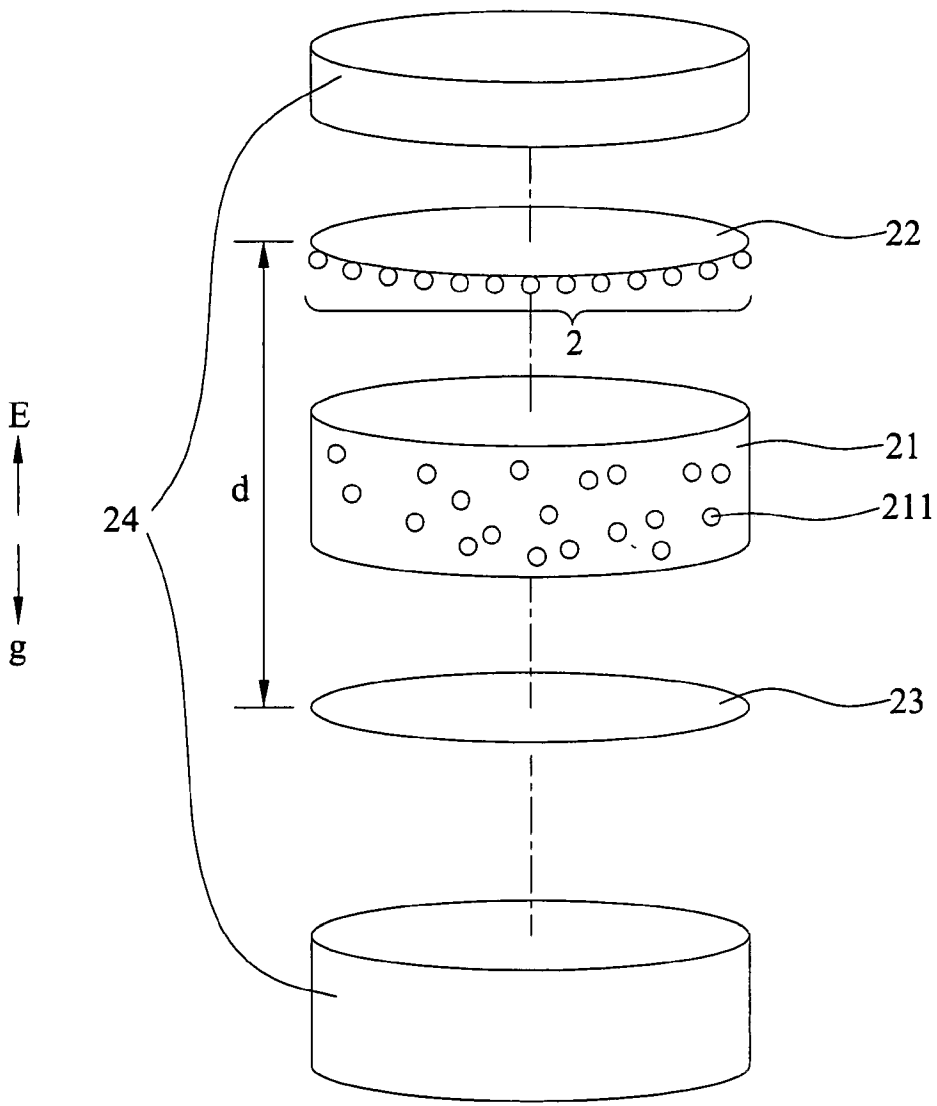
形成單層光子晶體結構之方法

METHOD OF FORMING SINGLE-LAYER PHOTON CRYSTAL STRUCTURE

(57)摘要

一種形成單層光子晶體結構之方法，包含下列步驟：(1)將電泳懸浮液、工作電極及下電極設置於容器中，其中，該工作電極及該下電極係分別設置於該容器中之上方及下方而相間隔一距離；以及(2)施加電壓於該工作電極及該下電極上以形成電場，使得電泳懸浮液中之粒子於該電場及重力場之交互作用下，藉由電泳自組裝技術以形成單層光子晶體結構於該工作電極上。據此，藉由本發明之方法可形成品質佳、再現性高以及設備、原物料成本低廉的單層光子晶體結構。

- 2：單層光子晶體結構
- 21：電泳懸浮液
- 22：工作電極
- 23：下電極
- 24：容器
- 211：粒子
- d：距離
- E：電場
- g：重力場



發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號： 99142095 CSB 7/00 (2006.01)
 ※申請日： 99.12.03 ※IPC 分類： CSD 13/00 (2006.01)
 B2B 3/00 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

形成單層光子晶體結構之方法
 METHOD OF FORMING SINGLE-LAYER PHOTON CRYSTAL
 STURCTURE

二、中文發明摘要：

一種形成單層光子晶體結構之方法，包含下列步驟：

(1)將電泳懸浮液、工作電極及下電極設置於容器中，其中，該工作電極及該下電極係分別設置於該容器中之上方及下方而相間隔一距離；以及(2)施加電壓於該工作電極及該下電極上以形成電場，使得電泳懸浮液中之粒子於該電場及重力場之交互作用下，藉由電泳自組裝技術以形成單層光子晶體結構於該工作電極上。據此，藉由本發明之方法可形成品質佳、再現性高以及設備、原物料成本低廉的單層光子晶體結構。

