



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I680563 B

(45) 公告日：中華民國 108 (2019) 年 12 月 21 日

(21) 申請案號：107137245

(22) 申請日：中華民國 107 (2018) 年 10 月 22 日

(51) Int. Cl. : H01L27/10 (2006.01)

H01L31/036 (2006.01)

(71) 申請人：國立中山大學 (中華民國) NATIONAL SUN YAT-SEN UNIVERSITY (TW)

高雄市鼓山區蓮海路 70 號

(72) 發明人：蔣酉旺 CHIANG, YEO-WAN (TW) ; 林恩立 LIN, EN-LI (TW) ; 許維倫 HSU, WEI-LUN (TW)

(74) 代理人：張啟威

(56) 參考文獻：

TW 200530278A

TW 200952072A

TW 201102403A

US 2005/0158988A1

審查人員：涂公遠

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：10 共 21 頁

(54) 名稱

固態光子晶體之製備方法

(57) 摘要

一種固態光子晶體之製備方法，將一聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物溶於一含氯溶劑後塗佈成一初始薄膜，該共聚物會自組裝成具週期性的三維網狀結構，接著將該初始薄膜浸泡於一極性溶劑中膨潤該共聚物，以形成一凝膠態薄膜，最後乾燥該凝膠態薄膜以形成一固態光子晶體，於該極性溶劑揮發過程中，聚乙烯吡啶鏈段會轉變為玻璃態並於該凝膠態薄膜表面形成一玻璃態薄層，使得該共聚物之該三維網狀結構保留近似於凝膠態狀態的週期尺寸。

A method for fabricating solid photonic crystals includes the steps: a PS-PVP copolymer is dissolved in a chloride-containing solvent and is coated as an initial film; the copolymer self-assembles into 3D ordered network-structured morphology with periodicity; the copolymer in the initial film is swollen in a polar solvent to form a solvated film; the solvated film is dried to form a solid photonic crystal. During evaporation of the polar solvent, the PVP block of the copolymer becomes glassy and forms a thin glassy layer on the surface of the solvated film such that the 3D network structure of the copolymer in solvated state can be trapped into the solid photonic crystal revealing similar periodicity and dimension to that in solvated state.

指定代表圖：

符號簡單說明：

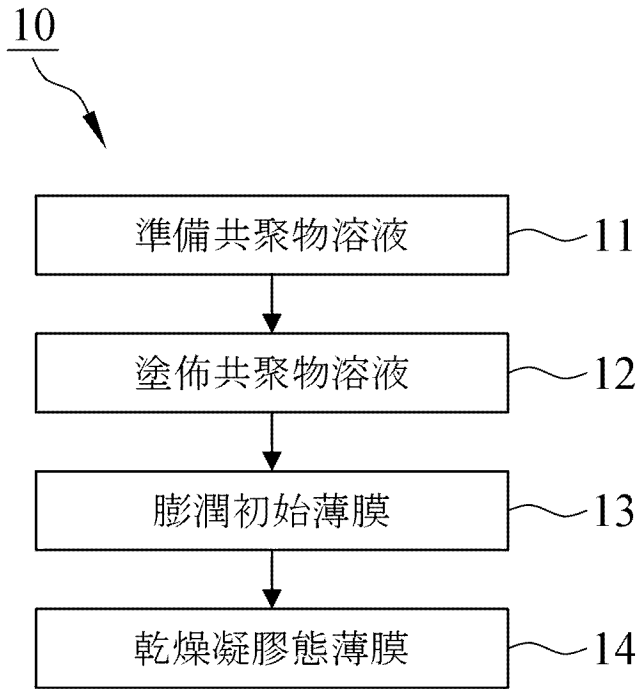
10 . . . 固態光子晶體之製備方法

11 . . . 準備共聚物溶液

12 . . . 塗佈共聚物溶液

13 . . . 膨潤初始薄膜

14 . . . 乾燥凝膠態薄膜



第 1 圖

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 固態光子晶體之製備方法

【英文發明名稱】 Method for fabricating solid photonic crystals

### 【技術領域】

【0001】本發明關於一種光子晶體之製備方法，特別是一種固態光子晶體之製備方法。

### 【先前技術】

【0002】許多研究指出，蝴蝶翅膀中的高聯結性螺旋二十四面體奈米結構可形成光子晶體，以表現出特殊的光電性質，然而不易以人造方式製備出可見光光子晶體。

【0003】先前技術是使用一維層狀雙性高分子來製備光子晶體，藉由溶劑膨潤一維層狀雙性高分子，使一維層狀雙性高分子形成具可見光或近紅外光光子能隙(photonic bandgap)的凝膠態光子晶體，然而溶劑於一般大氣環境中會揮發，當溶劑完全揮發後，凝膠態光子晶體會轉變固態，而光子能隙會由近紅外光或可見光波段回復至膨潤前的紫外光波段，因此一維層狀光子晶體於固態下會喪失結構色彩(structural coloration)，無法應用於一般大氣下使用的光電固態元件。

