

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040117

奈米球排排站

學校名稱：國立臺南女子高級中學

作者： 高二 陳奕彤 高二 許智珺	指導老師： 施銘哲
-------------------------	--------------

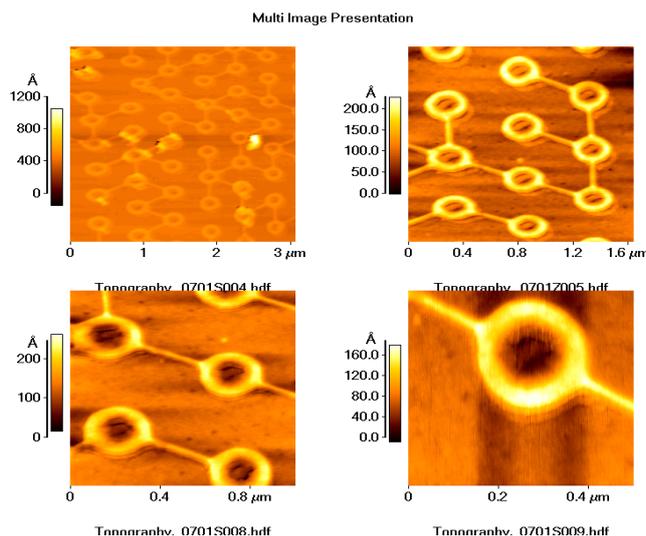
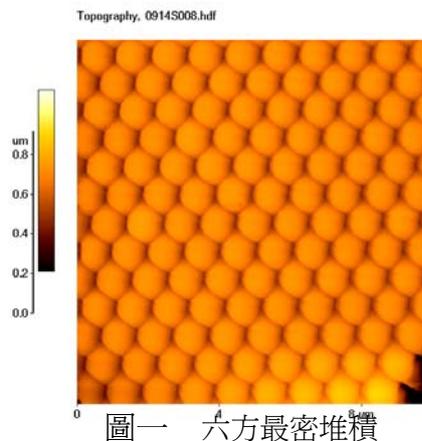
關鍵詞：奈米球 自組裝 旋轉塗佈

奈米球自組織旋轉塗佈蝕刻遮罩製作與討論

摘要

奈米結構的廣泛應用，使得蝕刻技術不斷進步，爲了追求兼顧經濟，且具高效率的蝕刻技術米球，製作遮罩的技術因此孕育而生。

1993 年開始利用自組裝效應，研發出奈米球微影蝕刻的技術。這個方法是使用標準尺寸的奈米球膠體，利用其高度排列整齊的自組裝效應來製作遮罩，在基板上以六方最密堆積的形式排列成週期性結構，調整不同製程參數，就可以改變奈米球最密堆疊層數，進而得到不同之遮罩，另外在教授的實驗室發現在不同的磊晶機制以及舉離溶液的搭配下，可以得到不同之蝕刻圖樣。這種蝕刻方法的好處在於所需的儀器設備相當低廉、製程操作容易;只需變化不同奈米顆粒球的粒徑，便可在各種基板上得到不同奈米尺寸的大面積週期陣列結構。



圖二 蝕刻圖樣

壹、研究動機

奈米球的自組裝效應會使奈米球自動的緊密排列在一起，我們對這種有趣的現象很感興趣，想知道在什麼參數下能使它排列整齊，希望能藉這個機會更深入地了解、探討。

貳、研究目的

我們希望能夠藉由基板、介面活性劑、旋轉塗佈轉速等操作變因的控制，製作出大面積的週期結構，並利用在高中課程中學習到的向心力與摩擦阻力的關係，討論出奈米球與 ITO 跟 Si 基板間的作用力何者較大。

參、研究設備及器材

一、準備基板的器材

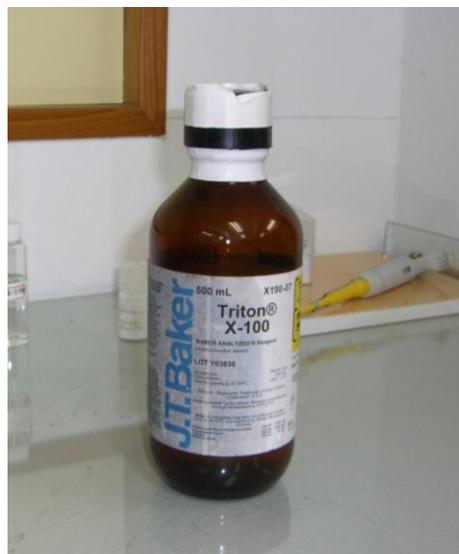
- (一)ITO 玻璃板
- (二)矽基板
- (三)鑽石筆
- (四)丙酮
- (五)乙醇