三、英文發明摘要：

Disclosed is a method of forming a single-layer photon crystal structure, comprising depositing electrophoretic floating liquids, working electrodes and low electrodes in a container, wherein the working electrodes and the low electrodes are deposited at the upper and lower sides of the container respectively being spaced apart with an interval therebetween; and applying electric voltage to the working electrodes and the low electrodes to form an electric field for allowing particles in the electrophoretic floating liquids to form a single-layer photon crystal structure on the working electrodes by the electrophoresis self-assembly technique under alternating actions of the electric and gravity fields, thereby forming a low-cost single-layer photon crystal structure but with good quality and recurring property.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (2B) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

2	單層光子晶體結構
21	電泳懸浮液
211	粒子
22	工作電極
23	下電極
24	容器
d	距離
E	電場
g	重力場

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無。

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種形成光子晶體結構的方法，尤指一種形成單層光子晶體結構之方法。

【先前技術】

半個世紀前，物理學家已經了解，晶體中的電子由於受到晶格的週期性位勢散射，部份波段會因破壞性干涉而形成能隙(energy gap)，導致電子的色散關係呈帶狀分佈，此即電子能帶結構(electronic band structures)，而類似的現象也存在於光子系統。在介電係數呈週期性排列的介電材料中，電磁波經介電函數散射後，某些波段的電磁波強度會因破壞性干涉而呈指數衰減，無法在光子系統內傳遞，此種現象相當於在頻譜上形成能隙，意即色散關係也具有帶狀結構，此即所謂的光子能帶結構(photonic band structures)。具有光子能帶結構的介電物質，稱為光能隙系統(photonic band-gap system)，或簡稱光子晶體(photonic crystals)。光子晶體已被發現近 20 年，但於 2000 年之後才真正有顯著的發展。而光子晶體之所以不同於一般的介電材料，在於它具有錯綜複雜的色散關係特色。

光子晶體可應用於許多光電元件，包括：可調式半導體雷射、光路由器、高效率光放大器、多工器、動態增益平衡器、可調式窄波通光柵、光迴旋器、低耗損的彎曲波導、高效率開關、加減濾波器、高敏感性的感測器等等。特別是，如果在週期性的排列中刻意安排一些缺陷，則將

會在光子晶體的能隙範圍內產生一些狹窄的光子穿透頻道，進而衍生很多可以應用在元件上的新奇現象。

然而，現今以塗佈方法所產生的單層光子晶體結構係面臨到排列性極差以及排列品質難以控制等問題。如第 1A 及第 1B 圖所示，係為習知技術以塗佈方法產生的單層光子晶體結構之顯微形貌照片。第 1A 圖係以 $20\ \mu\text{m}$ /單位長度的比例所拍攝。由第 1A 圖中可粗略看出，單層光子晶體 1 排列的結構並非為均勻一致的結構。因此，再以 $10\ \mu\text{m}$ /單位長度的比例放大細看第 1B 圖，即可明顯看出，單層光子晶體 1 之間並無形成緊密排列的週期性結構。如上所述，能夠應用在元件上之光子晶體結構必須為週期性的排列結構，因此，當光子晶體的結構無法形成週期性的排列結構時，其利用價值將大大降低。可見，塗佈製程因控制不易會導致單層光子晶體結構之品質不佳，且這些製程的設備皆非常昂貴，故單層光子晶體結構的製作成本始終居高不下。

因此，如何開發新一代的單層光子晶體製程技術，使得所製備的單層光子晶體結構具有再現性高、品質佳及成本低廉的優點，實已成為目前亟待解決的問題。

【發明內容】

鑒於上述習知技術之缺點，本發明之主要目的，在於提供一種形成單層光子晶體結構之方法，包含下列步驟：
(1)將電泳懸浮液、工作電極及下電極設置於容器中，其中，該工作電極及該下電極係分別設置於該容器中之上方

及下方而相間隔一距離；以及(2)施加電壓於該工作電極及該下電極上以形成電場，俾該電泳懸浮液中之粒子於該電場及重力場之交互作用下，藉由電泳自組裝技術以形成單層光子晶體結構於該工作電極上。

於一較佳態樣中，上述步驟(1)復包含將具有孔洞之模板設置於該工作電極與該下電極之間的步驟，且步驟(2)復包含使該電泳懸浮液中之粒子於該電場及重力場之交互作用下，穿透該模板之孔洞以於該工作電極的特定部位形成單層光子晶體結構的步驟。

據此，相較於習知技術，本發明之形成單層光子晶體結構之方法，利用電場及重力場的交互作用，能使電泳懸浮液中的粒子緩慢的於工作電極上形成自組裝的單層光子晶體結構，克服了習知技術中製程控制不易、再現性及組裝品質差的缺點。

【實施方式】

以下係藉由特定的具體實施型態說明本發明之實施方式，熟悉此技術之人士可由本說明書所揭示之內容輕易地瞭解本發明之其他優點與功效。本發明亦可藉由其他不同的具體實施型態加以施行或應用。

