



(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 201710177 A

(43) 公開日：中華民國 106 (2017) 年 03 月 16 日

(21) 申請案號：104129747

(22) 申請日：中華民國 104 (2015) 年 09 月 09 日

(51) Int. Cl. :

*B82Y20/00 (2011.01)**G03H1/26 (2006.01)*

(71) 申請人：中央研究院 (中華民國) ACADEMIA SINICA (TW)

臺北市南港區研究院路 2 段 128 號

(72) 發明人：蔡定平 TSAI, DIN PING (TW)；黃耀緯 HUANG, YAO WEI (TW)；陳威廷 CHEN, WEI TING (TW)；王智明 WANG, CHIH MING (TW)

(74) 代理人：郭雨嵐；林發立

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：7 共 23 頁

(54) 名稱

表面電漿全彩影像超穎全像片

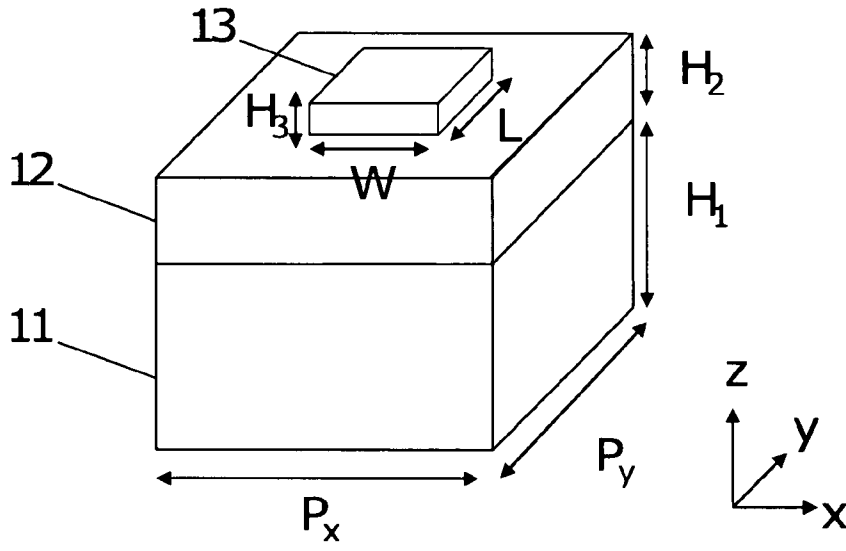
PLASMONIC MULTICOLOR META-HOLOGRAM

(57) 摘要

本發明提供一種適用於可見光頻譜的相位調變之光學元件，其可以三原色產生影像。所述相位調變之光學元件主要由多個金屬奈米柱構成，而這些奈米柱以二維陣列排列並組成多個畫素，且對於紅光、綠光和藍光，皆具有表面電漿共振的特性。藉由調整各陣列之奈米柱的尺寸，其波長相依之反射率隨著可見光頻譜變化，實現所述相位調變之光學元件之多波分工。

A phase-modulated optical component for visible spectrum is provided and is capable of producing image in three primary colors. The phase-modulated optical component is primarily structured by a plurality of aluminum nanorods that are arranged in several two-dimensional arrays that are combined as pixels and characterized with surface plasmonic resonances in red, green and blue. With tuning of the nanorod size of each of the arrays, the wavelength-dependent reflection thereof can be varied across the visible spectrum, fulfilling wavelength division multiplexing for the phase-modulated optical component.

指定代表圖：



符號簡單說明：

- 11 . . . 金屬層
- 12 . . . 介電層
- 13 . . . 奈米柱
- $H_1$  . . . 厚度
- $H_2$  . . . 厚度
- $H_3$  . . . 厚度
- $W$  . . . 寬度
- $L$  . . . 長度
- $P_x$  . . . 邊長
- $P_y$  . . . 邊長

第二圖

201710177

發明摘要

※申請案號：104129747

※申請日：104. 9. 09

※IPC 分類：B82Y 20/00 (2011.01)  
G03H 1/26 (2006.01)

**【發明名稱】**

5 表面電漿全彩影像超穎全像片/PLASMONIC MULTICOLOR  
META-HOLOGRAM

**【中文】**

本發明提供一種適用於可見光頻譜的相位調變之光學元件，其可以三原色產生影像。所述相位調變之光學元件主要由多個金屬奈米柱構成，而這些奈米柱以二維陣列排列並組成多個畫素，且對於紅光、綠光和藍光，皆具有表面電漿共振的特性。藉由調整各陣列之奈米柱的尺寸，其波長相依之反射率隨著可見光頻譜變化，實現所述相位調變之光學元件之多波分工。

15

**【英文】**

A phase-modulated optical component for visible spectrum is provided and is capable of producing image in three primary colors. The phase-modulated optical component is primarily structured by a plurality of aluminum nanorods that are arranged in several two-dimensional arrays that are combined as pixels and characterized with surface plasmonic resonances in red, green and blue. With tuning of the nanorod size of each of the arrays, the wavelength-dependent reflection thereof can be varied across the visible spectrum, fulfilling wavelength division multiplexing for the phase-modulated optical component.

25

**【代表圖】**

**【本案指定代表圖】**：第（二）圖。

## 【本代表圖之符號簡單說明】：

11	金屬層	W	寬度
12	介電層	L	長度
13	奈米柱	$P_x$	邊長
$H_1$	厚度	$P_y$	邊長
$H_2$	厚度		
$H_3$	厚度		

5

## 【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

(無)

# 發明專利說明書

## 【發明名稱】

表面電漿全彩影像超穎全像片/PLASMONIC MULTICOLOR  
5 META-HOLOGRAM

## 【技術領域】

【0001】 本發明涉及一種光學元件，尤其是一種基於奈米電漿結構的相位調變之光學元件。

## 【先前技術】

10 【0002】 電漿超穎材料 (Plasmonic metamaterial) 所製作之光學元件是關於奈米材料及奈米光學的技術領域，主要是利用奈米金屬結構賦予電子達到共振時，所產生的異常光學現象來提供特殊的應用，如負折射率材料、超解析透鏡、相位調制 (phase modification) 以及全像片 (hologram) 等的實現。

15 【0003】 舉例而言，電漿奈米超穎介面 (Plasmonic metasurface) 是利用其介面上所設計的次波長 (sub-wavelength) 奈米結構來調制入射光 (即電磁波) 的相位，藉以達到電磁波波前 (wavefront) 的改變。

20 【0004】 例如，有公開刊物 (D.P. Tsai et al, High-Efficiency Broadband Anomalous Reflection by Gradient Meta-Surfaces, Nano Letters, 2012) 揭露一種由金奈米結構、氟化鎂及金鏡所構成的相位調制之光學元件，其在近紅外光的工作波長具有大幅度的相位調制能力，但對於其他波長的共振表現不佳，無法實現分波多工 (Wavelength Division Multiplexing) 及三原色顯示。

## 25 【發明內容】

【0005】 為了將所述基於奈米電漿結構之光學元件的應用延伸至更短波長，實現三原色顯示，本發明主要目的在於提供一種光學元件，其包含一介電層以及形成在該介電層上的一奈米柱主

