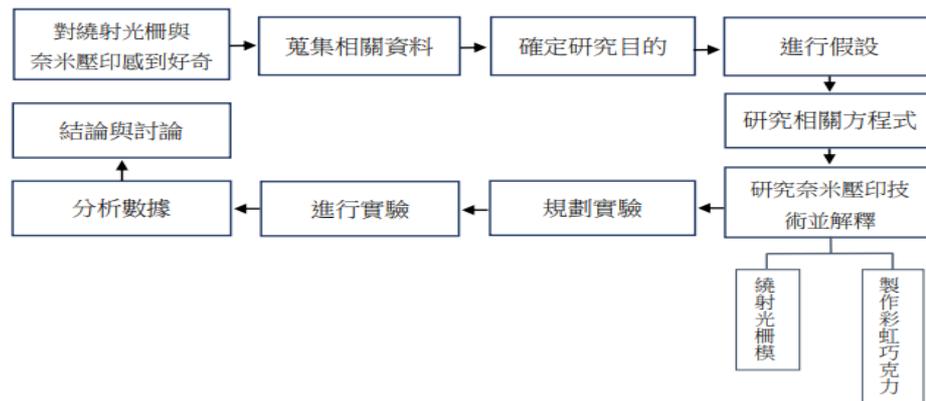


# 2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 成果報告表單

<b>題目名稱：光學饗宴-從奈米壓印技術探究繞射光柵與奇妙的光學效應</b>
<b>一、摘要</b> <p>本研究在探討半導體製作過程中用以製作奈米等級紋理與結構的關鍵技術 - 奈米壓印，此技術現已成為半導體工業中不可或缺的技术。此類壓印技術亦可廣泛應用於光學、儲存等領域。繞射光柵上的紋理也是利用壓印技術將條紋或如同三稜鏡紋理結構的縮小到微奈米的尺度。因此本研究將透過繞射光柵的現象讓大眾與師生能更深入地了解壓印技術的原理，同時以簡單明瞭的方式說明繞射光柵的原理與相關方程式。而後利用壓印技術，將繞射光柵的紋理轉印於巧克力，使巧克力表面產生五彩斑斕的彩虹光澤。</p>
<b>二、探究題目與動機</b> <p>繞射光柵在光學領域中可作為分光器，由無數平行的微米級一維、二維線性結構所組成。光柵繞射所形成的圖樣會依光通過不同密度或排列方式而有所不同，具微米級紋理則如同奈米壓印製作的，這項技術難以觀看與操作，因此將透過繞射光柵解釋奈米壓印。將用類似奈米壓印的技術在巧克力表面轉印微結構，製造出彩虹光澤的巧克力。同時我們發現繞射光柵的密度和光柵數量無法肉眼觀察，但可以通過方程式計算。本研究運用簡單易懂的方式介紹繞射光柵的原理和方程式，提高對光學和奈米壓印技術的瞭解和興趣。</p>
<b>三、探究目的與假設</b> <p>1.研究目的 透過簡單明瞭的方式認識光柵繞射與半導體製成中的奈米壓印技術： (1)了解光柵繞射的原理，如：繞射與干涉現象等。 (2)解釋相關實驗及其物理量之間的關係。 (3)透過彩虹巧克力解釋壓印技術的原理與方式。</p> <p>2.研究項目 (1)觀察不同波長的光通過繞射光柵後，於屏幕上所呈現的圖樣。 (2)觀察當相同波長的光源通過不同維度，密度以及不同紋理的光柵模後，於屏幕上所呈現的圖樣。 (3)運用奈米壓印的技術將光柵模的紋理壓印在物件表面上，使物件表面經光照射後會產生彩虹光澤。</p>
<b>四、探究方法與驗證步驟</b>
<b>一、研究設備與器材</b> <p>雷射：紅光波長約 650 nm、綠光波長約 500 nm、紫光波長約 380 nm 光柵模：一維、二維光柵模，強光手電筒、黑巧克力</p>

## 二、研究架構



## 三、繞射光柵與奈米壓印

### 1. 繞射光柵 Diffraction grating.

如圖 1 所示，繞射光柵是一個具有週期性微小的陣列結構元件，繞射光柵的表面是由無數平行的微米級一維、二維線性結構所組成。當白光射入至繞射光柵射時，光將依不同波長分散成不同的角度反射，此現象稱之為繞射。皆由此現象可用來測量光柵間距或光源波長。