請一併參閱第 2A 及 2B 圖，係為本發明形成單層光子晶體結構之方法的實施步驟示意圖。首先，將電泳懸浮液 21、工作電極 22 及下電極 23 設置於容器 24 中，而工作電極 22 及下電極 23 係分別設置於容器 24 中之上方及下方且相間隔一距離 d 。之後，施加電壓於工作電極 22 及下

電極 23 上以形成電場 E ，使得電泳懸浮液 21 中之粒子 211 於電場 E 及重力場 g 之交互作用下，藉由電泳自組裝技術以形成如第 2B 圖所示之單層光子晶體結構 2 於工作電極 22 上。

而在形成單層光子晶體結構於該工作電極上的步驟之後，可將包含有單層光子晶體結構 2 之工作電極 22 自該電泳懸浮液中取出，並藉由控制該工作電極 22 所在環境之溼度與環境溫度以調整該單層光子晶體結構 2 排列的大範圍的最密堆積品質，例如以水氣噴頭對環境噴出水氣來提高濕度以使該單層光子晶體結構 2 的最密排列品質更為優良。再者，除控制該工作電極 22 所在環境之溼度之外，亦可控制該工作電極 22 的乾燥速度以調整該單層光子晶體結構 2 的緊密程度。

再者，本發明形成單層光子晶體結構的方法係使電泳懸浮液 21 中的粒子透過電泳效應而於工作電極上進行自組裝，而粒子在電泳效應下的自組裝速度亦可藉由工作電極 22 及下電極 23 之距離、電場之強度、電泳懸浮液 21 之濃度或電泳懸浮液 21 之成份等等進行調整，藉以精確的於工作電極上形成高良率、高品質與高再現性的「單層」光子晶體結構。其主要的物理原理在於，粒子因電泳效應的電場 E 而向上方工作電極 22 移動，而重力場 g 使粒子向下方下電極 23 移動，相互作用的結果可大幅降低粒子的自組裝速度，因此工程人員即可精確的使一層光子晶體結構形成於工作電極 22 上。例如，工作電極及下電極之間的

距離係可設置大於 0.5cm 以上，電場強度係可調整為 1V/cm 至 100V/cm 之間，電泳懸浮液之濃度係可調配為 0.0001g/ml 至 0.1g/ml 的範圍。

請參閱第 3 圖，係應用本發明形成單層光子晶體結構 3 之方法所形成之單層光子晶體結構的顯微形貌照片，其係放大為 5 μ m/單位長度的比例。相較於以習知技術的塗佈方法所形成的單層光子晶體結構，如第 1A、1B 圖所示，可明顯看出本發明之方法可形成品質更佳、排列更為緊密的單層光子晶體結構 3。其最大差別在於，本發明係以電泳自組裝的方式形成單層光子晶體結構，因此可形成最密堆積之週期排列結構，而以習知技術的塗佈方式並無法實現此結構。再者，本發明亦克服了一般電泳自組裝技術無法控制單層自組裝技術的問題。

更進一步地，請參閱第 4A 圖，係為第 2A 圖中，將晶圓與環形電極組合以作為工作電極之實施步驟示意圖。工作電極 22 係可由晶圓 221 以及環形電極 222 所組成，而單層光子晶體結構則可形成於晶圓 221 上，用以作為蝕刻光罩、LED 以及太陽能電池等用途。而環形電極 222 的形狀則可根據設計所需，調整為正方形、矩形、三角形或多邊形等任意的幾何形狀。

請參閱第 4B 圖，除了改變電極之形狀之外，亦可另外設置具有孔洞 41 之模板 4 於工作電極 22 與下電極 23 之間，用以使電泳懸浮液 21 中之粒子 211 於電場 E 及重力場 g 之交互作用下，穿透模板 4 之孔洞 41 以於工作電極

22 上對應孔洞 41 的特定部位形成單層光子晶體結構。而模板 4 上不具有孔洞 41 的位置所對應之工作電極 22 的其他部位，因電泳效應產生時粒子遭模板 4 所阻擋因此並不會形成單層的最密堆積排列光子晶體結構，此一舉可製作出單層其他周期性排列(非最密堆積排列)的光子晶體結構，如第 4C 圖所示。

綜上所述，本發明形成單層光子晶體結構之方法，藉由重力場方向與電場的配置、懸電泳懸浮液成份及作用環境參數的調整、使粒子能精確的於工作電極上形成單層光子晶體結構，其優勢為：(1)電泳自組裝的光子晶體結構較習知塗佈技術更為緊密；(2)利用重力場與電場的交互作用控制粒子的自組裝速度，以精確的於工作電極上形成單層光子晶體結構，解決習知電泳技術無法控制單層自組裝光子晶體的問題；(3)本發明之電泳技術無須使用昂貴的製程機具，因此可降低單層光子晶體結構的製造成本。

上述實施型態僅例示性說明本發明之原理及其功效，而非用於限制本發明。任何熟習此項技藝之人士均可在不違背本發明之精神及範疇下，對上述實施型態進行修飾與改變。因此，本發明之權利保護範圍，應如後述之申請專利範圍所列。