陣列。其中，所述奈米柱主陣列形成在該介電層上以定義一畫素，且該奈米柱主陣列係由複數個奈米柱子陣列以二維陣列方式排列所構成。每一個奈米柱子陣列係由複數個奈米柱以二維陣列方式排列所構成，且個別奈米柱子陣列中的奈米柱為相同形狀之矩形柱。每一奈米柱具有一寬度及一長度，該長度延伸的方向為該奈米柱的方向。每一奈米柱子陣列中的所有奈米柱的長度相等，且每一奈米柱子陣列中的該等奈米柱的方向一致。其中，該畫素中該複數個奈米柱子陣列中至少三個奈米柱子陣列中的奈米柱之長度相異。該畫素沿著奈米柱寬度方向包含至少兩奈米柱子陣列，該畫素沿著奈米柱長度方向包含至少兩奈米柱子陣列。該等奈米柱由金屬製成，其具有相對較高的電漿共振頻率，使得工作頻譜延伸至更短波長。

【0006】 基於上述光學元件，本發明更提供一種顯示裝置，其包含一光源及所述光學元件。該光源投射一極化光至該光學元件。該光學元件投射出一影像以回應入射該光學元件之極化光，該影像與該等畫素的排列有關，該影像的顏色由該光源及該等畫素中的該等奈米柱子陣列中的奈米柱長度所決定。

【0007】 本發明的其他特徵和優點將通過下述實施方式以及申請專利範圍變得明顯。

## 20 【圖式簡單說明】

【0008】 第一圖為推倒廣義 Snell's Law 的示意圖。

【0009】 第二圖例示本發明奈米光學元件的共振單元。

【0010】 第三 A 圖為本發明奈米光學元件的奈米柱主陣列及子陣列示意圖。

25 【0011】 第三 B 圖為 SEM 影像，例示第二圖共振單元所構成的奈米光學元件的表面陣列，其中  $\Lambda$  為一個畫素的邊長。

【0012】 第四 (a) 圖至第四 (c) 圖，例示本發明奈米光學

元件所呈現的異常反射係數及其相位調變，依據不同奈米柱長度  $L$  及不同波長而變化。

【0013】 第五圖為示意圖，例示一影像重建系統，用以重建本發明奈米光學元件中所記錄之影像。

5       【0014】 第六（a）圖至第六（c）圖例示一系列本發明奈米光學元件之重建影像，由  $y$  方向極化光束（包含紅光、綠光及藍光光源）所重建。

10       【0015】 第六（f）圖至第六（h）圖例示一系列本發明奈米光學元件之重建影像，分別由  $y$  方向極化光束、 $45^\circ$  極化光束以及  $x$  方向極化光束所重建。

【0016】 第七（a）圖至第七（c）圖例示本發明奈米光學元件的異常反射係數與其奈米柱長度於不同工作波長下的關係，以及 SEM 的反射影像。

### 【實施方式】

15       【0017】 本發明所例示之奈米光學元件即為一種超穎介面的型態。在該介面上通常具有數個周期性排列地奈米金屬結構，而這些金屬結構的設計與其排列方式與電磁波的相位調制有關。當電磁波入射至該介面上，奈米金屬結構因而受激發而產生電漿共振響應，使金屬結構進一步輻射出電磁波。由奈米金屬結構輻射  
20       出的電磁波，其強度及相位皆已受到改變，並遵守廣義 Snell's Law 的定律進行傳播。

【0018】 廣義 Snell's Law

25       【0019】 參閱第一圖所示，就超穎介面而言，由兩個介質所定義的介面上的人造結構（如本發明之奈米金屬結構）提供了電磁波相位的改變，如兩入射光在介面上的相位分別表示為  $\Phi$  及  $\Phi+d\Phi$ ，其中  $\Phi$  可表示為位置  $x$  的函數。依據動量守恆定律，入射光由 A 點傳播至 B 點的行為可表示成以下方程式：

$$[k_0 n_1 \sin \theta_i dx + (\Phi + d\Phi)] - [k_0 n_2 \sin \theta_r + \Phi] = 0$$

$$\Rightarrow \sin(\theta_r) n_2 - \sin(\theta_i) n_1 - \left(\frac{\lambda_0}{2\pi}\right) \frac{d\Phi}{dx} \dots\dots\dots(1) ,$$

其中， $\theta_i$  和  $\theta_r$  分別為折射角和反射角， $n_1$  和  $n_2$  分別為入射空間的折射率和折射空間的折射率。

- 5           **【0020】** 另外，與方程式（1）相似，就該介面而言，該入射光與其反射光（若反射角為  $\theta_r$ ）的關係可表示成以下方程式：

$$\sin(\theta_r) - \sin(\theta_i) = \left(\frac{\lambda_0}{2\pi n_1}\right) \frac{d\Phi}{dx} \dots\dots\dots(2) .$$

- 10           **【0021】** 將方程式（2）等號的左右兩邊分別乘上入射波的波向量  $k_i$ ，則方程式（2）轉變為介面上水平分量之波向量的手守恆關係，表示成以下方程式：

$$k_{r,x} = k_{i,x} + \xi \dots\dots\dots(3.1)$$

$$k_{i,x} = k_i \sin \theta_i \dots\dots\dots(3.2)$$

$$k_{r,x} = k_i \sin \theta_r \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\xi = n_1 \left(\frac{d\Phi}{dx}\right) \dots\dots\dots(3.4) ,$$

- 15 其中， $k_{r,x}$  為反射波沿著  $x$  方向的水平動量， $k_{i,x}$  為入射波沿著  $x$  方向的水平動量， $\xi$  為與相位變化率有關之數值，此數值與介面的上的距離變化（ $d\Phi/dx$ ）有關。換言之，在兩相異介質的交介面上，若沿著水平面方向（ $x$ ）的電磁波相位隨距離之變化不為零，則根據方程式（3）的條件，反射波的波向量的水平分量，可為入射波的波向量的水平分量以及與該介面結構有關的水平動量之總和。因此，入射角與反射角不相等，產生異常反射（anomalous reflection）。

- 20           **【0022】** 當然，對一入射超穎介面之電磁波而言，可能同時存在正常反射及異常反射。以下實施例之說明，除非特別指明，



否則所述反射皆指本發明奈米光學元件的異常反射。

**【0023】 奈米光學元件之設計**

**【0024】** 同時參閱第二圖及第三 A 圖至第三 B 圖，其例示本發明奈米光學元件之一實施例的堆疊結構及其陣列。第二圖顯示本發明奈米光學元件能夠產生共振的最小單元 (unit cell)，此處稱共振單元。共振單元為一堆疊結構，包含一金屬層 11、一介電層 12 及一奈米柱 13。金屬層 11 為具有厚度  $H_1$  的均勻層，且該金屬層 11 的一面為所述光學元件提供一反射面。一般而言，金屬層 11 的厚度  $H_1$  小於可見光波長，較佳範圍可介於 100nm 至 200nm 之間，例如可為 130 nm。金屬層 11 的材質可視該光學元件的工作波長而選用適合的金屬，較佳可為具有高頻電漿共振的金屬或半導體，例如鋁、銀或電容率 (permittivity) 小於零的半導體。