### 【發明內容】

【0004】本發明提供一種固態光子晶體之製備方法，藉由聚苯乙烯-聚乙烯

吡啶共聚物自組裝形成的三維網狀結構，捕捉凝膠狀態的光子能隙及結構色彩至固體光子晶體。

**【0005】** 本發明之一種固態光子晶體之製備方法，其包含：準備一共聚物溶液，將一聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物溶於一含氯溶劑中；塗佈該共聚物溶液，將該共聚物溶液塗佈於一基材以形成一初始薄膜，該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物於該初始薄膜中自組裝成一具有週期性的三維網狀結構；膨潤該初始薄膜，將該初始薄膜浸泡於一極性溶劑，該極性溶劑用以膨潤該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物，使該初始薄膜轉變為一凝膠態薄膜，其中該凝膠態薄膜中的該三維網狀結構的週期尺寸大於該初始薄膜；以及乾燥該凝膠態薄膜，使該凝膠態薄膜中的該極性溶劑完全揮發以形成一固態三維網狀光子晶體，其中於該極性溶劑揮發過程中，該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物中的聚乙烯吡啶鏈段會轉變為玻璃態，使該固態光子晶體的該三維網狀結構的週期尺寸維持於該初始薄膜及該凝膠態薄膜之間。

**【0006】** 由於該初始薄膜中的該三維網狀結構週期尺寸過小，無法形成可見光或近紅外光光子能隙，以應用於一般光電元件，因此本發明利用該極性溶劑膨潤該初始薄膜，延展該三維網狀結構的週期尺寸，而該三維網狀結構的高連續聯結性會降低該極性溶劑的揮發速率，使聚乙烯吡啶鏈段於該極性溶劑揮發過程中轉變為玻璃態，而於該凝膠態薄膜表面形成一玻璃態薄層，當該極性溶劑完全揮發後，該三維網狀結構的週期尺寸不會回復至該初始薄膜的週期尺寸，而是介於該初始薄膜及該凝膠態薄膜之間，因此可藉此調整該三維網狀結構的週期尺寸，使乾燥後的該固態光子晶體光子能隙及結構色彩波長位於可見光波段範圍內。

**【圖式簡單說明】****【0007】**

- 第1圖：依據本發明之一實施例，一種固態光子晶體之製備方法流程圖。
- 第2圖：PS-P2VP初始薄膜之穿透式電子顯微鏡影像。
- 第3圖：依據本發明之一實施例，該固態光子晶體之製備方法示意圖。
- 第4圖：PS-P2VP初始薄膜表面之掃描探針顯微鏡影像。
- 第5圖：PS-P2VP固態光子晶體表面之掃描探針顯微鏡影像。
- 第6圖：具三維網狀結構之PS-P2VP反射光譜。
- 第7圖：具一維層狀結構之PS-P2VP反射光譜。
- 第8圖：PS-P2VP固態光子晶體之反射光譜。
- 第9圖：PS-P2VP固態光子晶體於熱處理前後之場效發射式電子顯微鏡影像。
- 第10圖：PS-P2VP固態光子晶體之循環測試結果。

**【實施方式】**

**【0008】**請參閱第1圖，一種固態光子晶體之製備方法10包含「準備共聚物溶液」11、「塗佈共聚物溶液」12、「膨潤初始薄膜」13及「乾燥凝膠態薄膜」14。

**【0009】**請參閱第1圖，首先準備一共聚物溶液，將一聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物(polystyrene-block-poly(vinylpyridine), PS-PVP)溶於一含氯溶劑中，該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物為雙性嵌段共聚物，由具疏水性的聚苯乙烯聚合物(PS)及具親水性的聚乙烯吡啶聚合物(PVP)所組成，較佳地，該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶

共聚物分子量小於500 kg/mol，且聚苯乙烯(PS)佔該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物(PS-PVP)總體積的58~67 %。