二、調配不同奈米球溶液的器材

- (一)奈米球(大小：500nm) (圖三)
- (二)介面活性劑(Triton X-100) (圖四)



圖三 奈米球

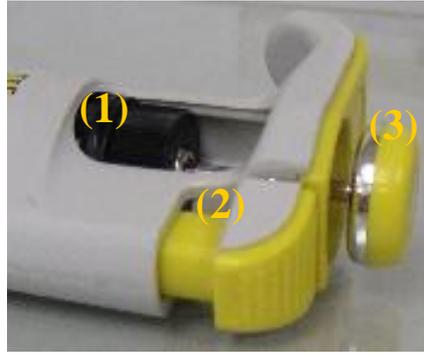


圖四 介面活性劑

(三)微量滴管：



圖五 微量滴管



圖六



圖七

吸取微量溶液作為藥品配製時常用到的工具，本次實驗所用到的微量滴管(見圖五)可吸取 $0\mu l$ ~ $100\mu l$ 的溶液作為實驗之用。

以下介紹其各部份功能：

- 1.調整欲吸取容量(見圖六)
- 2.剔除滴管頭(見圖六)
- 3.吸取溶液(見圖六)
- 4.顯示欲吸取容量：單位(μl) (見圖七)

(四)超音波震洗機

三·旋轉塗佈機：

利用高速旋轉基座，使塗佈於其上的溶液均勻分佈在基板上，藉以塗佈一層溶液薄膜，以討論溶質的特性。



圖八 旋轉塗佈機

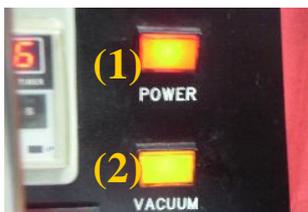
如圖八所示，即為本次實驗用的旋轉塗佈機，其基本功能有：a.氮氣曝氣、b.擱置待乾、c.一段轉速、d.二段轉速(見圖九)，等四階段設定。根據不同時間即步驟的設定，即可完成簡易奈米薄膜的塗佈。



圖九 塗佈機顯示器

以下介紹旋轉塗佈機上各個按鈕及顯示器之功能：

- (一).電源開關(見圖十)
- (二)抽真空(見圖十)
- (三)基板放置(見圖十一)
- (四)第一段轉速 (見圖十二)
- (五)第二段轉速 (見圖十三)



圖十 電源開關



圖十一 基板放置



圖十二 第一段轉速



圖十三 第二段轉速



圖十四 調節鈕

(六)調節鈕(見圖十四)：調節第一段轉速與第二段轉速的按鈕。

(七)真空度顯示器(見圖十五)：單位(mmHg)。

(八)速度顯示器(見圖十六)：單位(轉/分)。

(九)啓動鈕(見圖十七)

(十)暫停鈕(見圖十八)



圖十五 真空度顯示器



圖十六 速度顯示器



圖十七 啓動鈕



圖十八 暫停鈕

四、觀察用器材

(一)反射式光學顯微鏡(目鏡 10x,物鏡 40x)(圖十九)

(二)電腦(配備影像擷取卡)