**【0025】** 介電層 12 形成於金屬層 11 的一側。例如，介電層 12 可形成於金屬層 11 的反射面上。介電層 12 為具有厚度  $H_2$  的均勻層，其中厚度  $H_2$  小於可見光的波長，較佳範圍可介於 5nm 至 100nm 之間，例如可為 30 nm。介電層 12 一般為透明材質 (針對可見光)，其可選自絕緣體或電容率大於零的半導體，例如可為氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ )、氟化鎂 ( $\text{MgF}_2$ )、氧化鋁 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、二氧化鈦 ( $\text{HfO}_2$ ) 等。上述電容率小於零的一些半導體，其光學性質如同金屬；而電容率大於零的一些半導體，其光學性質如同介電質。介電層 12 具有一承載面，其相對於介電層 12 與金屬層 11 的結合面。介電層 12 的承載面上可形成有一或多個奈米柱 13，如第三 A 圖。

**【0026】** 如第二圖所示，共振單元的水平尺寸可由延伸於  $x$  方向上的邊長  $P_x$  與延伸於  $y$  方向上的  $P_y$  定義，例如  $P_x=P_y=200$  nm。一般而言， $P_x$  及/或  $P_y$  小於兩倍的工作波長。奈米柱 13 由一長度  $L$ 、一寬度  $W$  及一厚度  $H_3$  所定義，其中長度  $L$  大致平行於  $P_y$  且小於  $P_y$ ，寬度  $W$  大致平行於  $P_x$  且小於  $P_x$ 。因此，奈米柱 13 的佔據面積不超過由  $P_x$  與  $P_y$  定義的面積。一般而言， $L \geq W > H_3$ 。厚

度  $H_3$  小於可見光的波長，較佳範圍可介於 10nm 至 100nm 之間。  
L 可介於 50 nm 至 180 nm 之間，W 為 50 nm， $H_3$  為 25nm。如第  
二圖所示之奈米柱 13 大致為矩形，其長度方向與寬度方向與入射  
電磁波引起的電漿共振方向有關。在本發明其他實施例中，奈米  
5 柱 13 的體積可由其他邊長定義，例如由一厚度及一周長定義。奈  
米柱 13 的材料選自金屬，如鋁、銀、金或半導體等，尤其鋁賦予  
奈米柱 13 的電漿共振頻譜涵蓋可見光的範圍（400 nm-700 nm），  
甚至擴及至近紅外光及紫外光。

【0027】 在其他實施例中，本發明奈米光學元可包含其他層  
10 結構，例如基板或是基板與金屬層 13 之間的緩衝層。上述奈米光  
學元件中的層結構可經由電子束微影（e-beam lithography）、奈米  
壓印（nanoimprint lithography）或離子束加工（ion beam milling）  
等慣用手段達成，故不再此贅述。

【0028】 如第三 A 圖，本發明光學元件具有一陣列結構，其  
15 由多個如第二圖所示之共振單元構成。所述陣列具有複數個奈米  
柱主陣列 2，而每個奈米柱主陣列 2 又包含複數個子陣列 20，每  
個子陣列 20 包含多個具有相同尺寸之奈米柱 13。即在該子陣列  
20 中的所有奈米柱 13 具有相同的長度 L 且在 x 和 y 方向上呈週  
期排列，如圖所示為 4×4 二維陣列之奈米柱設置於每個子陣列 20  
20 中。每個子陣列 20 的邊長為共振單元邊長  $P_x$  或  $P_y$  的總和，如  $P_x =$   
200 nm，則 4×4 二維陣列奈米柱構成的子陣列 20 的邊長為 800 nm。  
子陣列 20 中的奈米柱 13 具有大致上一致的方向性。此方向一致  
性賦予子陣列 20 具有特定方向上的共振效果，藉此調制入射波的  
反射率及相位延遲。關於奈米柱長度 L 與工作波長之間的關係，  
25 尤其是反射率及相位調制，將於後續段落說明。

【0029】 本發明奈米光學元件包含多個畫素（即奈米柱主陣  
列 2），該等畫素與記錄在光學元件中的圖案有關。一個畫素是由  
複數個子陣列 20 所組成之主陣列 2 所定義，該畫素可具有至少三  
個相異長度奈米柱陣列之子陣列（如圖示為 2×2 二維陣列，其中

三個子陣列各自的奈米柱長度  $L$  皆不同)。該光學元件的表面的一部分佈滿多個奈米柱 13，其沿著  $x$  方向和  $y$  方向呈現週期性排列。該光學元件的表面可具有數列 $\times$ 數欄的奈米柱 13 陣列。該光學元件可包含或由數列 $\times$ 數欄之共振單元所組成。所述子陣列中的每個奈米柱 13 具有大致相同的寬度  $W$  及厚度  $H_3$ 。每個奈米柱 13 座落於各自的共振單元的區域（即由  $P_x$  和  $P_y$  所定義）。在  $x$  方向上，兩個相鄰的奈米柱 13 之間的時間隔為  $P_x$ ，因此沿著  $x$  方向上的奈米柱 13 為周期性地排列。所述主陣列包含有至少兩長度  $L$  相異之奈米柱 13。

10       **【0030】** 第三 B 圖為 SEM 影像，顯示本發明光學元件的部分陣列的俯視圖，其比例尺為 500 nm。第三 B 圖所示之畫素是由  $2\times 2$  二維陣列個相鄰子陣列 20 (R)、20 (G)、20 (B) 及 20 (R)' 所組成，亦即該畫素沿著奈米柱寬度方向包含至少兩子陣列，該畫素沿著奈米柱長度方向包含至少兩子陣列。雖未顯示，但該畫素之子陣列亦可有  $2\times 3$  或  $3\times 4$  二維陣列等組合。這些子陣列 20 (R)、20 (G)、20 (B) 及 20 (R)'，依據其光學特性（即電漿共振特性），可分為紅色子陣列 20 (R) 與 20 (R)'、藍色子陣列 20 (B) 及綠色子陣列 20 (G)。其中，就紅色子陣列而言，20 (R) 與 20 (R)' 各自具有相同的奈米柱長度，此設計是為因應紅色子陣列的反射較綠、藍色子陣列低的原因。子陣列的工作波長與其頻譜分布有關，相關說明如第七圖所示。

25       **【0031】** 如圖所示，該畫素佔據  $\Lambda\times\Lambda$  ( $1600\times 1600$  nm<sup>2</sup>) 的面積，且由  $2\times 2$  二維陣列子陣列 20 (R)、20 (G)、20 (B) 及 20 (R)' 組成，每個子陣列又由  $4\times 4$  二維陣列奈米柱組成。在本發明其他實施例中，畫素可由更多的子陣列所組成，甚至可具有三種以上之奈米柱長度。

**【0032】** 在本發明的一些實施例中，依據子陣列的光學特性或共振特性，本發明奈米光學元件可具有多個紅色子陣列、多個綠色子陣列及多個藍色子陣列。該等紅色子陣列又分為兩種奈米

柱長度  $L$  之子陣列，且這兩種長度的奈米柱分別構成不同的子陣列（如第三 B 圖所示）。同樣地，其他該等綠色子陣列及該等藍色子陣列也可分別具有兩種奈米柱長度  $L$  之子陣列。藉此安排，本發明奈米光學元件被賦予二階相位調變（two-level phase modulation）的能力。亦即，對於每個單色的工作波長而言，本發明光學元件可提供兩個相異的共振模態。若以三原色的工作波長而言，本發明奈米光學元件可提供六個相異的共振模態。

