

2025物理實作平台年會

從奈米發想的光學

東海大學應用物理系

王昌仁 副教授

2025.05.10

三大主軸:

奈米材料:新材料-新的物性

小尺寸效應 面積效性 量子尺寸效應

奈米技術:新技術-

觀察,量測與製造

奈米應用:新應用

- 
- 
1. 奈米製造-改良銀鏡實驗製作奈米銀薄膜與微粒
 2. 奈米製造-以溶解度差異法製作奈米微粒
 3. 奈米製造-屏中造霧
 4. 奈米製造-放電法製作奈米微粒
 5. 奈米製造-磁流體的製作
 6. 奈米觀察:乳光偵測奈米微粒
 7. 奈米觀察:繞射法觀察細微結構
 8. 奈米觀察:電子顯微鏡原理演示
 9. 奈米特性:奈米物質顏色變化原理-能帶與顏色
 10. 奈米特性:磁流體的特性與應用
 11. 奈米特性:光學中的尺寸效應-透光度與厚度的關係
 12. 奈米特性:表面積效應
 13. 奈米特性:奈米金(銀)微粒的成長與壓合實驗-電阻率變化

跟奈米尺度相關的光學現象

從最近台中白天見到的血日談起



光的現象-光與物質作用

散射

干涉

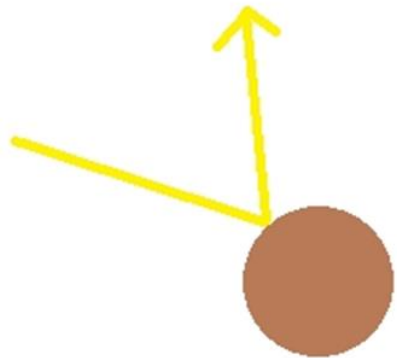
繞射

顯色

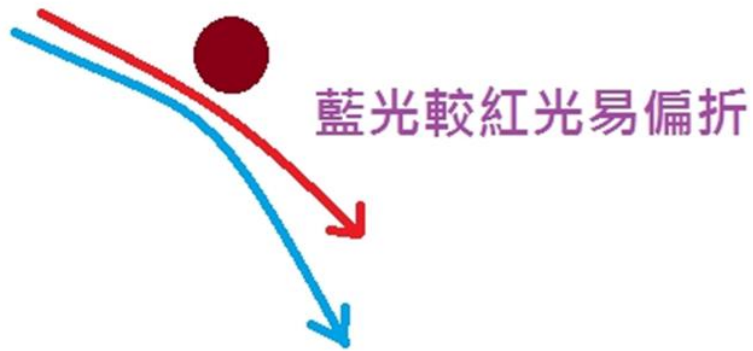
1.看不到不代表無偵測 可利用

光的散射

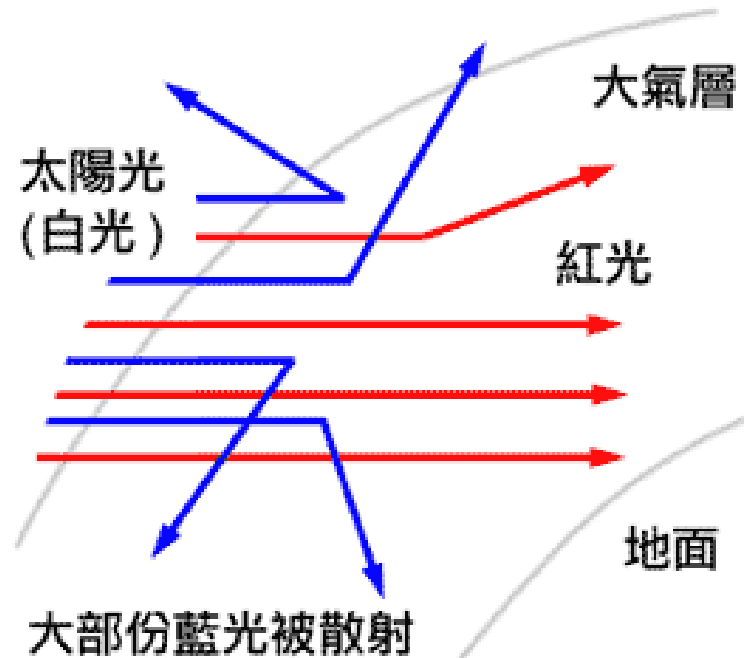
當光遇到微粒



光遇到大粒子
會發生反射



光遇到微小粒子
會發生散射



生活經驗 為什麼天空是藍的？晚霞是偏紅的？
在投影機強光下是否有“看到”灰塵

所需材料

1.光源：雷射或LED

2.純水！！

3.印表機墨水

4.鋼筆墨水？！

5.簽字筆墨水！！

6.食鹽

乳光

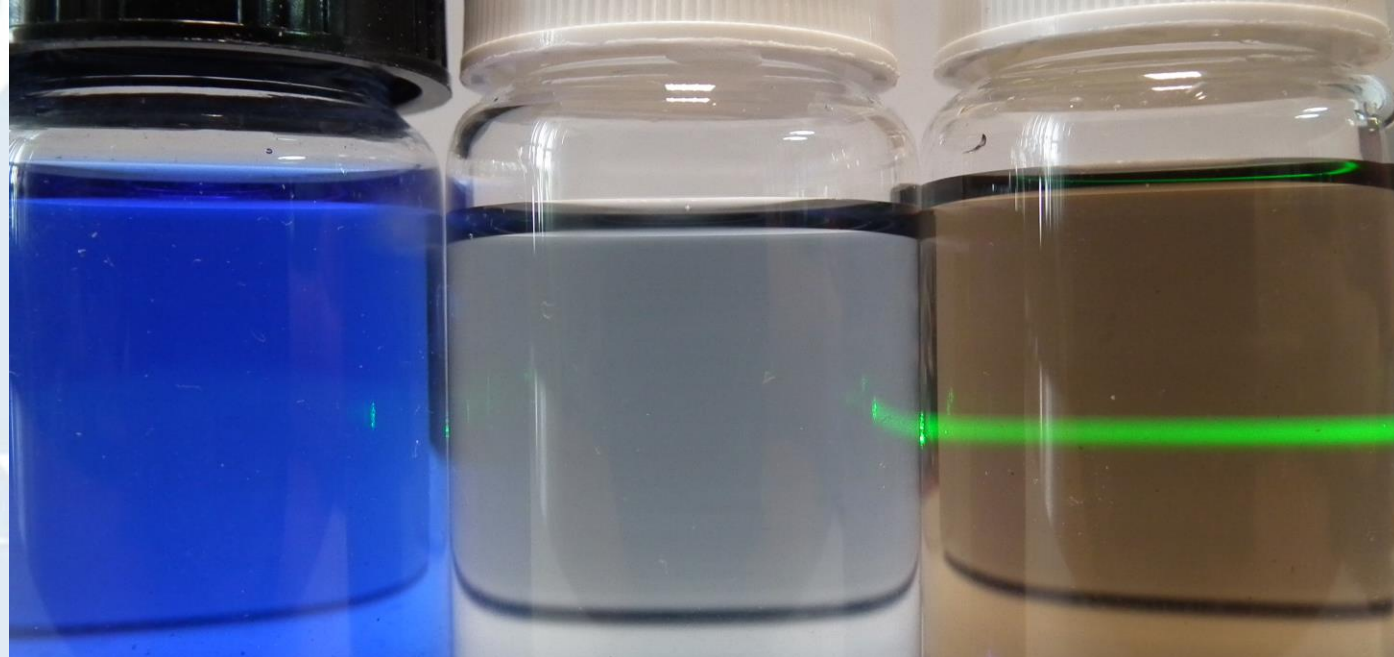
$$I = \frac{9 \pi^2 n V^2}{2 \lambda^2 R^2} \left(\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + n_2^2} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta) I_0$$