【圖式簡單說明】

第 1A 圖係為習知技術以塗佈方法產生單層光子晶體結構之顯微形貌照片，其比例為 $20 \mu\text{m}$ /單位長度；

第 1B 圖係為習知技術以塗佈方法產生單層光子晶體

結構之顯微形貌照片，其比例為 $10\ \mu\text{m}$ /單位長度；

第 2A 圖係為本發明形成單層光子晶體結構之方法的一實施步驟示意圖；

第 2B 圖係為本發明形成單層光子晶體結構之方法的另一實施步驟示意圖；

第 3 圖係為應用本發明形成單層光子晶體結構之方法所形成之單層光子晶體結構的顯微形貌照片，其比例為 $5\ \mu\text{m}$ /單位長度；

第 4A 圖係為第 2A 圖中將晶圓與環形電極組合以作為工作電極之實施步驟示意圖；

第 4B 圖係為第 2A 圖中將模板設置於工作電極與下電極之間的實施步驟示意圖；以及

第 4C 圖係為應用第 4B 圖的步驟所製作之非最密堆積之周期性排列光子晶體結構的顯微形貌照片。

【主要元件符號說明】

- 1 單層光子晶體
- 2 單層光子晶體結構
- 21 電泳懸浮液
- 211 粒子
- 22 工作電極
- 221 晶圓
- 222 環形電極
- 23 下電極
- 24 容器

3	單層光子晶體結構
4	模板
41	孔洞
d	距離
E	電場
g	重力場

七、申請專利範圍：

1. 一種形成單層光子晶體結構之方法，包含下列步驟：

(1)將電泳懸浮液、工作電極及下電極設置於容器中，其中，該工作電極及該下電極係分別設置於該容器中之上方及下方而相間隔一距離；以及

(2)施加電壓於該工作電極及該下電極上以形成電場，俾該電泳懸浮液中之粒子於該電場及重力場之交互作用下，藉由電泳自組裝技術以形成單層光子晶體結構於該工作電極上。

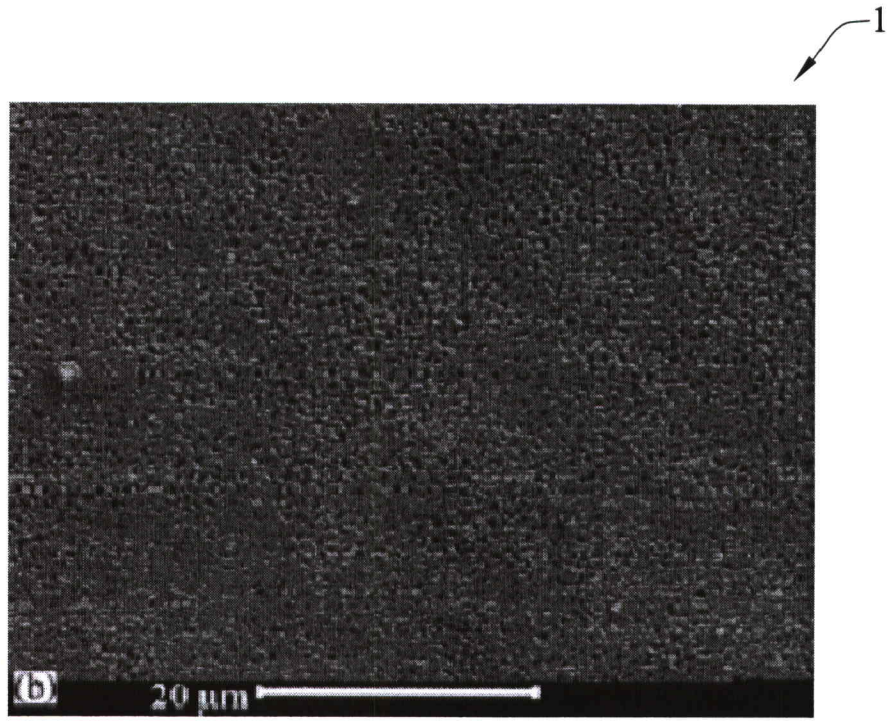
2. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中，復包含步驟(3)：自該電泳懸浮液中取出該工作電極，其中，該工作電極上具有該單層光子晶體結構。

3. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中，步驟(3)復包含自該電泳懸浮液中取出該工作電極後，藉由控制該工作電極所在環境之溼度及溫度以調整該單層光子晶體結構的最密堆積品質之步驟。