【0010】其中，該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物(PS-PVP)可選自於聚苯乙烯-聚二乙烯吡啶共聚物(polystyrene-block-poly(2-vinylpyridine), PS-P2VP)或聚苯乙烯-聚四乙烯吡啶共聚物(polystyrene-block-poly(4-vinylpyridine), PS-P4VP)，該含氯溶劑為中性溶劑，如三氯甲烷(chloroform)、1,2-二氯乙烷(1,2-dichloroethane, DCE)或1,1,2-三氯乙烷(1,1,2-trichloroethane, TCE)。

【0011】請參閱第1圖，取得該共聚物溶液後，將該共聚物溶液塗佈於一基材，以形成一初始薄膜，較佳地，該共聚物溶液以旋轉塗佈法、浸塗法或狹縫式塗佈法塗佈於該基材，該基材可為玻璃、矽晶圓、導電氧化物(Indium Tin Oxide, ITO)或聚對苯二甲酸乙二酯(polyethylene terephthalate, PET)，在本實施例中，該共聚物溶液係以700~3000 rpm轉速塗佈於玻璃基板。

【0012】將該共聚物溶液塗佈成膜時，該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物會自組裝(self-assembly)成一具有週期性的三維網狀結構(3D ordered network structure)，其中該三維網狀結構可為螺旋二十四面體奈米結構(gyroid)、聯結網狀結構(interconnected network structure)或其他三維網狀微結構。

【0013】請參閱第2圖，藉由穿透式電子顯微鏡(transmission electron microscopy, TEM)觀測該初始薄膜截面的微結構，在本實施例中，係將PS-P2VP分別溶於三氯甲烷(a)、1,2-二氯乙烷(b)及1,1,2-三氯乙烷(c)，PS-P2VP共聚物溶液塗佈成膜後暴露於碘蒸氣中60分鐘，最後以TEM觀察截面微結構，其中淺色區域為聚苯乙烯鏈段(PS)，而深色區域為聚二乙烯吡啶鏈段(P2VP)，TEM影像顯示於使用不同含氯溶劑的三種初始薄膜中，PS-P2VP皆自組裝成螺旋二十四面體奈

米結構(gyroid)，請參閱第2c圖，其中PS-P2VP溶於1,1,2-三氯乙烷後自組裝成的三維網狀結構週期尺寸約為247 nm，由於週期尺寸所對應的光子能隙波長並非位於可見光波段範圍內，因此呈現透明無色。

**【0014】**請參閱第1及3圖，取得該初始薄膜後，將該初始薄膜浸泡於一極性溶劑中進行膨潤，該極性溶劑用以膨潤該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物中的聚乙烯吡啶鏈段(PVP)，使該初始薄膜轉變為一凝膠態薄膜，由於聚乙烯吡啶鏈段膨潤後會延展，因此該凝膠態薄膜中的該三維網狀結構的週期尺寸大於該初始薄膜，較佳地，該凝膠態薄膜厚度介於1-10  $\mu\text{m}$ 之間，該極性溶劑為醇類，可為甲醇、乙醇、2-丙醇或其他醇類。

**【0015】**在本實施例中，將PS-P2VP初始薄膜浸泡於乙醇中10分鐘，膨潤P2VP鏈段以形成PS-P2VP凝膠態薄膜，由於PS-P2VP凝膠態薄膜的三維網狀結構週期尺寸對應的光子能隙波長位於紅光波段範圍，因此呈現紅色。

**【0016】**請參閱第1及3圖，膨潤後，將該凝膠態薄膜從該極性溶劑中取出進行乾燥，待該凝膠態薄膜中的該極性溶劑完全揮發後，該凝膠態薄膜轉變為一固態光子晶體，較佳地，該凝膠態薄膜的乾燥溫度介於0-50  $^{\circ}\text{C}$ 之間。

**【0017】**在該極性溶劑揮發過程中，該三維網狀結構會使得該極性溶劑的揮發速率大幅降低，當該凝膠態薄膜中的該極性溶劑降低至一定濃度時，聚乙烯吡啶鏈段會因到達玻璃轉移溫度( $T_g$ )而從凝膠態轉變為玻璃態，因此該凝膠態薄膜中的聚乙烯吡啶鏈段會由表面往內部逐漸玻璃化，且該凝膠態薄膜表面會形成一層玻璃態聚乙烯吡啶(如第3圖所示)，薄膜表面的玻璃態薄層有助於保留該三維網狀結構的週期尺寸，因此該固態光子晶體的該三維網狀結構週期尺寸不會回復至該初始薄膜的週期尺寸，而是維持在該初始薄膜及該凝膠態薄膜之間。