【0033】 參閱第四（a）及四（b）圖所示，分別例示反射頻譜、相位皆為奈米柱長度  $L$  的函數（此處  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、 $W$  皆為定值），且共振範圍可涵蓋 375 nm 至 800 nm。此處的反射係數與反射波的振幅有關。相位大小與反射波的反射角有關（即前述  $\theta_r$ ），其原因在於相位的改變、延遲會影響反射波波前的傳遞。根據反射頻譜及相位的分布，本發明奈米光學元件的反射係數及其相位控制，可由奈米柱長度  $L$  而決定。如圖所例示，藍色圓點、綠色三角形及紅色方形之分布，代表本發明光學元件的一種設計選擇。

【0034】 舉例而言，兩藍色圓點分別指出  $L=55$  nm 和 70 nm 的奈米柱，且由兩者構成之共振單元（如第二圖）或子陣列（如第三圖），針對特定的藍光工作波長，可產生相位差約  $\pi$  為的共振效果。相似地，綠色三角形分別指出  $L=84$  nm 和 104 nm 的奈米柱，而紅色方形分別指出  $L=113$  nm 和 128 nm 的奈米柱。藉此設計，本發明的光學元件可提供六個電漿共振模態。當然，基於奈米柱長度  $L$  的選擇，本發明光學元件可提供更多的共振模態。再者，奈米柱長度  $L$  的方向性可視特殊情況而設計。例如第三圖中，一部分子陣列中的奈米柱長度  $L$  可沿著  $x$  方向延伸，其他部分子陣列中的奈米柱長度  $L$  沿著  $y$  方向延伸，或者相異子陣列中的奈米柱彼此可具有一夾角，藉此本發明奈米光學元件可產生更多的電漿共振方向。

【0035】 參閱第四（c）圖，其例示工作波長鎖在 405 nm、

532 nm 及 658 nm 時，其反射係數及相位的關係。當奈米柱長度  $L$  介於 55-70 nm 之間，波長 405 nm 有最低的反射係數；當奈米柱長度  $L$  介於 84-104 nm 之間，波長 532 nm 有最低的反射係數；當奈米柱長度  $L$  介於 113-128 nm 之間，波長 658 nm 有最低反射係數。

【0036】 由第四圖可知，對於整個可見光頻譜而言，每個共振單元或子陣列所呈現的反射以及相位偏移，隨著奈米柱的長度  $L$  而呈非線性變化。而這樣的非線性變化可由奈米柱的尺寸、奈米柱陣列的安排及/或介電層和金屬層的選用而決定。

10 【0037】 具體而言，本發明奈米光學元件可為一種具有超穎介面的反射鏡。圖形的儲存是利用多個相異子陣列構成的多個畫素的排列而建立。

#### 【0038】 影像重建

15 【0039】 第五圖例示一影像重建系統，用以重建本發明奈米光學元件中所記錄之影像。該系統利用三個雷射二極體 50、51、52 產生波長分別為 405 nm、532 nm 及 658 nm 的雷射光束，作為影像重建的工作波長。該等光束先後經由一第一分色 53 鏡 (dichromic mirror) 及一第二分色鏡 54 結合成一光束。光束調整元件 55 包含至少兩透鏡及一針孔 (pin hole) 用以調整結合的光束光點大小 (spot size)。極化調制元件 56 包括極化器 (polarizer)、四分之一波片及濾波片，用以控制光束的線性極化方向。線性極化後的光束經由聚焦透鏡 57 透射至其聚焦平面上。該聚焦平面與本發明奈米光學元件的超穎介面重疊。經相位調制後所反射出的影像 (或重建影像) 被感光元件 58 記錄並處理。

25 【0040】 第六 (a) 圖至第六 (b) 圖例示根據上述系統及第三圖之配置，分別在  $y$  極化的工作波長 405nm、532nm 和 658nm 下，所獲得的重建影像。針對各工作波長所建構的子陣列，如 20 (R)、20 (G)、20 (B)，依據所對應的人射光波長而重建出特定

的影像。這些影像與所述畫素的安排有關。

【0041】 第六（d）圖至第六（f）圖例示根據上述系統及第三圖之配置，分別在 y 極化、45°極化及 x 極化的混合工作波長下，所獲得的重建影像。值得注意的是，當入射光的極化從 y 方向逐漸轉向 x 方向，重建影像也逐漸消失。用於重建影像之入射光極化方向可由奈米柱的長邊 L 方向所決定。

【0042】 鋁奈米柱 vs.反射頻譜

【0043】 由前述說明可了解，本發明所提供之鋁奈米柱將超穎介面的工作頻譜延伸至 375 nm，實現可見光頻譜的應用。另外，奈米光學元件的反射頻譜分布由奈米柱的尺寸決定，尤其是由奈米柱的長邊 L 決定。

【0044】 第七（a）圖至七（c）圖示範相異奈米柱子陣列的光學元件的光學特性。七（b）圖的一系列 SEM 影像顯示六種奈米柱子陣列的一部分。所述奈米柱子陣列是基於 30 nm 厚的氧化矽介電層以及 130 nm 厚的鋁金屬層所形成。其中，這些 SEM 影像(比例尺為 200 nm)由頂部至底部分別顯示  $L_1=55\text{ nm}$ 、 $L_2=70\text{ nm}$ 、 $L_3=84\text{ nm}$ 、 $L_4=104\text{ nm}$ 、 $L_5=113\text{ nm}$ 、 $L_6=126\text{ nm}$  之奈米柱子陣列，並分別對應至第七（a）圖的反射率頻譜及第七（c）圖的反射影像。七（c）圖（比例尺為 20  $\mu\text{m}$ ）顯示基於七（b）圖之光學元件的反射影像。

【0045】 可見光反射頻譜的谷值隨奈米柱的長度 L 增加而往長波長偏移，致使其對應的反射影像顏色為其共振波長顏色的互補色，由頂部至底部從黃色變為橘色，再從藍色變為青綠色(cyan)。換句話說，奈米柱子陣列（如前述子陣列 20）的顏色可由奈米柱的長度所決定。舉例而言，但非限制本發明之範疇，L 介於 55 至 84 nm 時（包含 55 至 70 nm 及 70 至 84 nm），奈米柱子陣列反射黃色至橘色；L 介於 104 至 128 nm（包含 104 至 113 nm 及 113 至 128 nm）時，奈米柱子陣列反射藍色至青綠色。圖示雖未揭露，

但該領域具有通常知識者應了解，奈米柱的寬度、厚度或奈米柱子陣列的密度也可能是影像反射頻譜的因素之一。此處所示之奈米柱長度與顏色的關係並非限制本發明。在其他實施例中，即使具有相同的奈米柱長度，依據不同的陣列態樣或材質之選用皆會使奈米柱陣列的共振頻譜產生偏移。