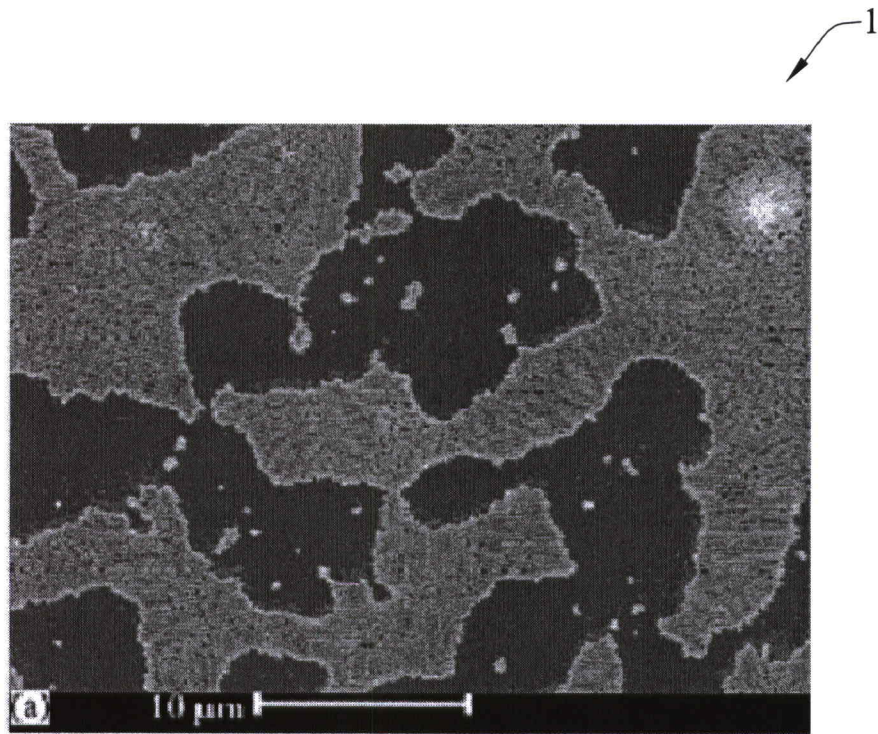
4. 如申請專利範圍第 2 項所述之方法，其中，步驟(3)復包含自該電泳懸浮液中取出該工作電極後，藉由控制該工作電極的乾燥速度調整該單層光子晶體結構的最密堆積品質之步驟。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中，該電泳自組裝技術之速度係透過該工作電極及該下電極之距離、該電場之強度、該電泳懸浮液之濃度或該電泳懸浮液之成份進行調整。

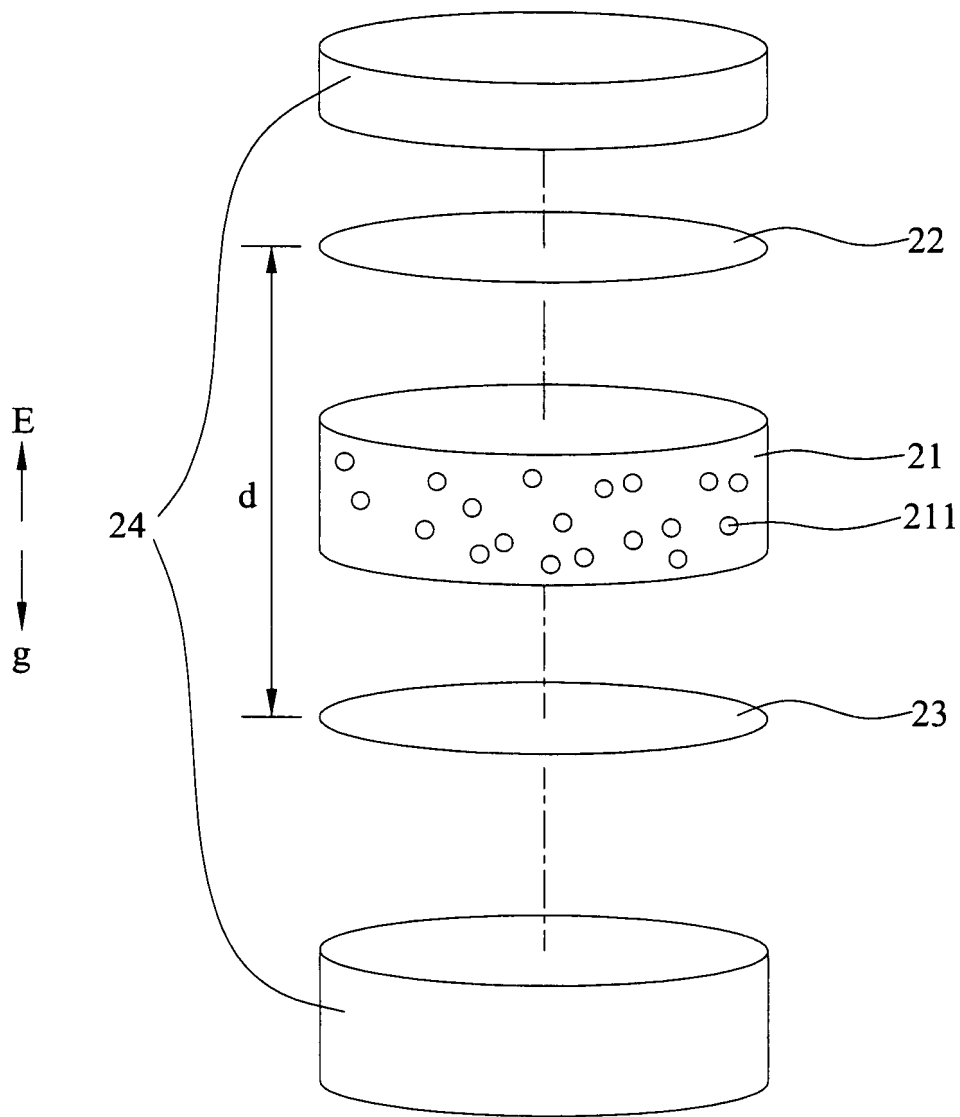
6. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中，該電場方向係相對於重力場方向。
7. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中，該工作電極係由一晶圓及一電極所組成。
8. 如申請專利範圍第 7 項所述之方法，其中，該電極之形狀係為環形、方形及三角形等幾何形狀。
9. 如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中，步驟(1)復包含將具有孔洞之模板設置於該工作電極與該下電極之間的步驟，且步驟(2)復包含使該電泳懸浮液中之粒子於該電場及重力場之交互作用下，穿透該模板之孔洞以於該工作電極的特定部位形成單層光子晶體結構的步驟。