1. 散射光強度與顆粒體積(V)平方成正比：所以真溶液此效應不明顯
2. 乳光強度與波長(λ)四次方成反比：因此若照白光最外圍為紫光
3. 溶劑與粒子折射率(n_1, n_2)相差越大訊號越明顯
4. 乳光強度與顆粒數(N)成正比



公式中， I 为散射光强度， n 为单位体积中的粒子数， V 为每个粒子的体积， λ 为入射光的波长， n_1 和 n_2 分别为分散相和分散介质的折射率， I_0 为入射光的强度， θ 为观察方向与入射光方向的夹角， R 为观察者与粒子之间的距离。

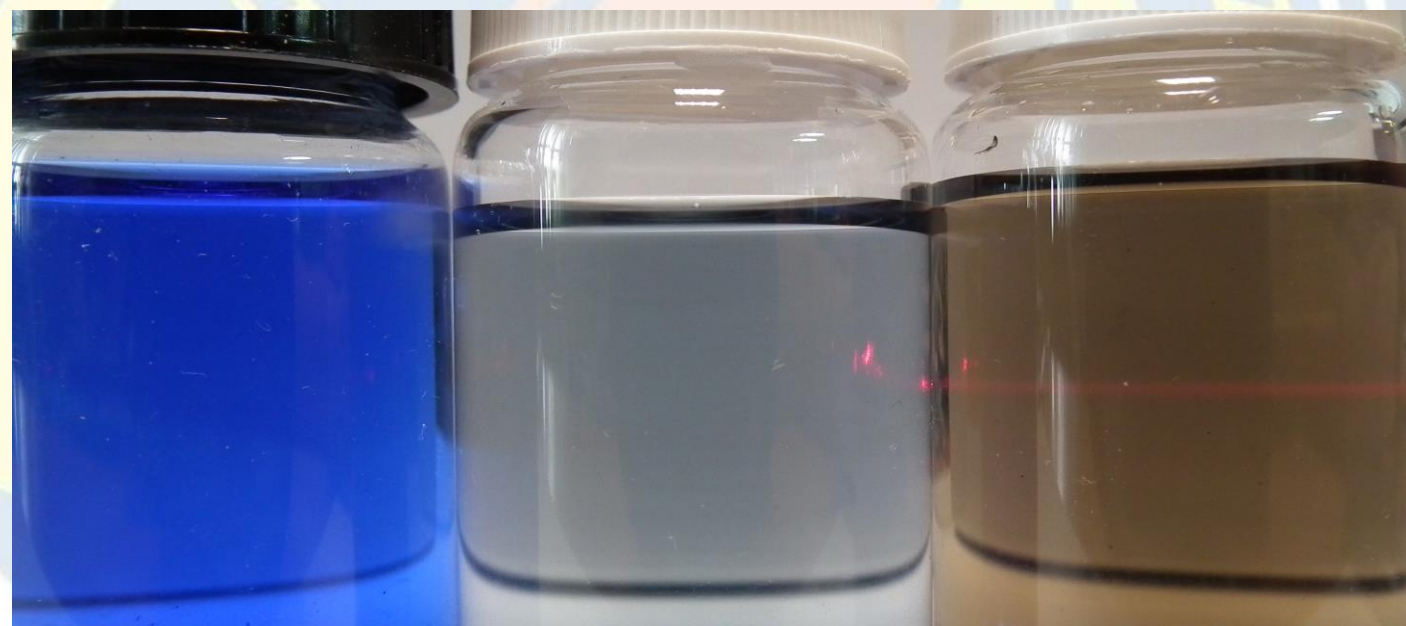
加入食鹽會有乳光嗎？！

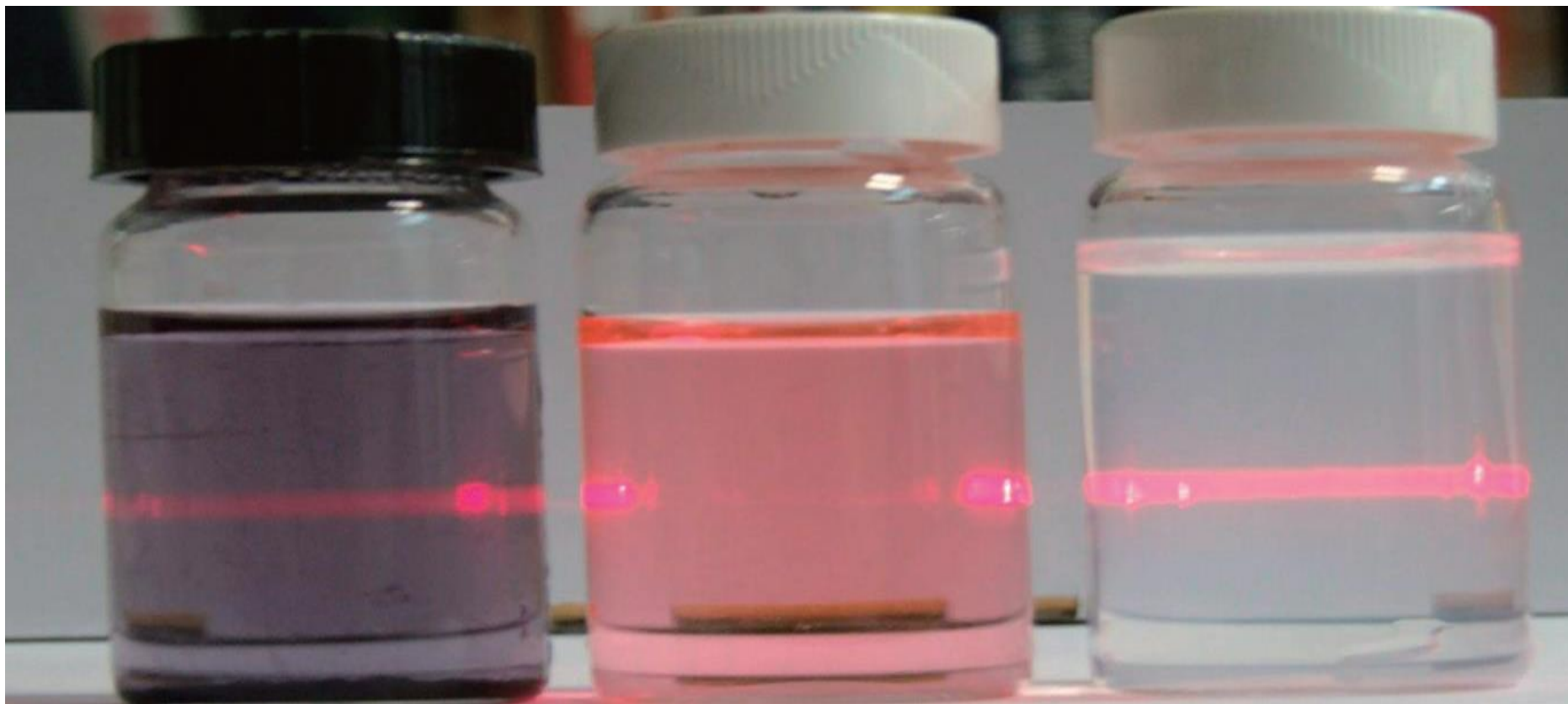


鋼筆水

寫真墨水

防水墨水





雷射光與不同溶液作用的結果。左邊為約10 nm 的金奈米水溶液(成酒紅色);中間為稀薄的紅墨水; 右側為22 nm 微粒 水溶液。除紅墨水外奈米溶液均有明顯乳光出現。

瓶中造霧

材料的成長過程

- 1.成核
- 2.生長

一般的材料在成核後
通常約會生長到微米尺寸

材料尺寸的兩個方向

- 矽晶圓:如何讓單晶長得很大
- 奈米材料: 適時打斷生長過程

瓶中造霧

材料

寶特瓶*2

適量乙醇

線香 & 打火機

雷射筆

硝酸銨

- ▶ 取兩個寶特瓶，裝入少量乙，靜置一段時間，使瓶中充滿乙醇氣體。
- ▶ 一段時間後，將多餘乙醇倒掉(剩餘一些)，其中一瓶通入少許煙(不要太多)，使瓶內依舊呈透明。
- ▶ 為方便稱呼，將無通入煙的寶特瓶稱「A瓶」，有通入煙的寶特瓶稱「B瓶」
- ▶ 乙醇的使用，因為其有較高的飽和蒸汽壓，利於在常態環境下，蒸發形成氣體在瓶子中。