【0046】 本發明所提供之奈米光學元件，利用鋁奈米柱的高頻電漿共振將元件的應用擴展至藍光頻譜。另外，本發明所提供之奈米光學元件可應用於全像片（hologram），其係利用奈米柱的長度  $L$  變化所建構出針對特定工作波長的子陣列或畫素，再由這些畫素建構出與各工作波長有關的圖案，實現波長多工影像的重建。本發明所提供之奈米光學元件所重建的影像，基於相異的工作波長以特定的反射角而分散，投射出特有的圖案分布，因此，亦可用於全彩的防偽標籤之製作。再者，基於多波分工的特性，本發明奈米光學元件亦可適用於顯示器，例如全彩顯示或全彩投影。再者，本發明所應用之全相片可為「2 階相位全像片」，意即該全像片針對一種顏色需要兩種不同長度的奈米柱，藉此可針對單一顏色達到相位差  $\pi$  (180 度) 的調變。若是「3 階相位全像片」，則針對一種顏色需要三種不同長度的奈米柱，各相位差可達  $2\pi/3$  (120 度)；若是「4 階相位全像片」，則針對一種顏色需要四種不同長度的奈米柱，各相位差可達  $\pi/2$  (90 度)。其他階之相位全像片與相位差調變的關係，可依該發明所屬領域之通常知識來推得。

【0047】 上述實施例及其他實施例在以下申請專利範圍的範疇內皆為顯而易知。

## 【符號說明】

11	金屬層	50	雷射二極體（藍光）
12	介電層	51	雷射二極體（綠光）

13	奈米柱	52	雷射二極體（紅光）
2	畫素（主陣列）	53	第一分色
20	子陣列	54	第二分色鏡
20（R）	子陣列（紅色）	55	光束調整元件
20（G）	子陣列（綠色）	56	極化調制元件
20（B）	子陣列（藍色）	57	聚焦透鏡
20（R）'	子陣列（紅色）	58	感光元件
H <sub>1</sub>	厚度		
H <sub>2</sub>	厚度		
H <sub>3</sub>	厚度		
W	寬度		
L	長度		
P <sub>x</sub>	邊長		
P <sub>y</sub>	邊長		



## 申請專利範圍

1. 一種光學元件，包含：

一介電層；及

5 一奈米柱主陣列，其形成在該介電層上以定義一畫素，且該奈米柱主陣列係由複數個奈米柱子陣列以二維陣列方式排列所構成；

其中，每一個奈米柱子陣列係由複數個奈米柱以二維陣列方式排列所構成，且個別奈米柱子陣列中的奈米柱為相同形狀之矩形  
10 柱，

其中，該複數個奈米柱子陣列中至少三個奈米柱子陣列中的奈米柱之長度相異。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之光學元件，其中該等奈米柱由金屬製成。

15 3. 如申請專利範圍第 2 項所述之光學元件，其中該等奈米柱由鋁、銀、金或半導體所製成。

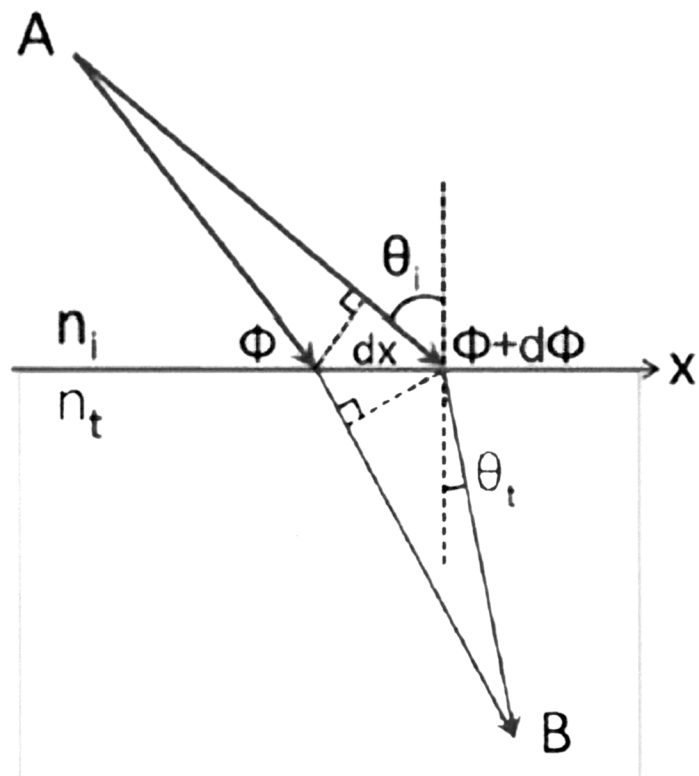
4. 如申請專利範圍第 1 項所述之光學元件，進一步包含一金屬層，該介電層係形成於該金屬層上。

5. 如申請專利範圍第 4 項所述之光學元件，其中該金屬層由鋁製  
20 成。

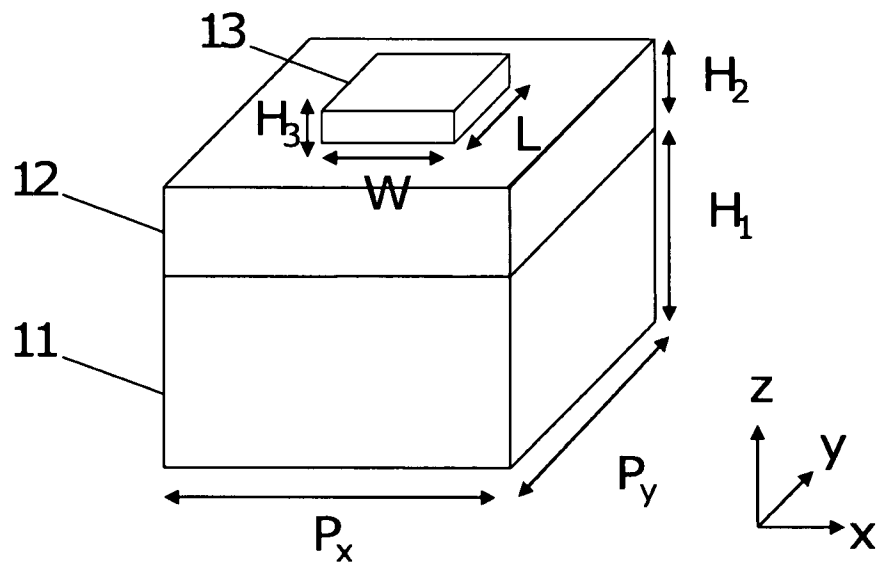
6. 如申請專利範圍第 1 項所述之光學元件，其中該介電層由氧化矽、氟化鎂、氧化鋁或二氧化鈣所製成。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之光學元件，其中該複數個奈米柱子陣列之數量為四個。
8. 如申請專利範圍第 1 項所述之光學元件，其中每一個奈米柱子陣列的工作波長由該奈米柱子陣列中的奈米柱之長度所決定。
- 5 9. 一種顯示裝置，包含：  
一光學元件，包含：  
    一介電層；及  
    複數個奈米柱主陣列，其形成在該介電層上以定義複數個畫素，  
    每一個奈米柱主陣列定義一個畫素，每一畫素係由複數個奈米柱  
10 子陣列以二維陣列方式排列所構成；  
    其中，每一個奈米柱子陣列係由複數個奈米柱以二維陣列方式  
    排列所構成，且個別奈米柱子陣列中的奈米柱為相同形狀之矩形  
    柱，  
    其中，該複數個奈米柱子陣列中至少三個奈米柱子陣列中的  
15 奈米柱之長度相異；以及  
    一光源，投射一極化光至該光學元件，  
    其中，該光學元件投射出一影像以回應入射該光學元件之極化光，  
    該影像與該等畫素的排列有關，該影像的顏色由該光源及該等畫  
    素中的該等奈米柱陣列中的奈米柱長度所決定。
- 20 10. 如申請專利範圍第 9 項所述之顯示裝置，其中該光源為紅光、  
藍光、綠光或三者之組合。