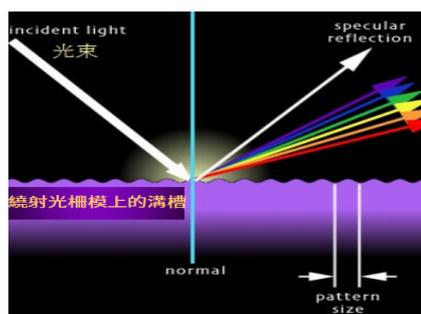


圖 1 繞射光柵示意圖

### 2. 奈米壓印 Nanoimprint.

奈米壓印是一種高精度加工技術，可製造奈米尺度的結構。這種技術可以在多種不同的材料上進行壓印。使用不同的模板或滾輪可以在材料表創造出各種不同的圖案和結構，例如奈米線、奈米柱和奈米孔洞等。

奈米壓印技術可製造微小電子元件、光學元件、太陽能電池等。優點包括製造成本低、製程簡單、高精度、高效率。奈米壓印技術已成為當今奈米加工技術中最重要的一種。如下圖所示：

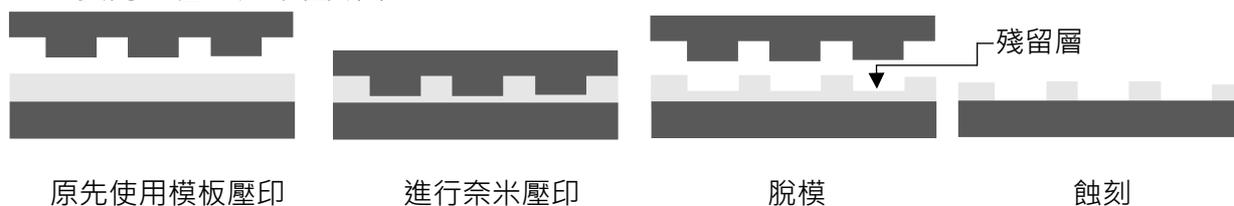


圖 2 原始奈米壓印-模板壓印(作者自行繪製)

如圖 2 所示，在壓印過程中常有殘留物也就是殘留層，導致壓印後需經過蝕刻等多加步驟去除殘留層，造成製作上的困擾。因此科學家研發出將材料填入模具凹

槽中再轉印在機台上，如圖 3 所示，便能去除殘留層的問題，並運用滾輪加快製作速度。既方便又節省時間!

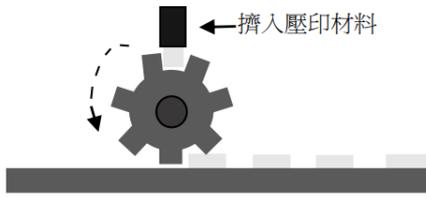


圖 3 滾輪式壓印(作者自行繪製)

### 3.繞射光柵的科學原理

1.單狹縫繞射與雙狹縫干涉：當光通過狹縫後，會於後方屏幕產生明暗相間的條紋。

#### (1) 單狹縫繞射 Single-Slit diffraction.

如圖 4 所示，當光射入單狹縫時，狹縫內可視為一系列彼此相同的(新)點波源，而這些點波源所發出的光波會依照波的重疊與互相干涉的原理，最終會在屏幕上形成明暗相間的繞射條紋，此現象即為單狹縫繞射

#### (2) 雙狹縫繞射與干涉 Double-Slit diffraction interference.

如圖 5 所示，當光射入單狹縫後，會受繞射影響而形成球面波，繞射光波穿過雙狹縫後會被分成兩部份(如同兩個新的點光源)，再依照波的重疊與互相干涉的原理，最終會在屏幕上形成明暗相間的干涉條紋，此現象即為雙狹縫干涉。