- ▶ 光斑的形成，代表著瓶中有懸浮微粒，使光在行進方向上產生繞射，使我們看到一條雷射行進的直線。

實驗原理 - Part 1

- ▶ 在實驗流程 – Part 1的部分，探討的是「均質成核」(A瓶)和「異質成核」(B瓶)。
- ▶ 在初始狀態，A瓶和B瓶都尚未有成核之現象出現(無懸浮微粒產生)。
- ▶ 而對寶特瓶持續擠壓&放開的動作，相當於給乙醇氣體分子能量。
- ▶ 因為所給的能量不大可看出差異:A瓶依舊無光斑，而B瓶出現光斑。(在同一介質下，是相對不容易成核的；而在不同介質下，是相對容易成核的。)

實驗流程 - Part 2

- ▶ 接續實驗流程 – Part 1，取B瓶單獨做實驗。
- ▶ 使用雷射照射，目前有光斑出現。
- ▶ 擠壓寶特瓶，且不放開，觀察光斑變化？
→ 光斑消失。
- ▶ 放開寶特瓶，觀察光斑變化？
→ 光斑出現。



動手做實驗 奈米與透光 -導電玻璃原理 設備與人員需求

1. 光源(LED或日光燈或雷射筆)
2. 光碟片
3. 鋁箔紙

步驟

1. 取鋁箔紙,試著用LED燈(或雷射)觀察鋁箔紙是否透光.
 2. 將取CD片一片,盡量選取素面的光碟片。或使用教材包已處理的光碟片。試著用LED燈(或雷射筆)觀察CD片是否能透光.
- 注意:使用雷射時注意觀察角度避免光束直射眼睛

實驗紀錄:

實驗討論:

老師可利用五分鐘與同學討論後說明原理或播放教學影片

奈米材料:新材料-新的物性 小尺寸效應

演示:金屬是否能透光?

我們認為金屬是不透光的。但事實上電磁波是會進入導體的。**電磁波之頻率越高，穿透深度越小；波長越長，穿透的越深。**一般而言可見光是可以透入金屬之中其尺寸約在**微米**附近。因此若金屬薄膜薄至數百或數十奈米時，即小於金屬固有的穿透深度時，**金屬是能透光的**。在圖5-4可觀察到透過光碟片上的金屬薄膜仍能見到日光燈。