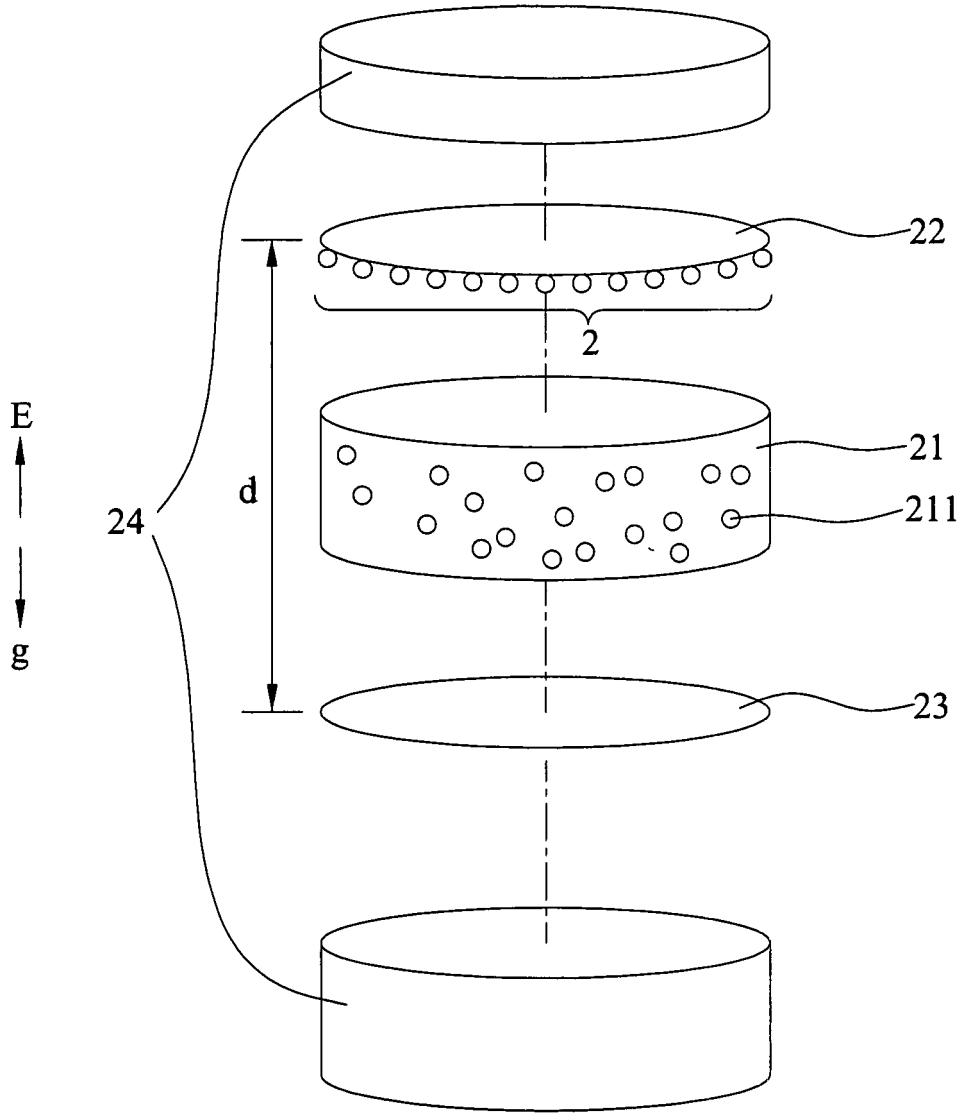
第1A圖



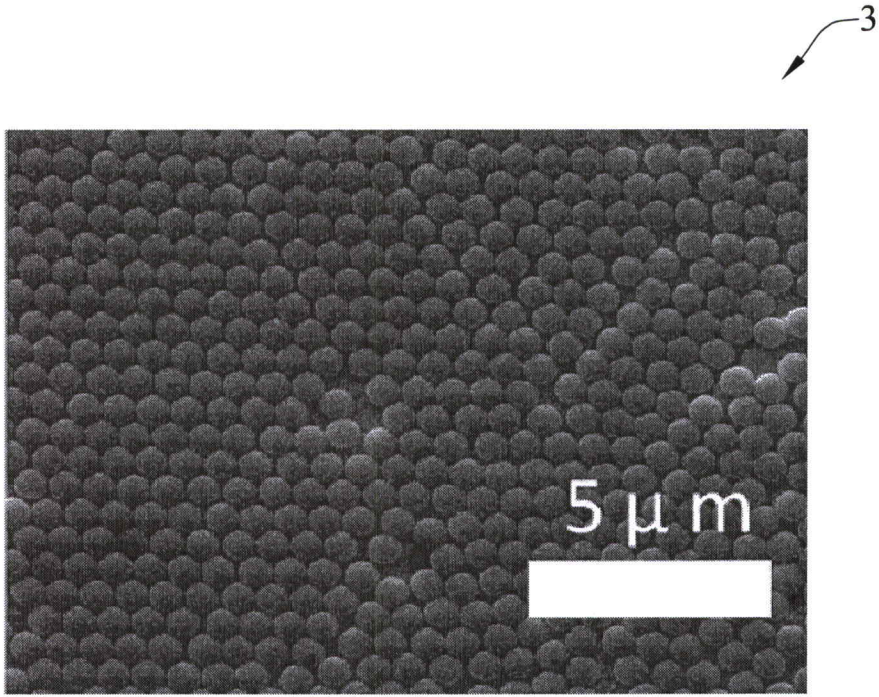