【0018】在本實施例中，將PS-P2VP凝膠態薄膜置於室溫中進行乾燥，當乙醇完全揮發後，PS-P2VP凝膠態薄膜轉變為PS-P2VP固態光子晶體，其中PS-P2VP固態光子晶體厚度約為2.9  $\mu\text{m}$ ，而三維網狀結構週期尺寸約為448 nm，所對應的光子能隙波長位於綠光波段範圍內，呈現綠色，由於經膨潤乾燥後的固態PS-P2VP具有可見光結構色彩，因此可應用於一般大氣下使用的光電固態元件。

【0019】PS-P2VP固態光子晶體的厚度及三維網狀結構週期尺寸皆高於PS-P2VP初始薄膜，表示形成於表面的玻璃態P2VP確實有助於固定膨潤狀態下的三維網狀結構週期尺寸，本發明藉由捕捉結構色彩技術(trapping of structural coloration, TOSC)可將膨潤狀態下的光子能隙及結構色彩保留至PS-P2VP固態光子晶體。

【0020】請參閱第4及5圖，使用掃描探針顯微鏡(scanning probe microscopy, SPM)觀測PS-P2VP初始薄膜及捕捉結構色彩後的PS-P2VP固態光子晶體表面，SPM影像顯示PS-P2VP固態光子晶體(第5圖)的無結構表面形態不同於PS-P2VP初始薄膜(第4圖)的多孔結構，表示PS-P2VP固態光子晶體表面確實存在玻璃態的聚乙烯吡啶鏈段，因此可捕捉膨潤狀態下的光子能隙及結構色彩。

【0021】請參閱第6圖，其為PS-P2VP凝膠態薄膜(虛線)及PS-P2VP固態光子晶體(實線)的反射光譜，PS-P2VP凝膠態薄膜於664 nm呈現紅光反射峰值(反射率約為16%)，而PS-P2VP固態光子晶體於481 nm呈現綠光反射峰值(反射率約為60%)，顯示該極性溶劑完全揮發後，固態PS-P2VP仍具有可見光結構色彩且具有更高的反射率。

【0022】為了解共聚物自組裝結構對於捕捉結構色彩的影響，使用三氯甲烷/乙醇蒸氣對PS-P2VP初始薄膜進行溶劑退火(50  $^{\circ}\text{C}$ ，3小時)，使PS-P2VP由三



維網狀結構轉變為一維層狀結構，接著將具有一維層狀結構的PS-P2VP薄膜浸泡於乙醇中進行膨潤，最後乾燥PS-P2VP薄膜使乙醇完全揮發。

【0023】請參閱第7圖，其為具有一維層狀結構的PS-P2VP於凝膠態及固態的反射光譜，具有一維層狀結構的PS-P2VP於凝膠態呈現紅色反射峰值(646nm)，近似具有三維網狀結構的凝膠態PS-P2VP，然而當乙醇完全揮發後，一維層狀結構無法保留凝膠態PS-P2VP的結構色彩，使得凝膠態PS-P2VP快速收縮成無色的固態PS-P2VP，並伴隨可見光結構色彩消失，證明本發明之捕捉結構色彩技術取決於該三維網狀結構。

【0024】根據擴散公式 $x^2 = D \times t$  ( $x$ 為擴散距離、 $D$ 為溶劑擴散力、 $t$ 為揮發所需時間)可知，該極性溶劑的完全揮發所需時間會受溶劑的擴散距離、擴散力或揮發速率所影響，且該極性溶劑的揮發速率會影響該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物的收縮速率，進而影響該三維網狀結構的週期尺寸，透過改變該極性溶劑的完全揮發所需時間可調整該三維網狀結構的週期尺寸，因此無須改變共聚物分子量、修飾官能基或導入任何添加物，使用單一分子量的嵌段共聚物即可製成具有不同三維網狀結構週期尺寸與不同結構色彩波長的固態光子晶體，使該固態光子晶體的結構色彩涵蓋全可見光波段，較佳地，可藉由改變該凝膠態薄膜的乾燥溫度、改變該初始薄膜的膜厚或使用具有不同揮發速率的極性溶劑，控制捕捉結構色彩後的該固態光子晶體膜厚，使該固態光子晶體的該三維網狀結構週期尺寸介於300~700 nm之間，對應全可見光範圍的光子能隙波段。

【0025】請參閱表1，將相同濃度的PS-P2VP溶液塗佈成相同厚度的初始薄膜並浸泡於乙醇膨潤後，於不同乾燥溫度下使PS-P2VP凝膠態薄膜中的乙醇完全揮發，由於提高乾燥溫度可提昇乙醇的揮發速率與擴散力，降低乙醇完全揮發的