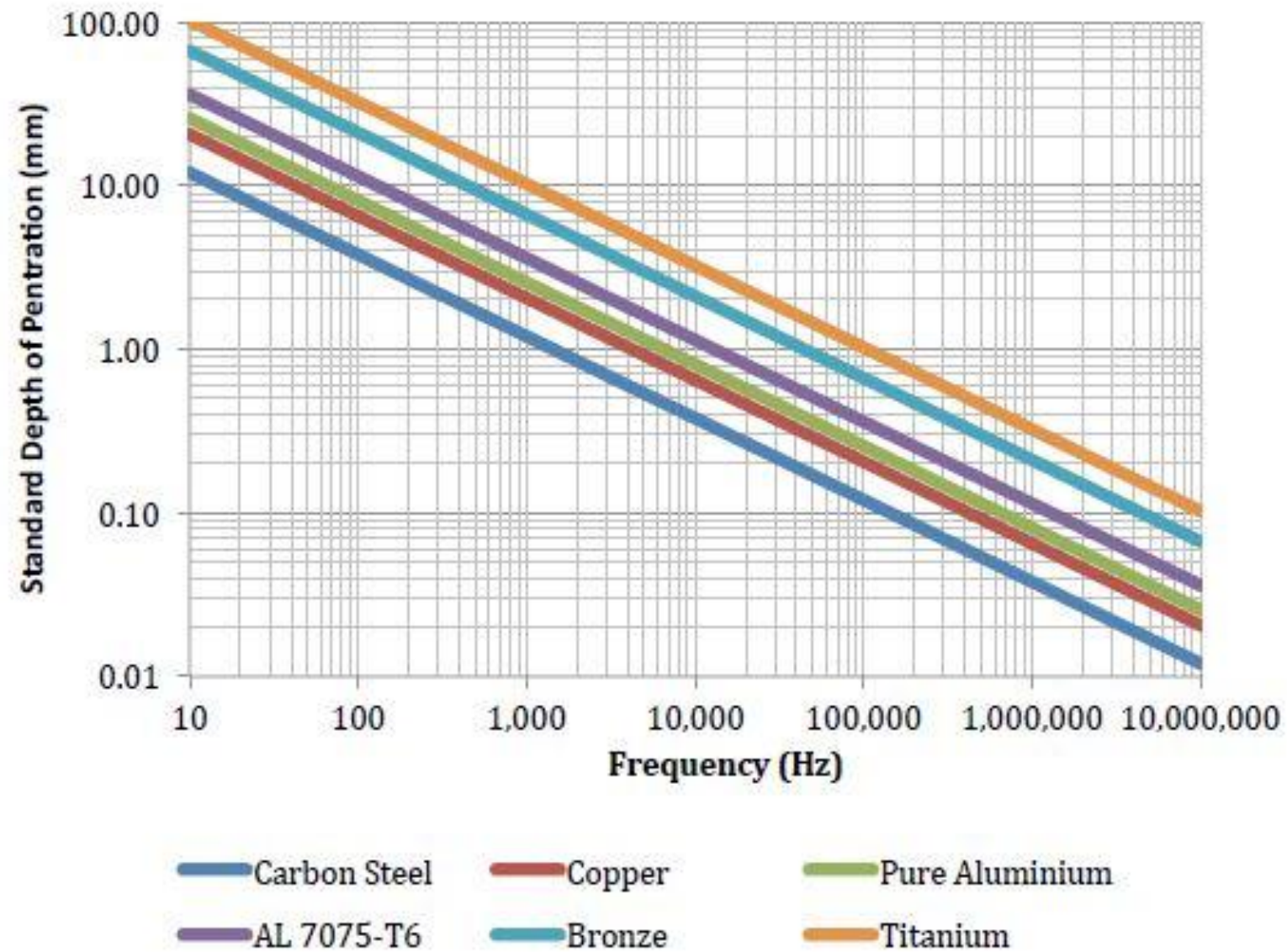


圖 5-3 一般鋁箔無七彩反光



圖 5-4 燈光能透過光碟片上的金屬膜

Influence of Frequency and Conductivity on Standard Depth of Penetration



5G 上路，快得嚇人，問題也嚇人

作者 Chen Kobe | 發布日期 2019 年 07 月 04 日 8:15 | 分類 手機, 網路, 網通設備

分享

Follow

讚 3,728

分享

伴隨著超高速而來的另一個問題是：室內無收訊。

原因就在 T-Mobile 目前採用毫米波（**millimeter wave**）傳輸方式，而這種超高頻傳輸方式，會輕易被門窗阻擋。



美國四大電信商 5G 上路，最高速來到 2Gbps，相當於 4G 的 40 倍，然而背後卻有一個致命問題。

讓我們把好話說在前面，根據用戶實測回報，5G 的速度快到讓人很有感，平均傳輸速度在 300~500Mbps 之間，約為目前 4G / LTE 的 10 倍；極速更來到驚人的 2Gbps，相當於 4G 網速的 40 倍，當然，能夠達到極速的只有極少數的天選之人。

伴隨著超高速而來的**另一個問題是：室內無收訊。**

你沒有看錯，在 2019 年的今天，讓 T-Mobile 用戶無法置信的是，他們無法在家中、學校或辦公室使用 5G 網路。往好處想，室內有 Wi-Fi（被用戶打死），或者至少，他們可以在沒有 5G 訊號時，換回 4G / LTE。

更糟糕的是，即使在戶外，站點最密集的紐約也只有曼哈頓某些地區有較好的訊號，這已經是 6 座城市中最好的，原因就在 T-Mobile 目前採用毫米波（millimeter wave）傳輸方式，而這種超高頻傳輸方式，會輕易被門窗阻擋。

不是功率問題!!



【大紀元訊】中國古代青銅文化世界知名，除令今人歎為觀止的精美鑄帛工藝和紋飾外，防鏽工藝之精妙也深受推崇。即使深埋地下數千年仍不鏽蝕，迄今仍是不解之謎。中國河南古銅鏡收藏家李懷通經過20多年的研究提出新看法，認為古銅鏡不鏽的原因在於金屬元素錫。

據《呂氏春秋》記載，早在先秦、兩漢之時，人們用白氈沾著「玄錫」來磨鏡開光，漢鏡就曾有「和以銀錫清且明」的銘文。宋、元以後興起的磨鏡業亦有磨鏡藥之說。明代馮夢禎在《快雪堂漫錄》中說：「銅鏡鑄成後開光：藥，好錫1錢6分、好水銀1錢。先投錫，次投水銀，取起，入上好明礬1錢6分，研細聽用。若欲水銀古，用明礬、水銀等份，入新錫燒成豆腐渣狀，少許塗鏡上，火燒之。若欲墨漆古，開面後上水銀完，入皂礬水中浸1日取起。諸顏色需梅天製造。上色後置溼地1月方外移動，則諸顏色與秦、漢物無二，白汁不能落矣。」

由此可知，控制水銀古和墨漆古的關鍵是溫度。製白色水銀古鏡需「火燒之」，使之形成白色的二氧化錫，製黑色的墨漆古鏡不需火燒，即形成黑色的氧化錫。但「玄錫」究竟為何物則說法不一，有人認為是鉛粉，有人則認為是水銀，還有人認為是鉛粉和銀的混合物，或水銀和錫的混合物等。

透明導電薄膜 :純金屬薄膜

□ Au、Ag、Pt、Cu、Al、Cr、Pd、Rh, 在 $< 10\text{nm}$ 厚度的薄膜, 均有某種程度的可見光透光度

□ 早期使用之透明電極 □ 缺點: 光的吸收度大、硬度低、穩定性差

透明導電薄膜主角-- ITO

中文名稱: 銮錫氧化物

英文全名: Indium Tin Oxide (ITO)

成分: 摻雜錫之銮氧化物(Tin-doped Indium Oxide)