圖十九 反射式光學顯微鏡

肆、研究方法

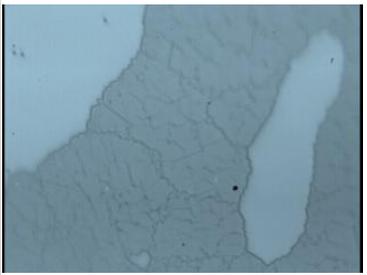
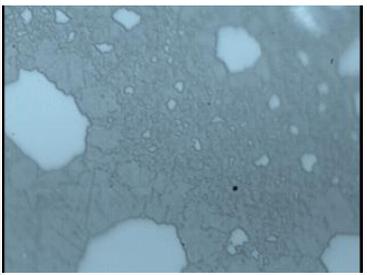
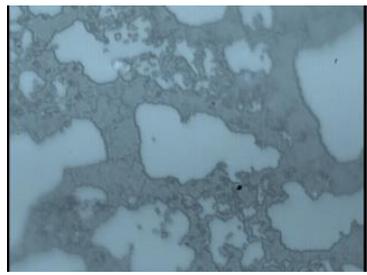
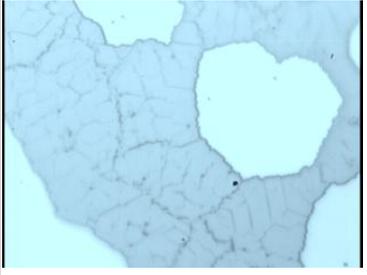
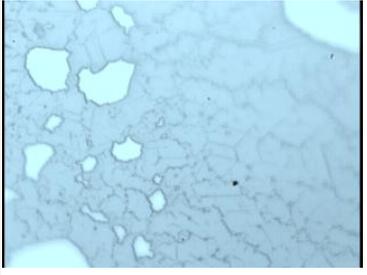
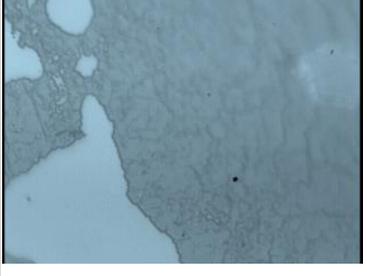
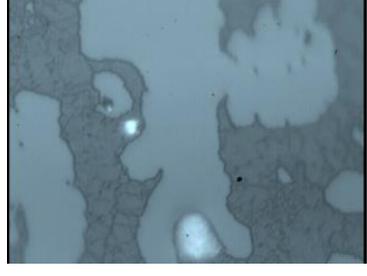
一、準備基板：用鑽石筆切割 ITO 玻璃板和矽板，接著要清洗掉表面的油脂和水分，因為油脂極性弱，所以選擇丙酮來清洗之，而水極性強，所以選擇用甲醇或乙醇來清潔，清洗步驟為：利用超音波震洗機洗淨基板 a.丙酮 5min, b.乙醇 5min。

二、製備奈米球溶液：以微量滴管吸取奈米球及介面活性劑製備，每種濃度各 $150\mu\text{L}$ (奈米球：介面活性劑 = 1 : 1、2 : 1、1 : 2)，接下來放入超音波震洗機充分混合此溶液。

三、塗佈：開啓旋轉塗佈機電源，放置基板後抽真空使其固定，分別設定第一段轉速為 10 秒 (400 轉/分) 及第二段轉速為 60 秒 (有 2000 轉/分、2500 轉/分、3000 轉/分這三種轉速)，以微量滴管吸取 $5\mu\text{L}$ ，均勻塗抹在基板上，接著啓動旋轉塗佈機，待旋轉停止，停止抽真空，樣品就完成了。

四、觀察：利用反射式光學顯微鏡透過電腦的影像擷取卡，紀錄實驗結果。

伍、研究結果

		
<p>a</p> <p>奈：界=1：1</p> <p>轉速：2000 rpm</p> <p>基板：ITO</p>	<p>b</p> <p>奈：界=1：1</p> <p>轉速：2500 rpm</p> <p>基板：ITO</p>	<p>c</p> <p>奈：界=1：1</p> <p>轉速：3000 rpm</p> <p>基板：ITO</p>
		
<p>d</p> <p>奈：界=1：1</p> <p>轉速：2000 rpm</p> <p>基板：Si</p>	<p>e</p> <p>奈：界=1：1</p> <p>轉速：2500 rpm</p> <p>基板：Si</p>	<p>f</p> <p>奈：界=1：1</p> <p>轉速：3000 rpm</p> <p>基板：Si</p>
		
<p>g</p> <p>奈：界=2：1</p> <p>轉速：2000 rpm</p> <p>基板：ITO</p>	<p>h</p> <p>奈：界=2：1</p> <p>轉速：2500 rpm</p> <p>基板：ITO</p>	<p>i</p> <p>奈：界=2：1</p> <p>轉速：3000 rpm</p> <p>基板：ITO</p>

(表一)

<p style="text-align: center;">j</p> <p style="text-align: center;">奈：界=2：1 轉速：2000 rpm 基板：Si</p>	<p style="text-align: center;">k</p> <p style="text-align: center;">奈：界=2：1 轉速：2500 rpm 基板：Si</p>	<p style="text-align: center;">l</p> <p style="text-align: center;">奈：界=2：1 轉速：3000 rpm 基板：Si</p>
<p style="text-align: center;">m</p> <p style="text-align: center;">奈：界=1：2 轉速：2000 rpm 基板：ITO</p>	<p style="text-align: center;">n</p> <p style="text-align: center;">奈：界=1：2 轉速：2500 rpm 基板：ITO</p>	<p style="text-align: center;">o</p> <p style="text-align: center;">奈：界=1：2 轉速：3000 rpm 基板：ITO</p>
<p style="text-align: center;">p</p> <p style="text-align: center;">奈：界=1：2 轉速：2000 rpm 基板：Si</p>	<p style="text-align: center;">q</p> <p style="text-align: center;">奈：界=1：2 轉速：2500 rpm 基板：Si</p>	<p style="text-align: center;">r</p> <p style="text-align: center;">奈：界=1：2 轉速：3000 rpm 基板：Si</p>