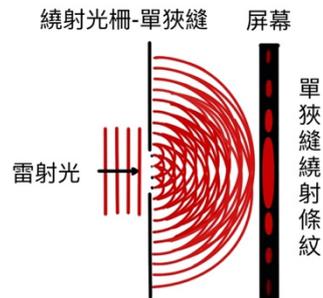


圖 4 單狹縫繞射示意圖

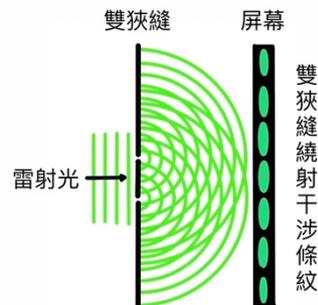


圖 5 雙狹縫干涉示意圖

### 2.一維繞射光柵與二維繞射光柵所產生的繞射圖樣

#### (1)一維光柵繞射圖樣

依入射光源的頻寬不同所產生的繞射條紋也會有所不同。

圖 6：寬頻白光所產生的繞射條紋，會依波長產生分光的現象

圖 7：單頻綠光所產生的繞射條紋，繞射光點



圖 6 一維光柵白光分光圖



圖 7 一維光柵綠色繞射光點

#### (2)二維繞射光柵

依入射光源的頻寬不同所產生的繞射條紋也會有所不同，

圖 8：寬頻白光所產生的繞射條紋，會依波長產生分光的現象

圖 9：單頻綠光所產生的繞射條紋，繞射光點

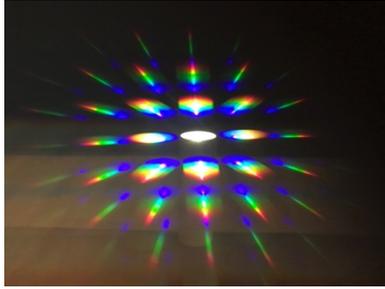


圖 8 二維光柵白光分光圖

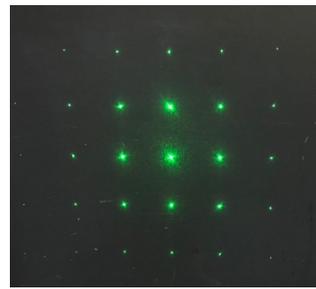
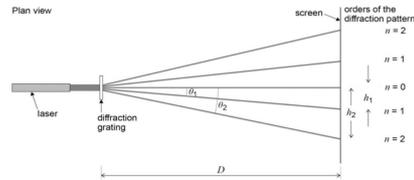


圖 9 二維光柵條紋

#### 四、方程式也可以簡單易懂!

平行光入射光柵時，光波會依照波的重疊與互相干涉的原理，而後在屏幕上形成明暗相間的繞射條紋。經由光柵繞射公式，可用來計算繞射光柵模的條紋間距或光源波長。計算時請記得繞射光柵與屏幕都須保持水平，光柵繞射公式如下所示：

$$d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda$$



其中，

$d$ =光柵狹縫間距，單位為公尺(m)。

$\lambda$ =光源的波長，單位為公尺(m)。

$D$ =繞射光柵到屏幕的距離，單位為公尺(m)。

$L$ =中心亮點至第 1 階繞射間距，單位為公尺(m)。

將  $m = 1$  (第 1 階繞射) 帶入公式可得

$$d = 1\lambda D/L$$

最後光柵密度  $N$  可被計算為

$$N = \frac{1}{d}$$

計算光柵間距  $d$ ：

已知繞射光柵到屏幕的距離  $D = 0.27 \text{ m}$ 、光源波長  $\lambda = 650 \text{ nm}$ 、中心亮點至第 1 階繞射間距  $L = 0.093 \text{ m}$ ，經由公式計算可得光柵狹縫間距  $d$