第1B圖



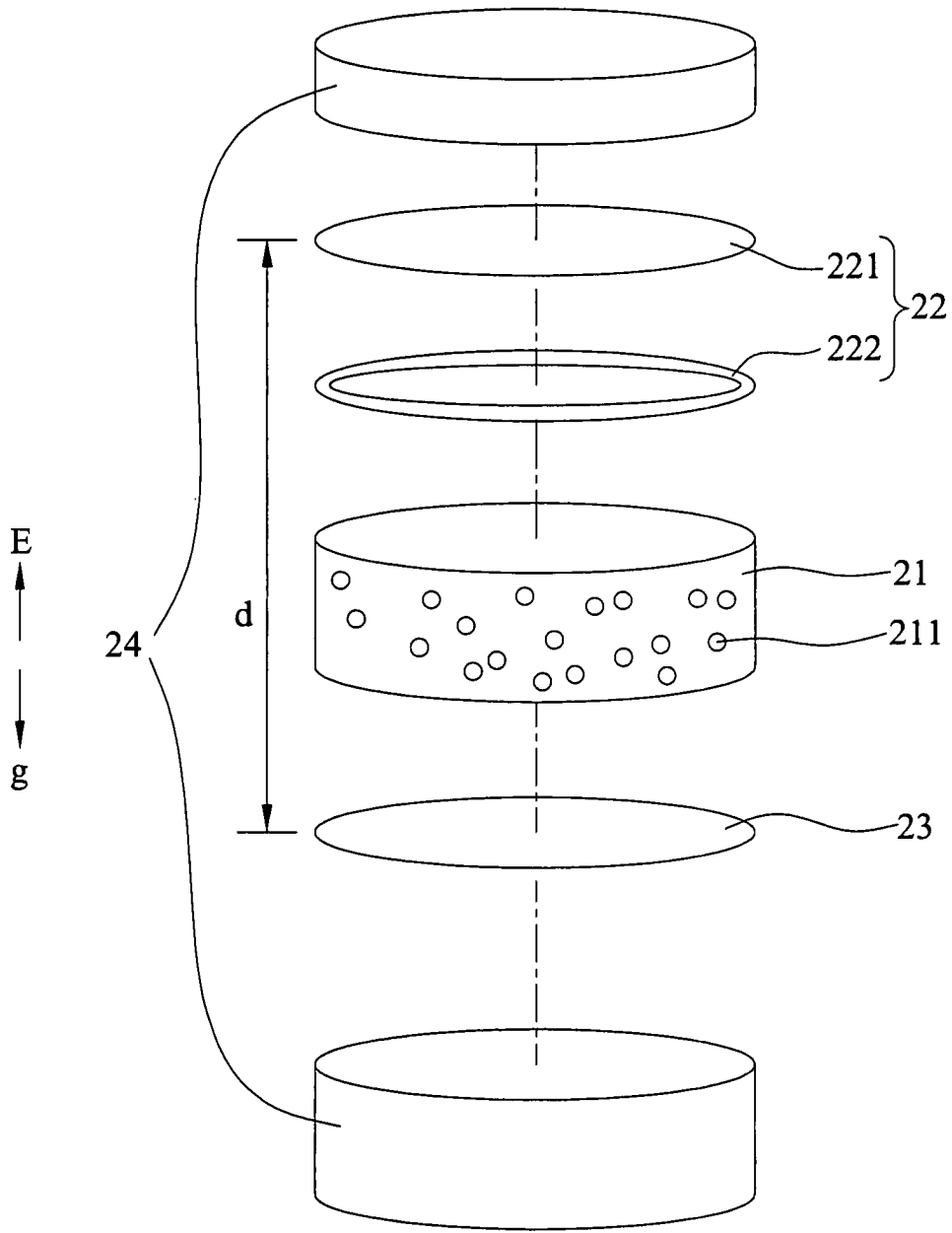
第2A圖



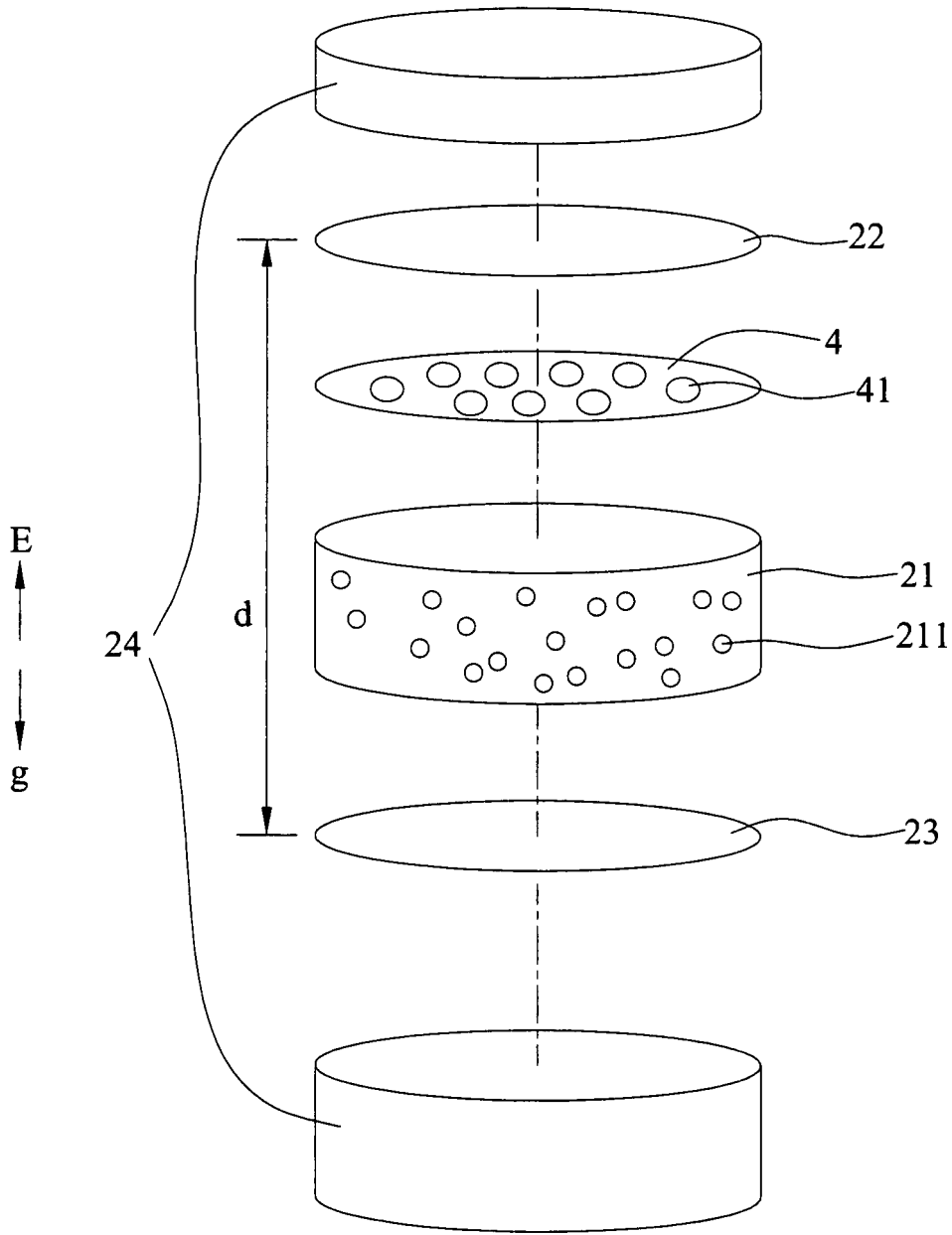