(表二)

本次實驗我們利用實驗參數的調整，來討論基板與介面活性劑間的摩擦係數，我們試著改變以下幾點操作變因：

- 一、介面活性劑與奈米球的比例
- 二、旋轉塗佈機的第二段轉速
- 三、基板材質

我們先控制介面活性劑與奈米球的比例及基板材質來討論不同轉速的影響：

根據(表一)中，a~c 控制變因介面活性劑與奈米球的比例為 1：1 及基板材質為 ITO 改變變因二，我們可以發現在此變因操作下，樣品 a 為最佳轉速；

d~f 控制變因介面活性劑與奈米球的比例為 1：1 及基板材質為 Si 改變變因二，我們可以發現在此變因操作下，樣品 e 為最佳轉速；

g~i 控制變因介面活性劑與奈米球的比例為 2：1 及基板材質為 ITO 改變變因二，我們可以發現在此變因操作下，樣品 h 為最佳轉速。

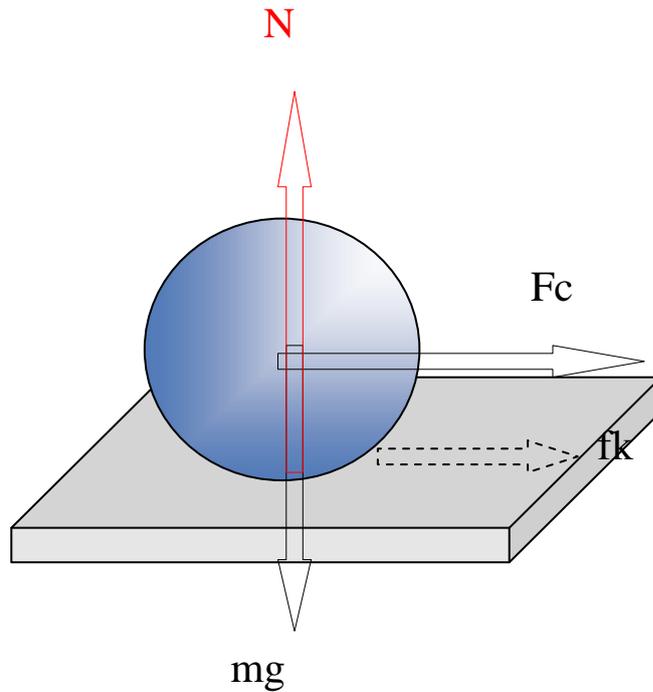
(表二)中，j~l 控制變因介面活性劑與奈米球的比例為 2：1 及基板材質為 Si 改變變因二，我們可以發現在此變因操作下，樣品 j 為最佳轉速；

m~o 控制變因介面活性劑與奈米球的比例為 1：2 及基板材質為 ITO 改變變因二，我們可以發現在此變因操作下，樣品 m 為最佳轉速；

p~r 控制變因介面活性劑與奈米球的比例為 1：2 及基板材質為 Si 改變變因二，我們可以發現在此變因操作下，樣品 q 為最佳轉速。

再根據以上在 ITO 基板中的最佳塗佈參數 a、h、m 中，我們比較得知 h 為較佳之參數，它的介面活性劑與奈米球的比例為 2：1，轉速為 2500rpm；另外，在 Si 基板中較佳之塗佈參數為 e、j、q，其中又以 q 為最佳參數，其介面活性劑與奈米球的比例為 1：2，其轉速為 2500rpm。

以下我們將利用樣品 h 計算 ITO 的摩擦阻力係數，利用樣品 q 計算 Si 的摩擦阻力係數。



我們使用的奈米球為聚苯乙烯之高分子聚合而成，其密度約為 1.01g/cm^3 ，與水密度接近。藉由旋轉塗佈的方式，我們可以提供奈米球旋轉時所需的角速度(旋轉時第二段轉速)，根據奈米球平均分佈在基板上，其相對旋轉軸心的平均半徑(r)為基板邊長的一半，又根據本次所使用的奈米球直徑為 500nm ，藉由球型體積計算公式 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ 以及 $d = \frac{m}{V}$ 可計算求得奈米球質量，藉由 $\vec{F}_c = m\vec{a}_c = mw^2\vec{r}$ 可計算出向心力，另外我們可以透過正向力 $N=mg$ 以及 $f_k=N\mu_k$ 計算出動摩擦力，但是其中 μ_k 為未知數，需藉由介面活性劑與旋轉塗佈機的轉速達最佳匹配的條件，得到此時 $F_c=f_k$ 藉以計算所有摩擦阻力，以得到整體的摩擦阻力係數與介面活性劑比例的關係。