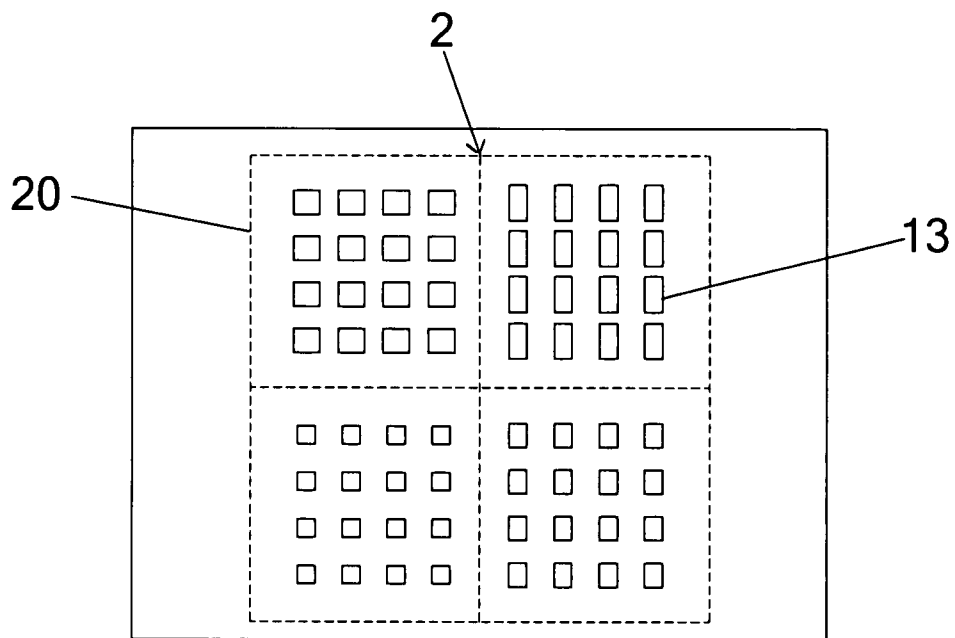
圖式



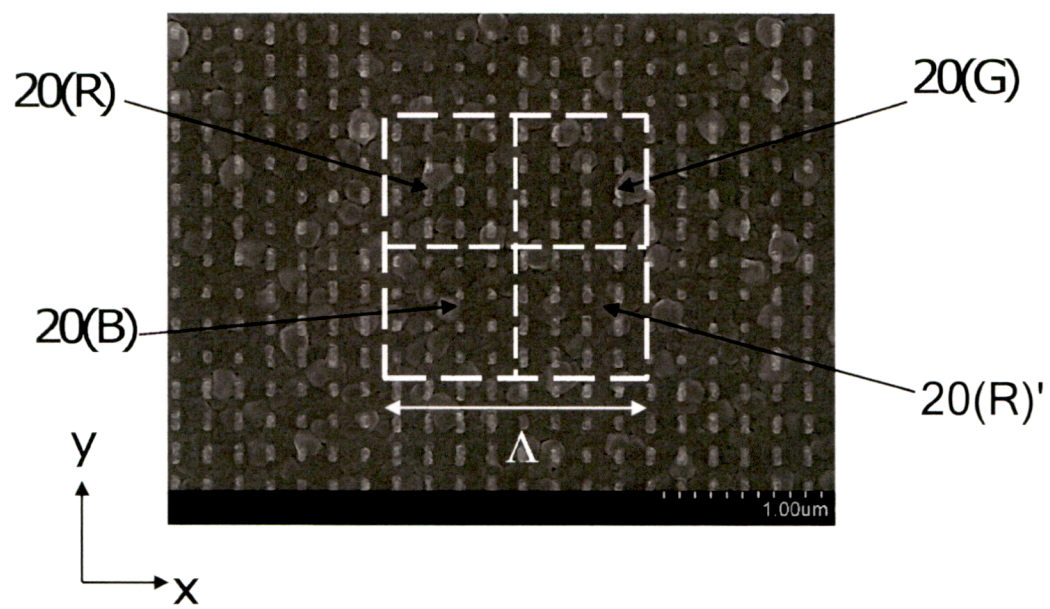
第一圖



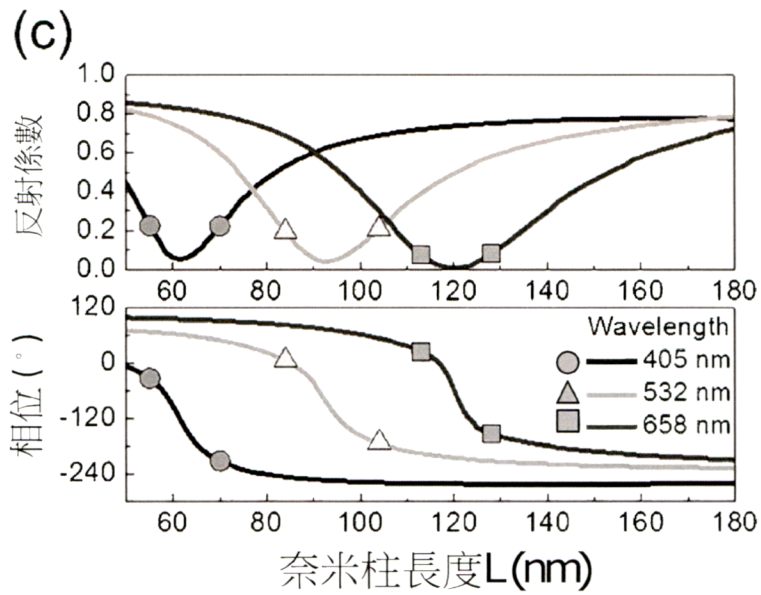
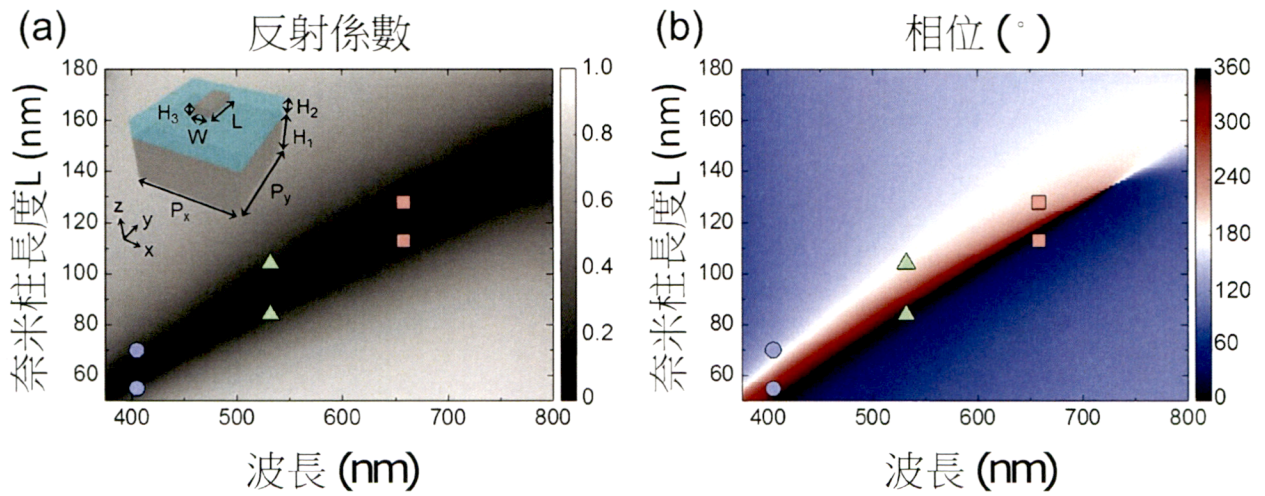
第二圖