年代: 1934年被美國銮礦公司最早合成出來

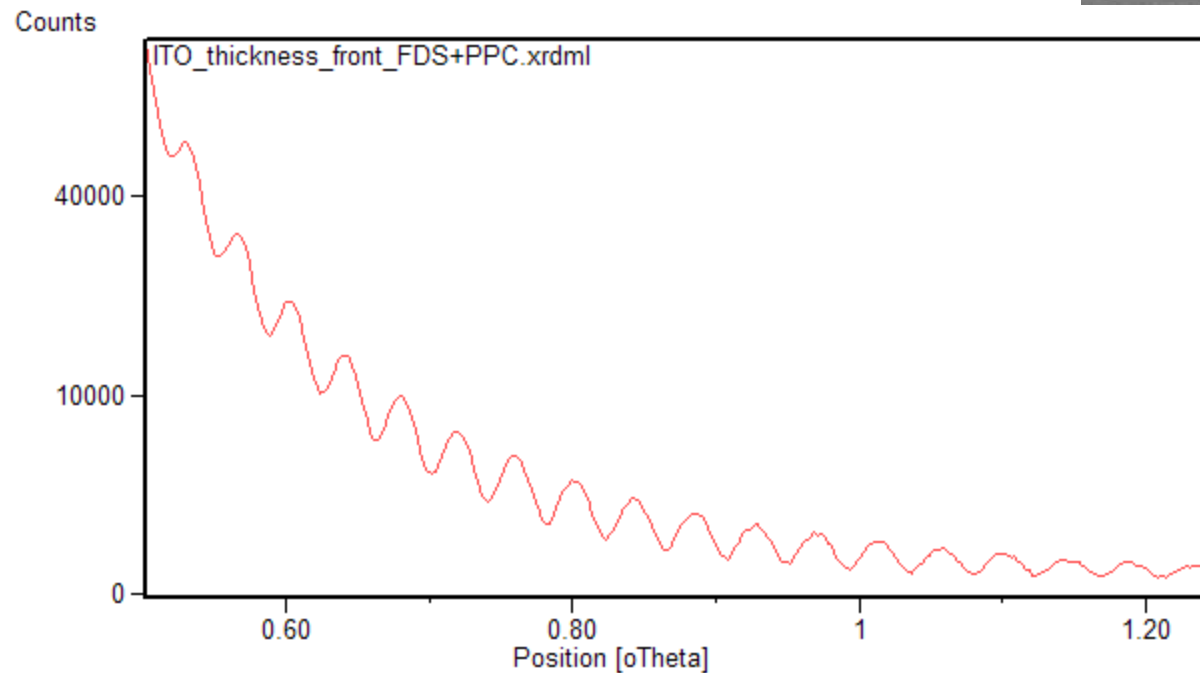
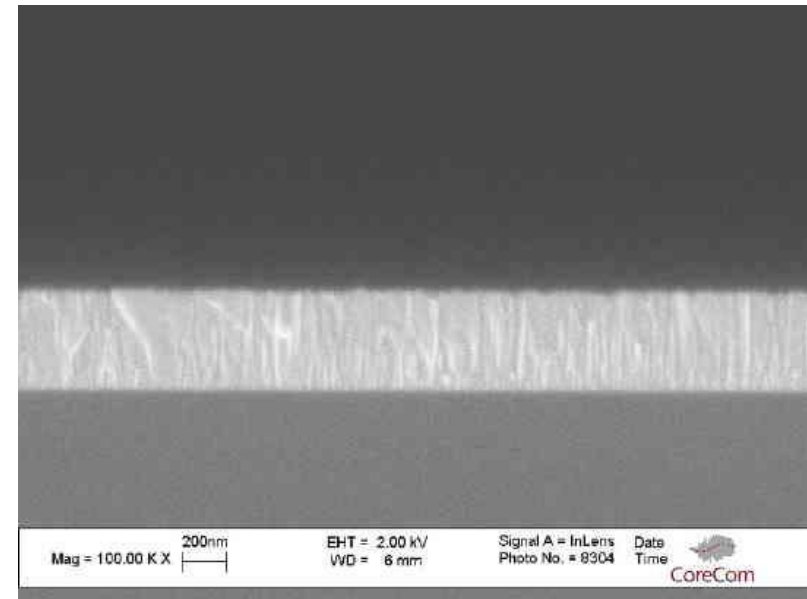
世界最大ITO薄膜製造國: 日本

選用率: 在TCO材料中, 75%應用在平面顯示器

主要應用: 平面顯示器、透明加熱元件、抗靜電膜、電磁波防護膜、太陽能電池之透明電極、防反光塗佈及熱反射鏡(heat reflecting mirror)等電子、光學及光電裝置上。

◆ Thickness of ITO

ITO導電玻璃為在無法導電的玻璃基板上，
鍍上一層可以導電的氧化銦錫
(indium tin oxide, ITO)



$$d \approx \frac{\lambda}{2 \theta_{m+1} - \theta_m},$$

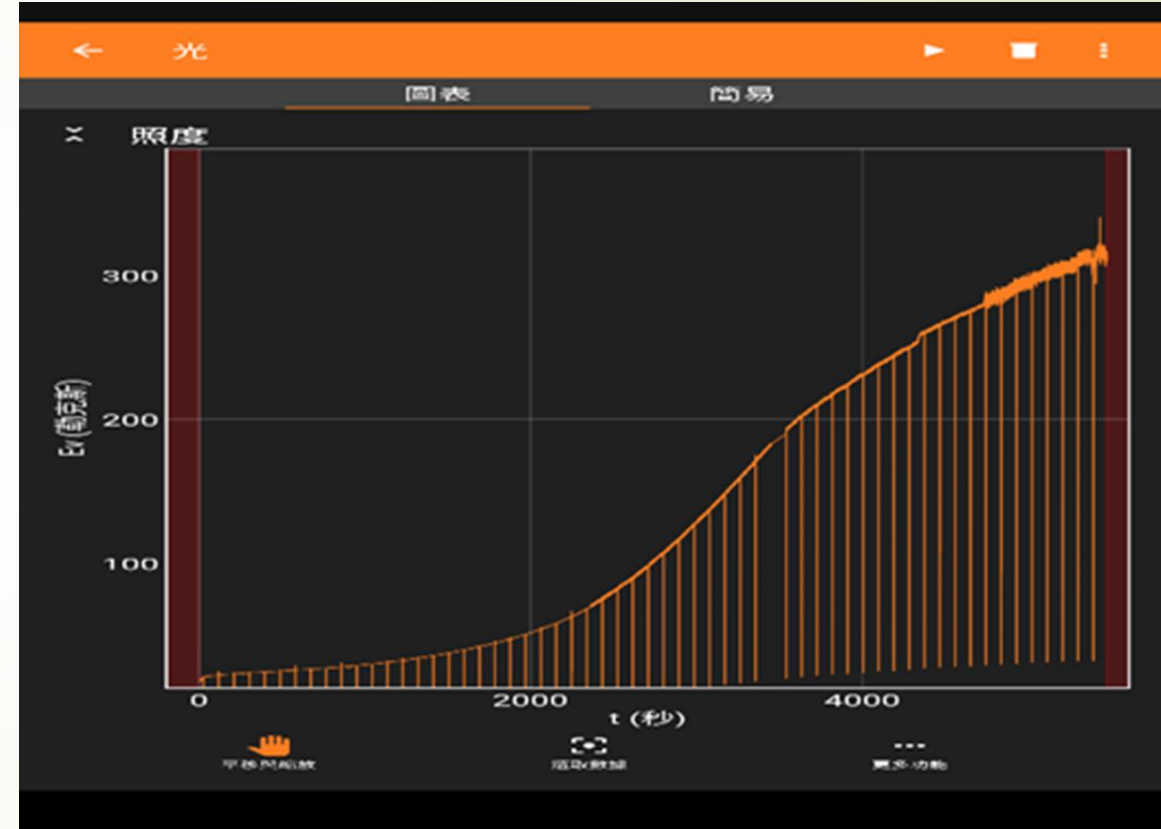
$$d = \frac{1.54 \text{ \AA}}{2} \frac{1}{\frac{1.057 - 1.0145}{57.3}}$$