$$d = \frac{650 \times 10^{-9} \times 0.27}{0.093} = 1.98 \mu\text{m}$$

因此，繞射光柵狹縫間距  $d = 1.98 \mu\text{m}$ 。

即此光柵密度約為  $N = 505 \text{ lines/mm}$ 。

## 五、研究方法與實驗設計

### 實驗 1：

探討不同波長的雷射光，射入繞射光柵後所產生的繞射條紋。

控制變因：繞射光柵( 500 lines/mm )以及繞射光柵到屏幕的距離。

實驗方法：以不同波長的雷射光射入光柵，測量中心亮點至第 1 階繞射間距。

(1).準備不同波長的雷射，分別是紅光、藍光、綠光。

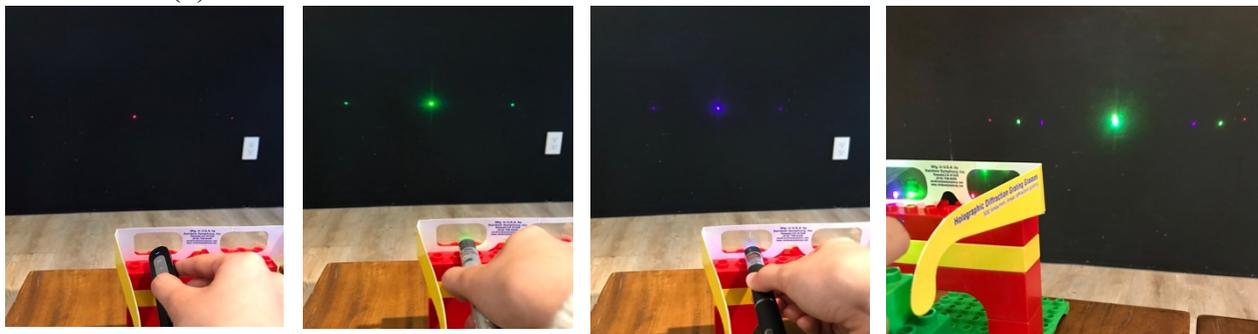


圖 11 紅光波長約 650 nm    圖 12 綠光波長約 500 nm    圖 13 紫光波長約 380 nm    圖 14 三個光的比對(紅光較不清楚建議放大觀看)

### 實驗結果：

從實驗中可發現中心亮點至第 1 階繞射間距，紅光亮紋間距 > 綠光亮紋間距 > 紫光亮紋間距。

同時光源波長：紅光波長 > 綠光波長 > 紫光波長。

由此實驗得知入射光的波長與亮紋寬度有正相關的關係。

### 實驗 2：

探討不同維度的繞射光柵，射入繞射光柵後所產生的繞射條紋。

控制變因：相同波長的雷射光，繞射光柵到屏幕的距離。

實驗方法：

(1).準備不同維度的繞射光柵，一維(500 lines/mm、1000 lines/mm)與二維。



圖 14 繞射光柵 500 lines/mm    圖 15 繞射光柵 1000 lines/mm    圖 16 二維繞射光柵

### 實驗結果：

從實驗中可發現當繞射光柵狹縫間距越小，中心亮點至第 1 階繞射間距越大。

### 實驗 3：

運用壓印的方式將繞射光柵上微米級的結構轉印製巧克力表面。

#### 實驗方法：

- (1).將巧克力融化並倒在繞射光柵上。
- (2).確保巧克力滲入繞射光柵的微米結構且凝固後，再將巧克力脫模。



圖 17 將巧克力倒在繞射光柵的正面



圖 18 使用一維繞射光柵做出的彩虹巧克力

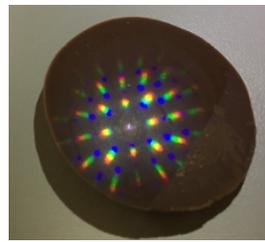


圖 19 使用二維繞射光柵做出的彩虹巧克力

#### 實驗結果：

如圖所示，使用如同奈米壓印的技術將繞射光柵模的微米結構轉印製巧克力表面。

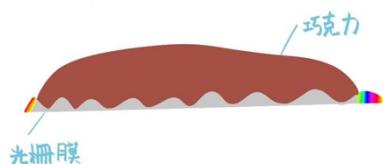


圖 20 彩虹巧克力示意圖

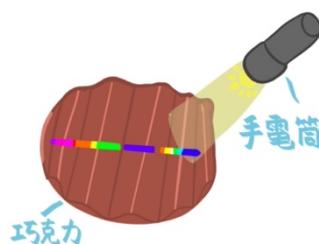


圖 21 彩虹巧克力示意圖

當液態巧克力(融化的巧克力)倒在繞射光柵膜上時，巧克力會滲入繞射光柵膜，當巧克力凝固時表面將會印上繞射光柵的紋理，因此當光線在照射巧克力時，巧克力表面的紋理會發生反射式繞射，這樣一來將可以成功製造彩虹光澤的巧克力。

## 五、結論與生活應用

在本研究中我們可經由光柵繞射實驗了解干涉與繞射現象，並透過彩虹巧克力的製作了解現代半導體工業中不可或缺的奈米壓印技術。

## 參考資料

- 1.奈米壓印動畫演示 <https://www.youtube.com/watch?v=ZFIATVeCOiM>
- 2.繞射光柵原理 <https://youtu.be/P46B4pegUnY>
- 3.彩虹巧克力 [Using Quantum Mechanics to Make Holographic Rainbows on Chocolate - YouTube](#)