第2B圖



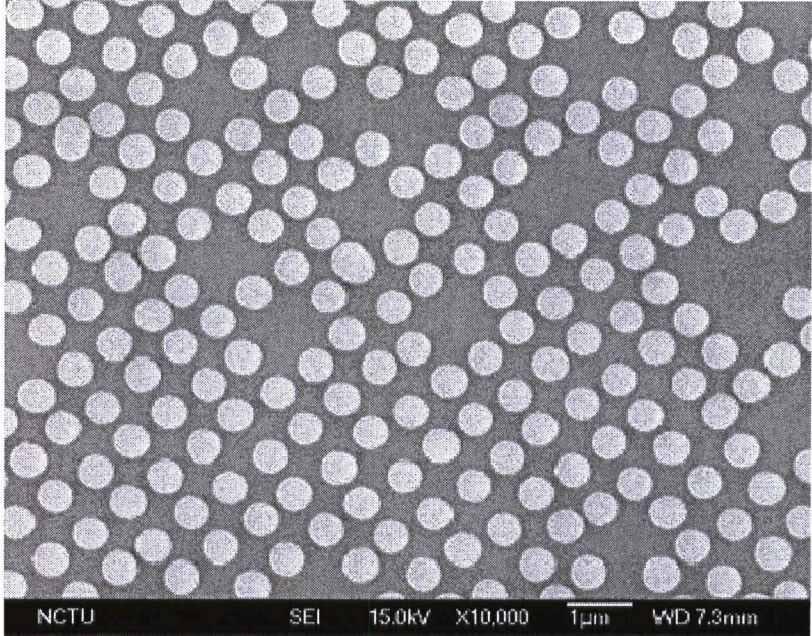
第3圖



第4A圖



第4B圖



第4C圖