$$= 1038 \text{ \AA}$$

$$= 103.8 \text{ nm}$$

光學中的尺寸效應-透光度與厚度的關係

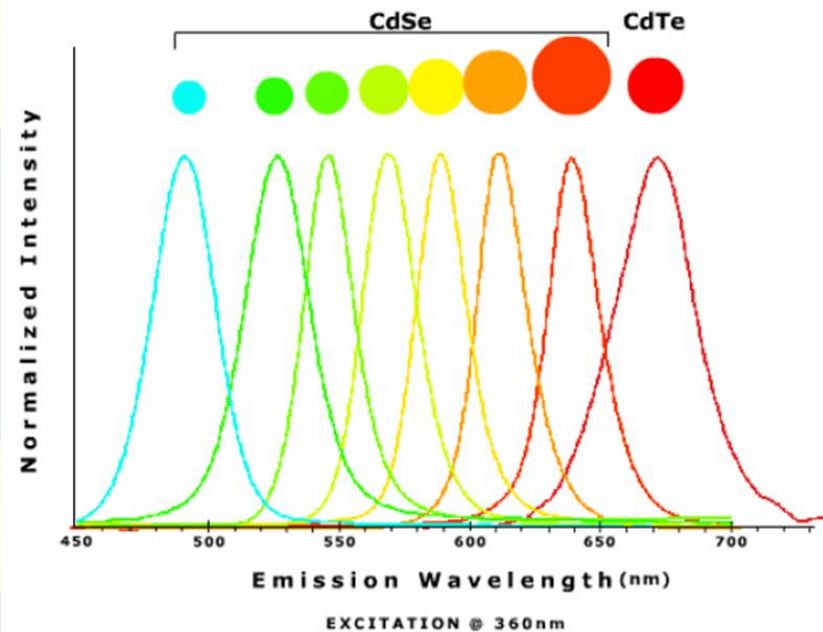
銀薄膜腐蝕過程的透光性



奈米材料:新材料-新的物性

量子尺寸效應

通常效應來自尺寸對固體能帶結構的改變使得電子的行為改變
因此產生物性的變化



A family of Qdot particles can be made to emit a full spectrum of colors when excited with a single excitation source.

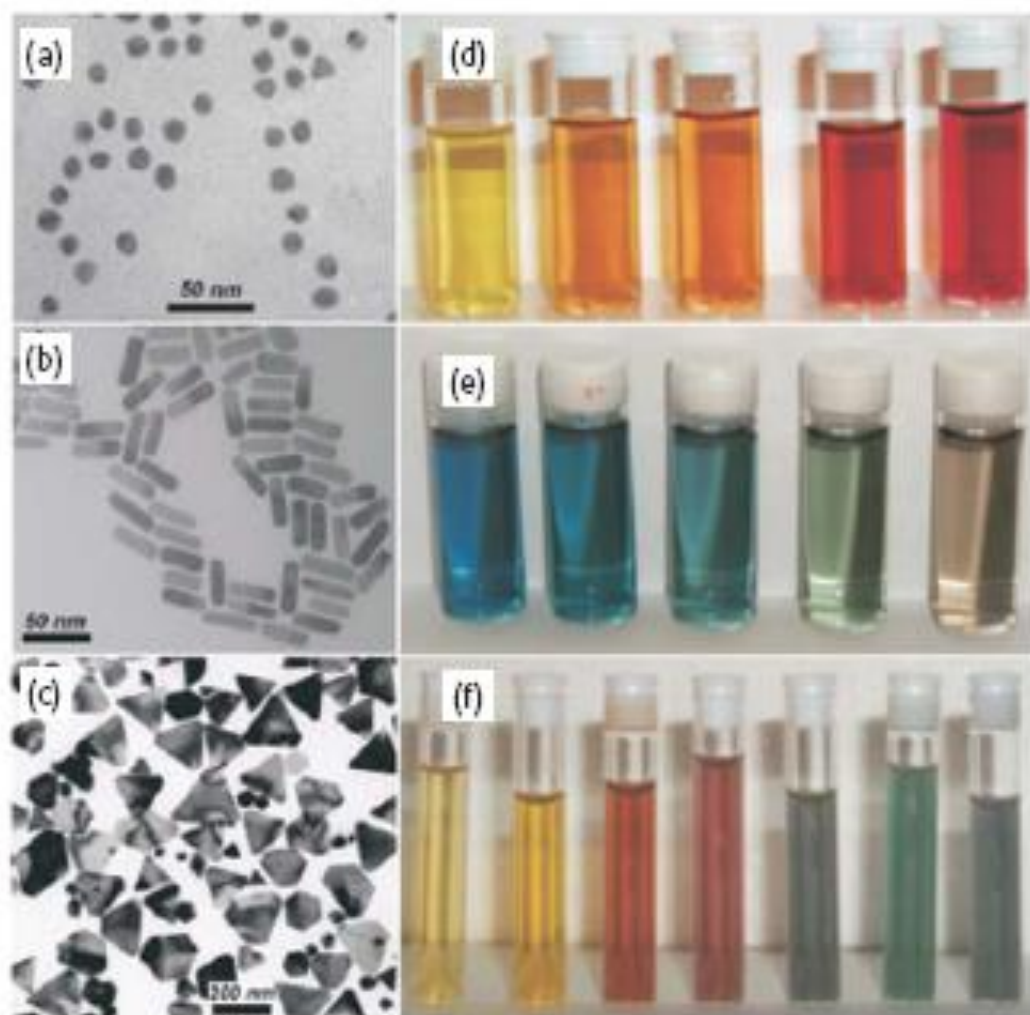
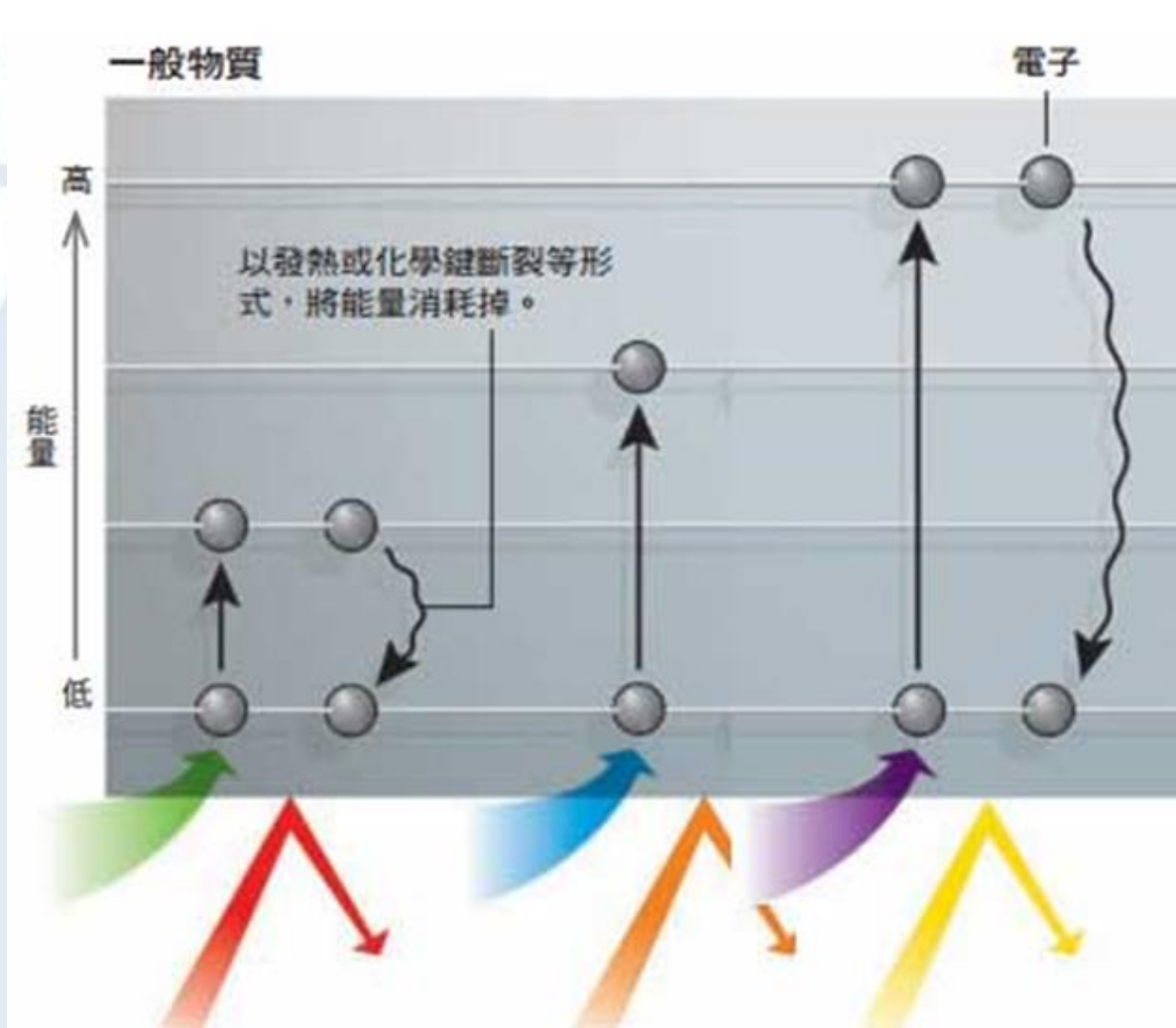