所需時間，使PS-P2VP快速收縮而捕捉波長較短的結構色彩，因此PS-P2VP固態光子晶體的結構色彩波長(反射峰值)與乾燥溫度成反比，藉由改變該凝膠態薄膜的乾燥溫度確實可調控該固態光子晶體的結構色彩。

-表1-

乾燥溫度	10 °C	25 °C	30 °C	40 °C
反射峰值	492 nm	482 nm	458 nm	438 nm

【0026】請參閱表2，將不同濃度的PS-P2VP溶液塗佈成不同厚度的初始薄膜，浸泡於進行膨潤並於室溫乾燥(25 °C)後，取得不同厚度的PS-P2VP固態光子晶體，由於增加薄膜厚度會增加乙醇的擴散距離，使得PS-P2VP薄膜以較慢的速率乾燥收縮，增加乙醇完全揮發所需時間，而能捕捉波長較長的結構色彩，因此PS-P2VP固態光子晶體的結構色彩波長(反射峰值)與薄膜厚度成正比，該初始薄膜的厚度變化確實會改變該固態光子晶體的結構色彩。

-表2-

薄膜厚度	0.6 μm	0.8 μm	1.6 μm	2.4 μm	3.2 μm
反射峰值	442 nm	462 nm	481 nm	548 nm	600 nm

【0027】請參閱第8圖，將相同濃度的PS-P2VP溶液塗佈成相同厚度的初始薄膜後，使用不同的極性溶劑進行膨潤，並於相同溫度下進行乾燥，使凝膠態PS-P2VP中的極性溶劑完全揮發，在本試驗中，分別使用具有不同蒸氣壓的甲醇(126 mmHg)、乙醇(75 mmHg)及2-丙醇(43 mmHg)進行膨潤，由於甲醇的揮發速率最快，完全揮發所需時間最短，PS-P2VP薄膜會快速收縮乾燥，使得PS-P2VP固態光子晶體所捕捉的結構色彩波長最短，因此PS-P2VP固態光子晶體的結構色彩波長與極性溶劑的蒸氣壓成反比，該固態光子晶體捕捉的結構色彩波長可使用不

同揮發速率的該極性溶劑進行調控。

【0028】聚苯乙烯鏈段及聚乙烯吡啶鏈段的玻璃轉移溫度( $T_g$ )分別為 $102\text{ }^\circ\text{C}$ 及 $92\text{ }^\circ\text{C}$ ，因此本發明之該固態光子晶體於室溫及 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 高溫環境皆可長時間維持穩定的結構色彩，請參閱第3圖，當該固態光子晶體加熱至高於 $T_g$ 的溫度時(如 $110\text{ }^\circ\text{C}$ )，該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物受熱軟化，使得具有可見光結構色彩的該固態光子晶體回復成無色的該初始薄膜。

【0029】請參閱第9圖，其為PS-P2VP固態光子晶體於熱處理前後的FESEM影像(場效發射式電子顯微鏡，field-emission scanning electron microscope)，a圖為熱處理前的FESEM截面影像，顯示PS-P2VP固態光子晶體內具有因該極性溶劑揮發所形成的奈米多孔結構，b圖為熱處理( $110\text{ }^\circ\text{C}$ ，30秒)後的FESEM截面影像，顯示PS-P2VP固態光子晶體厚度由 $2.9\text{ }\mu\text{m}$ 收縮至 $1.6\text{ }\mu\text{m}$ ，且奈米多孔結構及可見光結構色彩消失，由此可知，本發明之該固態光子晶體加熱至高於 $T_g$ 的溫度即回復成該初始薄膜，結構色彩具有可逆性。

【0030】請參閱第10圖，將PS-P2VP固態光子晶體重複進行10次捕捉/消除結構色彩循環並觀測其反射峰值，結果顯示來回切換後的結構色彩波長相近，表示固態光子晶體的結構色彩具有高度穩定性且可快速切換。此外，本發明之該固態光子晶體亦具有高機械性質及可撓性，彎折後仍呈現穩定的結構色彩，因此可應用於各種光電元件中。

【0031】本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準，任何熟知此項技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內所作之任何變化與修改，均屬於本發明之保護範圍。