根據式子

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

我們實驗時所使用之奈米球尺寸為直徑 500nm，計算可得

$$V = 6.542 \times 10^{-20} \text{m}^3$$

再根據

$$d = \frac{m}{V} = 1.01 \text{g/cm}^3$$

計算可得單顆奈米球質量為

$$6.607 \times 10^{-17} \text{kg} \circ$$

考慮在 ITO 基板上最佳參數為樣品 h 其中轉速為

$$2500 \text{rpm} = 261.667 \text{rad/s}$$

再根據式子

$$\vec{F}_c = m\vec{a}_c = m\omega^2 \vec{r} = 2.989 \times 10^{-13} \text{nt}$$

式子中的 r 為奈米球於基板上相對軸心的平均距離以 1cm^2 大小的樣品而言

$$r = 2.5 \times 10^{-3} \text{m} \circ$$

根據

$$\vec{F}_c = m\vec{a}_c = m\omega^2 \vec{r} = N\mu_k = mg\mu_k \rightarrow g\mu_k = \omega^2 r = 1.712 \times 10^2 \text{m/s}^2$$

其中

$$g = 9.8 \text{nt/kg} = 1 \text{kgw/kg}$$

所以得到

$$\mu_k = 1.712 \times 10^2$$

考慮在 Si 基板上最佳參數為樣品 q 其中轉速為

$$2500 \text{rpm} = 261.667 \text{rad/s}$$

再根據式子

$$\vec{F}_c = m\vec{a}_c = m\omega^2\vec{r} = 2.989 \times 10^{-13} \text{nt}$$

式子中的 r 為奈米球於基板上相對軸心的平均距離以 1cm² 大小的樣品而言

$$r = 2.5 \times 10^{-3} \text{m}$$

根據

$$\vec{F}_c = m\vec{a}_c = m\omega^2\vec{r} = N\mu_k = mg\mu_k \rightarrow g\mu_k = \omega^2 r = 1.712 \times 10^2 \text{m/s}^2$$

其中

$$g = 9.8 \text{nt/kg} = 1 \text{kgw/kg}$$

所以得到

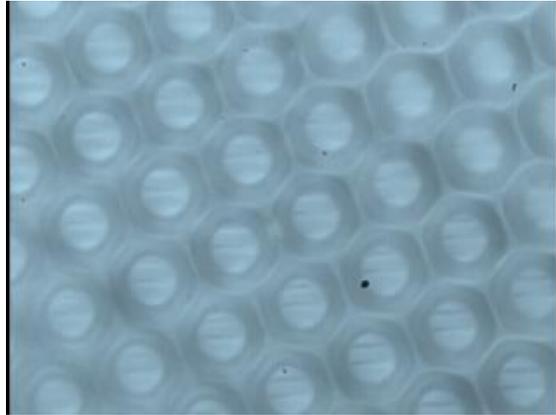
$$\mu_k = 1.712 \times 10^2$$

綜合上面所述，我們可以透過介面活性劑與奈米球的比例，使不同基板具有相同的摩擦阻力係數，進而得到最佳塗佈參數的匹配條件。

柒、結論

一、根據討論結果我們可以知道，介面活性劑的量越多，爲了達到相同的摩擦阻力係數，基板表面對奈米球之間的作用力越大，所以我們可知道 Si 對奈米球的作用力大於 ITO。

二、爲了方便實驗觀察，我們利用顯微鏡紀錄較大之奈米球($D=10\mu m$)的自組裝動態行爲，其排列結果如圖二十所示



圖二十 自組裝動態行爲

捌、參考資料

- 一、奈米 k-12 南區教材,黃榮俊,奈米磁紀錄(2004)。
- 二、奈米 k-12 南區實作教材,黃榮俊,奈米球自組裝(2004)。
- 三、光電子激發顯微鏡(X-PEEM)於奈米磁性結構之研究,李宗勳,成功大學碩士論文(2004)。

【評 語】 040117 奈米球排排站

本件作品以 500nm 顆以不同比例每界面活性劑混合，再旋轉塗佈於 Si 或 ITO 玻璃基板上，再以光學顯微鏡，觀看表面，送捍能均勻塗佈的參數。作品應可再加強對大面積區域均勻性的探討，及對相關能調控塗佈均勻機制的討論。