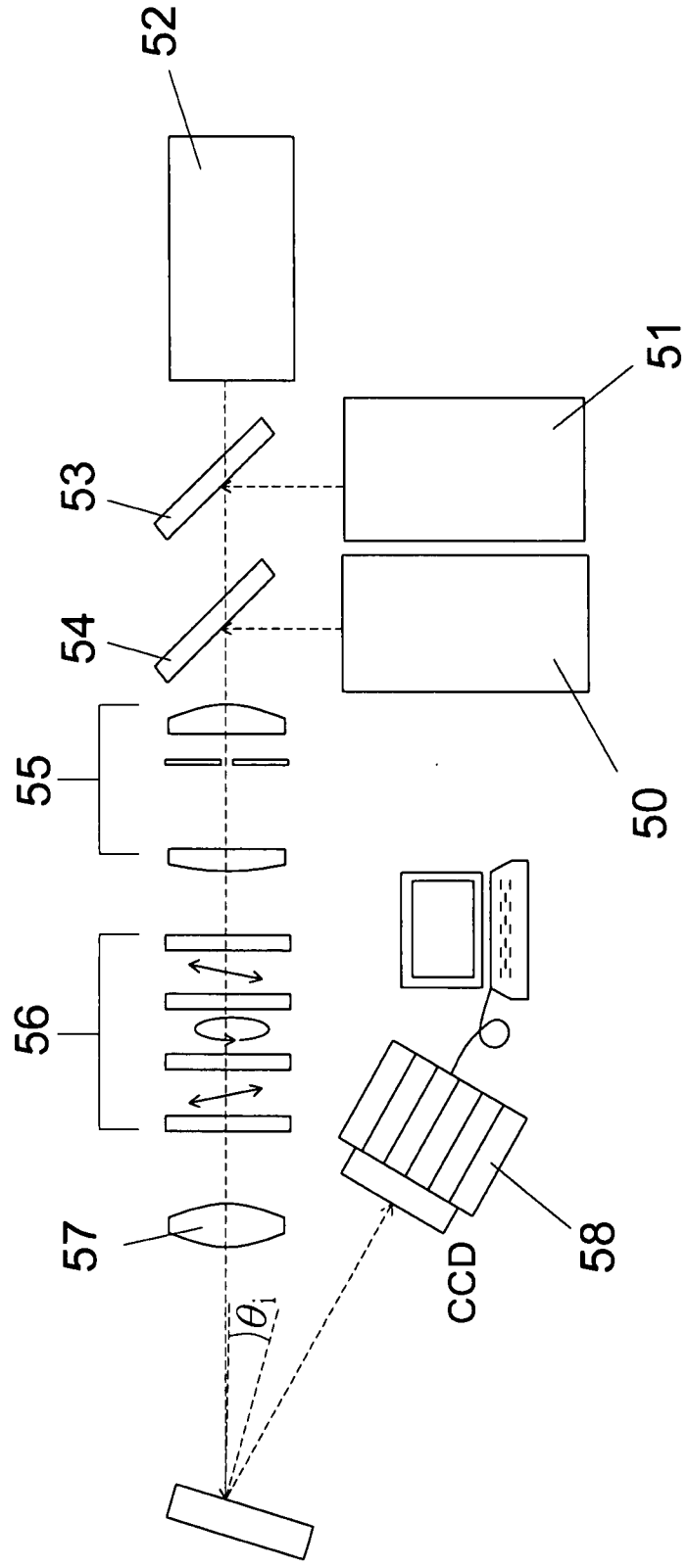
第三A圖



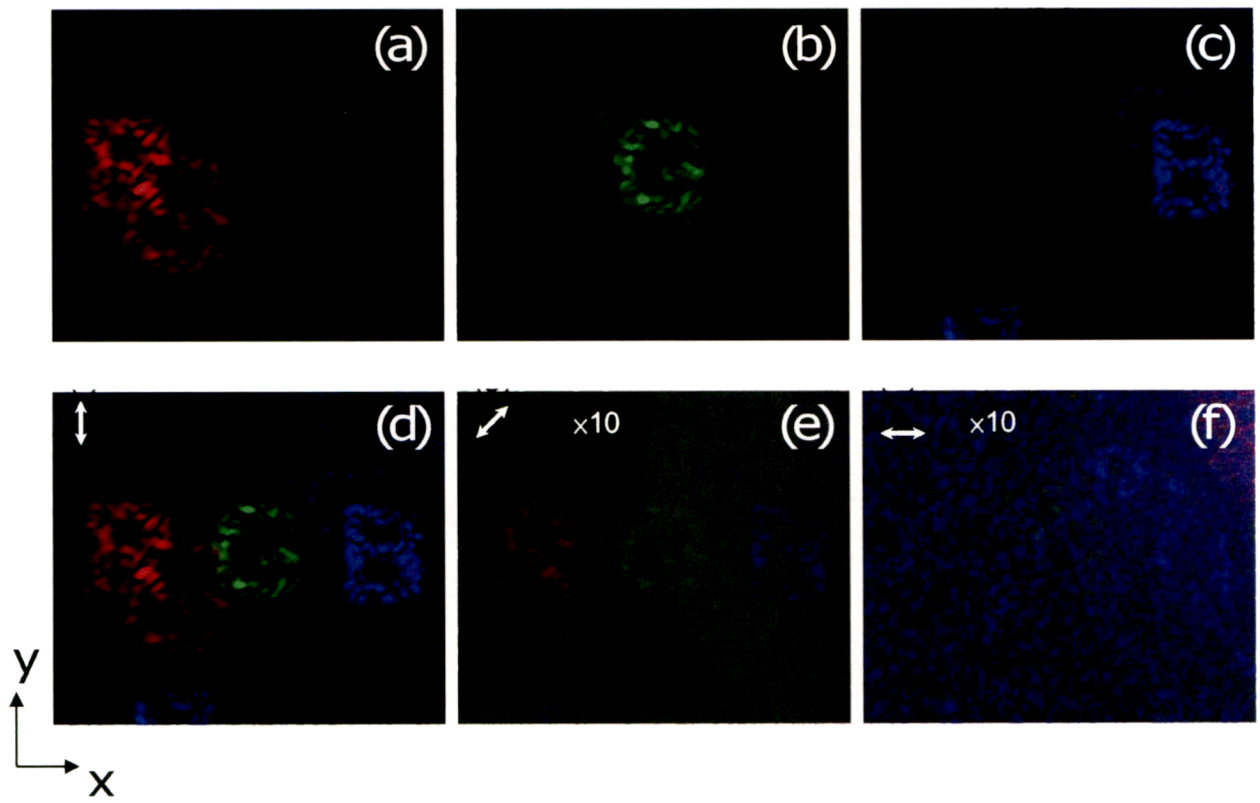
第三B圖



第四圖

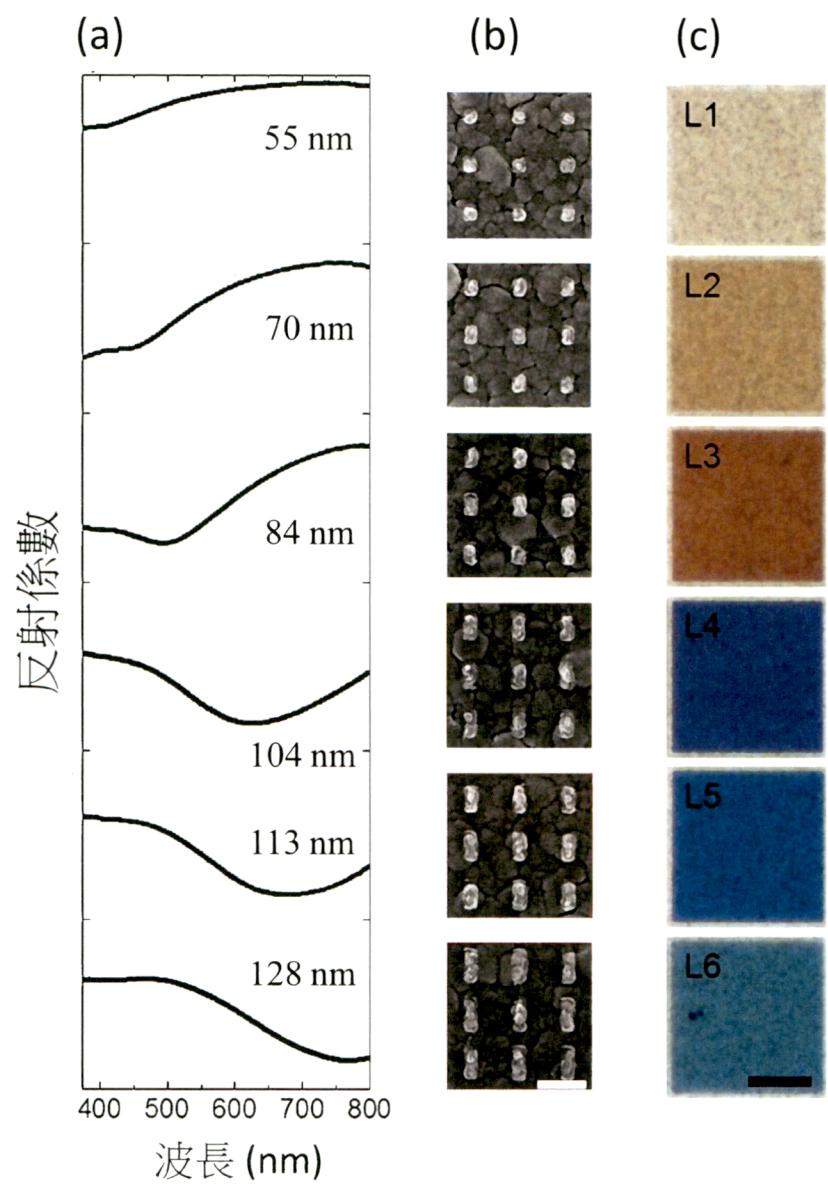


第五圖



第六圖





第七圖

元件所呈現的異常反射係數及其相位調變，依據不同奈米柱長度  $L$  及不同波長而變化。

【0013】 第五圖為示意圖，例示一影像重建系統，用以重建本發明奈米光學元件中所記錄之影像。

5       【0014】 第六（a）圖至第六（c）圖例示一系列本發明奈米光學元件之重建影像，由  $y$  方向極化光束（包含紅光、綠光及藍光光源）所重建。

●       【0015】 第六（d）圖至第六（f）圖例示一系列本發明奈米光學元件之重建影像，分別由  $y$  方向極化光束、 $45^\circ$  極化光束以及  
10       $x$  方向極化光束所重建。

【0016】 第七（a）圖至第七（c）圖例示本發明奈米光學元件的異常反射係數與其奈米柱長度於不同工作波長下的關係，以及 SEM 的反射影像。

### 【實施方式】

15       【0017】 本發明所例示之奈米光學元件即為一種超穎介面的型態。在該介面上通常具有數個周期性排列地奈米金屬結構，而這些金屬結構的設計與其排列方式與電磁波的相位調制有關。當  
●       電磁波入射至該介面上，奈米金屬結構因而受激發而產生電漿共振響應，使金屬結構進一步輻射出電磁波。由奈米金屬結構輻射  
20      出的電磁波，其強度及相位皆已受到改變，並遵守廣義 Snell's Law 的定律進行傳播。

【0018】 廣義 Snell's Law

25       【0019】 參閱第一圖所示，就超穎介面而言，由兩個介質所定義的介面上的人造結構（如本發明之奈米金屬結構）提供了電磁波相位的改變，如兩入射光在介面上的相位分別表示為  $\Phi$  及  $\Phi+d\Phi$ ，其中  $\Phi$  可表示為位置  $x$  的函數。依據動量守恆定律，入射光由 A 點傳播至 B 點的行為可表示成以下方程式：

$$[k_0 n_t \sin \theta_t dx + (\Phi + d\Phi)] - [k_0 n_r \sin \theta_r + \Phi] = 0$$

$$\Rightarrow \sin(\theta_t) n_t - \sin(\theta_r) n_r = \left(\frac{\lambda_0}{2\pi}\right) \frac{d\Phi}{dx} \quad \dots\dots\dots(1)$$