Fig. 2 Synthetic tunability of noble metal nanoparticles. (Left) Transmission electron micrographs of (a) Au nanospheres, (b) Au nanorods, and (c) Ag nanoprisms. (Right) Photographs of colloidal dispersions of (d) AuAg alloy nanoparticles with increasing Au concentration, (e) Au nanorods of increasing aspect ratio, and (f) Ag nanoprisms with increasing lateral size. (Reprinted with permission from ⁵³, © 2004 Elsevier.)



■光電效應實驗實施的優缺點

■重點能顯示 光的波長 比 光的亮度重要

需求

- 1.能於上課時演示-以五~十分鐘為度
- 2.道具簡單化
- 3.低危害性
- 4.易於觀察
- 5.能明確顯現” 光子 “的概念
- 6.避免混淆



圖一.使用雷射的亮度,紫光最弱.



圖三. 綠光雷射經過綠色與紅色螢光墨水溶液,綠色溶液有一綠色光跡, 紅色溶液出現黃色螢光光跡.



圖二.紅光雷射經過綠色與紅色螢光墨水溶液並無明顯光跡出現.



圖四 紫光雷射經過綠色與紅色螢光墨水溶液,綠色溶液有明顯螢光現象, 紅色溶液出現黃色螢光光跡.

可能的困難與缺點

1. 與乳光現象的可能混淆

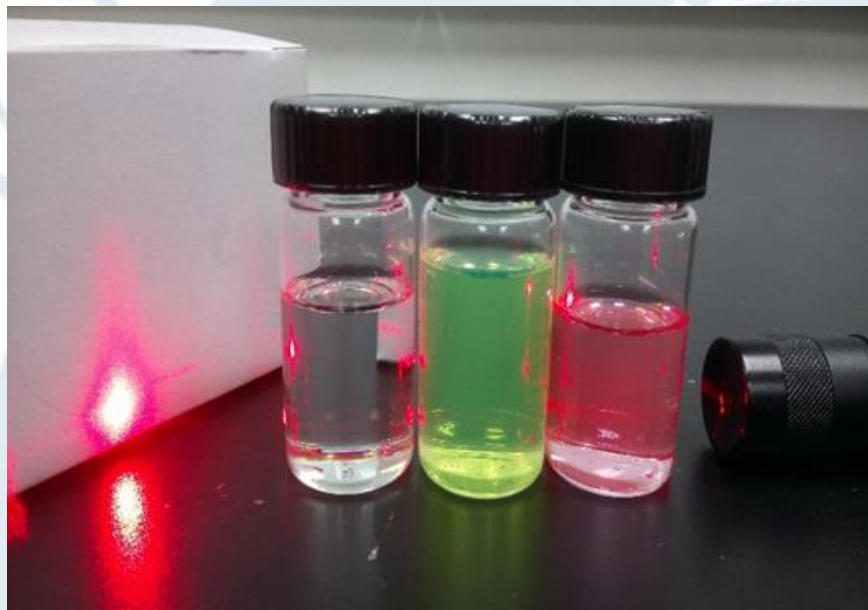
乳光的來源與現象區分

2. 可說明光子的概念 但不可直接類比光電效應的物性

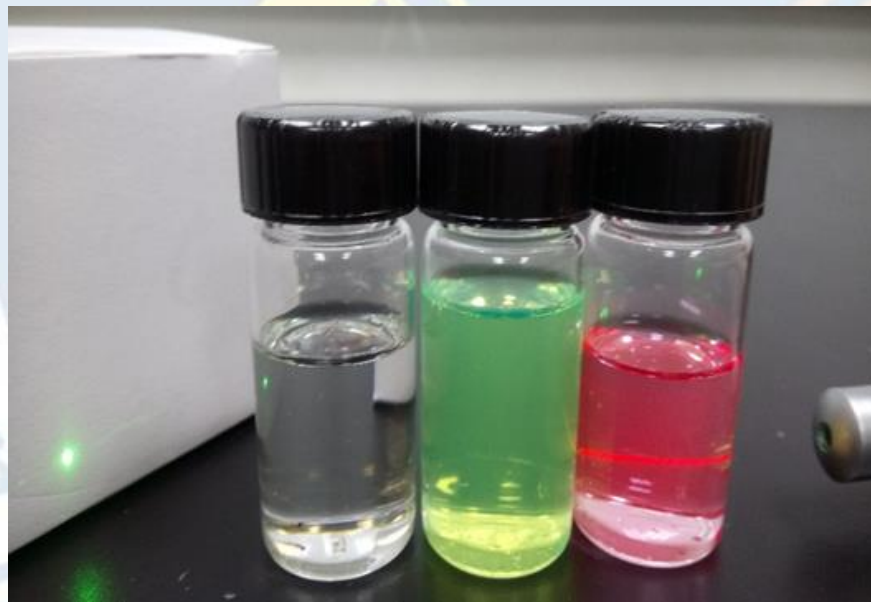
可引申的題材

1. 光通過各種物質會發生甚麼是？

2. 可以 “定量” 來量發光的多寡嗎？

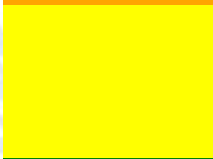


螢光棒的色彩較單純準確
不過處理麻煩些



LED 的驅動電壓

單色

顏色	λ 波長 (nm)	順向偏壓 (V)	化學式
<u>紅外線</u>	>760	< 1.9	GaAs AlGaAs
 <u>紅</u>	760至610	1.63-2.03	AlGaAs GaAsP AlGaInP GaP:ZnO
 <u>橙</u>	610至590	2.03-2.10	GaAsP AlGaInP GaP:?
 <u>黃</u>	590至570	2.10-2.18	GaAsP AlGaInP GaP:N
 <u>綠</u>	570至500	2.18-4	InGaN/GaN GaP AlGaInP AlGaP
 <u>藍</u>	500至450	2.48-3.7	ZnSe InGaN SiC Si (研發中)
 <u>紫</u>	450至380	2.76-4	InGaN
<u>紫外線</u>	<380	3.1-4.4	C (diamond) AlNAlGaNAIGaInN