## 【符號說明】

### 【0032】

10 固態光子晶體之製備方法

11 準備共聚物溶液

12 塗佈共聚物溶液

13 膨潤初始薄膜

14 乾燥凝膠態薄膜



I680563

公告本

## 【發明摘要】

【中文發明名稱】 固態光子晶體之製備方法

【英文發明名稱】 Method for fabricating solid photonic crystals

## 【中文】

一種固態光子晶體之製備方法，將一聚苯乙烯-聚乙炔吡啶共聚物溶於一含氯溶劑後塗佈成一初始薄膜，該共聚物會自組裝成具週期性的三維網狀結構，接著將該初始薄膜浸泡於一極性溶劑中膨潤該共聚物，以形成一凝膠態薄膜，最後乾燥該凝膠態薄膜以形成一固態光子晶體，於該極性溶劑揮發過程中，聚乙炔吡啶鏈段會轉變為玻璃態並於該凝膠態薄膜表面形成一玻璃態薄層，使得該共聚物之該三維網狀結構保留近似於凝膠態狀態的週期尺寸。

## 【英文】

A method for fabricating solid photonic crystals includes the steps: a PS-PVP copolymer is dissolved in a chloride-containing solvent and is coated as an initial film; the copolymer self-assembles into 3D ordered network-structured morphology with periodicity; the copolymer in the initial film is swollen in a polar solvent to form a solvated film; the solvated film is dried to form a solid photonic crystal. During evaporation of the polar solvent, the PVP block of the copolymer becomes glassy and forms a thin glassy layer on the surface of the solvated film such that the 3D network structure of the copolymer in solvated state can be trapped into the solid photonic crystal revealing similar periodicity and dimension to that in solvated state.

【指定代表圖】 第1圖

【代表圖之符號簡單說明】

10 固態光子晶體之製備方法

11 準備共聚物溶液

12 塗佈共聚物溶液

13 膨潤初始薄膜

14 乾燥凝膠態薄膜

## 【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種固態光子晶體之製備方法，其包含：

準備一共聚物溶液，將一聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物溶於一含氯溶劑中；

塗佈該共聚物溶液，將該共聚物溶液塗佈於一基材以形成一初始薄膜，該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物於該初始薄膜中自組裝成一具有週期性的三維網狀結構；

膨潤該初始薄膜，將該初始薄膜浸泡於一極性溶劑，該極性溶劑用以膨潤該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物，使該初始薄膜轉變為一凝膠態薄膜，其中該凝膠態薄膜中的該三維網狀結構的週期尺寸大於該初始薄膜；以及

乾燥該凝膠態薄膜，使該凝膠態薄膜中的該極性溶劑完全揮發以形成一固態光子晶體，其中於該極性溶劑揮發過程中，該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物中的聚乙烯吡啶鏈段會轉變為玻璃態，使該固態光子晶體的該三維網狀結構的週期尺寸維持於該初始薄膜及該凝膠態薄膜之間。

【第2項】 如申請專利範圍第1項所述之固態光子晶體之製備方法，其中藉由改變該極性溶劑的完全揮發所需時間，調整該固態光子晶體的該三維網狀結構的週期尺寸。

【第3項】 如申請專利範圍第1或2項所述之固態光子晶體之製備方法，其中該固態光子晶體的該三維網狀結構的週期尺寸介於300~700 nm之間。

【第4項】 如申請專利範圍第1項所述之固態光子晶體之製備方法，其中該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物分子量小於500 kg/mol。

【第5項】 如申請專利範圍第1項所述之固態光子晶體之製備方法，其中該聚苯乙烯-聚乙烯吡啶共聚物(PS-PVP)為聚苯乙烯-聚二乙烯吡啶共聚物(PS-P2VP)

或聚苯乙烯-聚四乙烯吡啶共聚物(PS-P4VP)。

【第6項】如申請專利範圍第1項所述之固態光子晶體之製備方法，其中聚苯乙烯佔該聚苯乙烯-聚四乙烯吡啶共聚物總體積的58~67 %。

【第7項】如申請專利範圍第1項所述之固態光子晶體之製備方法，其中該含氯溶劑為三氯甲烷、1,2-二氯乙烷或1,1,2-三氯乙烷。

【第8項】如申請專利範圍第1項所述之固態光子晶體之製備方法，其中該極性溶劑為醇類。

【第9項】如申請專利範圍第1項所述之固態光子晶體之製備方法，其中該極性溶劑為甲醇、乙醇或2-丙醇。

【第10項】如申請專利範圍第1項所述之固態光子晶體之製備方法，其中該三維網狀結構為螺旋二十四面體奈米結構或聯結網狀結構。