其中， $\theta_t$  和  $\theta_r$  分別為折射角和反射角， $n_t$  和  $n_r$  分別為入射空間的折射率和反射空間的折射率。

- 5       **【0020】** 另外，與方程式（1）相似，就該介面而言，該入射光與其反射光（若反射角為  $\theta_r$ ）的關係可表示成以下方程式：

$$\sin(\theta_t) - \sin(\theta_r) = \left(\frac{\lambda_0}{2\pi n_t}\right) \frac{d\Phi}{dx} \quad \dots\dots\dots(2)$$

- 10       **【0021】** 將方程式（2）等號的左右兩邊分別乘上入射波的波向量  $k_t$ ，則方程式（2）轉變為介面上水平分量之波向量的守恆關係，表示成以下方程式：

$$k_{r,x} = k_{t,x} + \xi \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

$$k_{t,x} = k_t \sin \theta_t \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$k_{r,x} = k_r \sin \theta_r \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\xi = n_t \left(\frac{d\Phi}{dx}\right) \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

- 15       其中， $k_{r,x}$  為反射波沿著  $x$  方向的水平動量， $k_{t,x}$  為入射波沿著  $x$  方向的水平動量， $\xi$  為與相位變化率有關之數值，此數值與介面的上的距離變化（ $d\Phi/dx$ ）有關。換言之，在兩相異介質的交介面上，若沿著水平面方向（ $x$ ）的電磁波相位隨距離之變化不為零，則根據方程式（3）的條件，反射波的波向量的水平分量，可為入射波的波向量的水平分量以及與該介面結構有關的水平動量之總和。因此，入射角與反射角不相等，產生異常反射（anomalous reflection）。

- 20       **【0022】** 當然，對一入射超穎介面之電磁波而言，可能同時存在正常反射及異常反射。以下實施例之說明，除非特別指明，