光強不強有兩種意義

一是光的強度:光單位面積上的能量

二是光子的能量:與光的波長有關

一般人說光很強時常指得是單位面積上光的能量,簡單來說是光束的能量.但學過近代物理或光學的人又會學到電磁波波長越短其光子的能量越強,而常搞不清楚光子的能量與光強度的關係.

光的能量與波長有關其最早的現象觀察與解釋應是源於愛因斯坦對光電效應的解釋(這也讓愛因斯坦獲得諾貝爾物理獎).就現象上的觀察可以發現例如光亮度很強的紅光不一定能讓光電管產生光電流(或產生的光電流中的電子最大動能較低),反之是光亮度很弱的紫光能讓光電管產生光電流(或產生的光電流中的電子最大動能較高).

其原因是紫光的光子能量較高因此當光電管表面的電子吸收“紫光個別光子的能量”後脫離固體表面後仍有較大的動能。

光的強度其實是光子的個數乘以光子的能量.

光電效應中光電流的產生是跟光子能的能量是否足夠能讓電子脫離固體表面有關.並不跟光強度直接相關(光強只是反應光子個數很多不代表光子的能量很高).很明顯綠光跟紅光亮度是比紫光強, 但只是表示這時綠光與紅光光子較多但紅光與綠光的光子能量還是比紫光低).一般我們不易直接做光電效應的實驗來驗證上述說法. 在此我們可改用螢光筆的墨水來說明相近的現象.

想辦法真的看到nano 電子顯微鏡 (EM)

1924年法國物理學家de Broglie提出電子具有波動性質的理論，之後就有人提出電子顯微術(Electron Microscopy)的想法。

理論上，只要經數萬伏特加速的電子束，它的波長就可縮短到 $0.1\text{\AA}$ 以下，材料的原子排列情形應可清清楚楚的看到。

1934年，德國人Ruska發明了穿透式電子顯微鏡。開啟了新的紀元，往後數十年的發展，改良了用來使電子束聚焦的磁場或靜電場透鏡，降低了難以克服的像差問題，**電子顯微鏡一直到1970年代才第一次看到原子量很大的鈾原子，把微米世界推向了原子的世界。**

電子顯微鏡要能成功突破繞射極限的關鍵

1. 電子是波;而且波常可以很小
2. 可以聚焦電子束

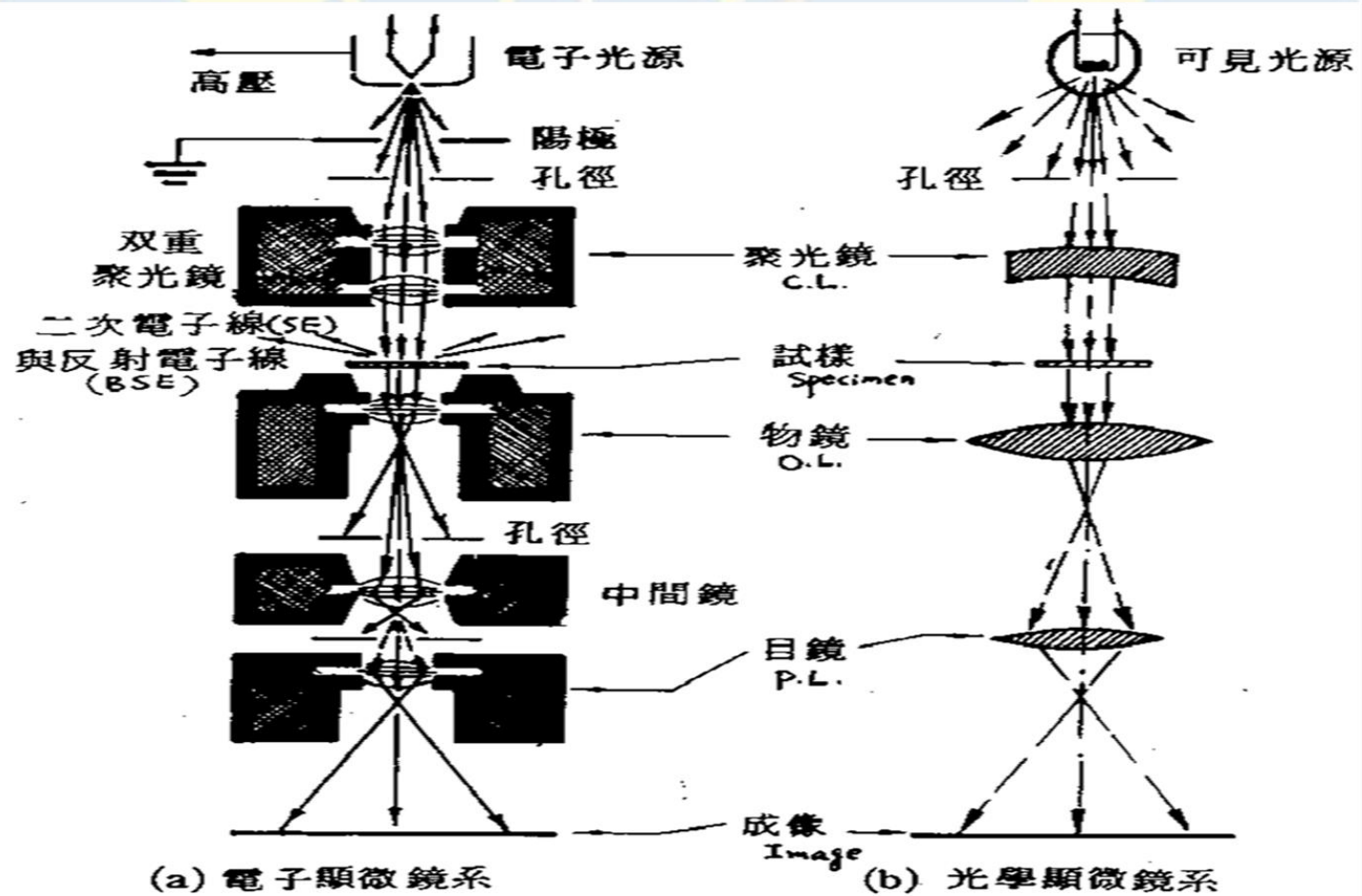
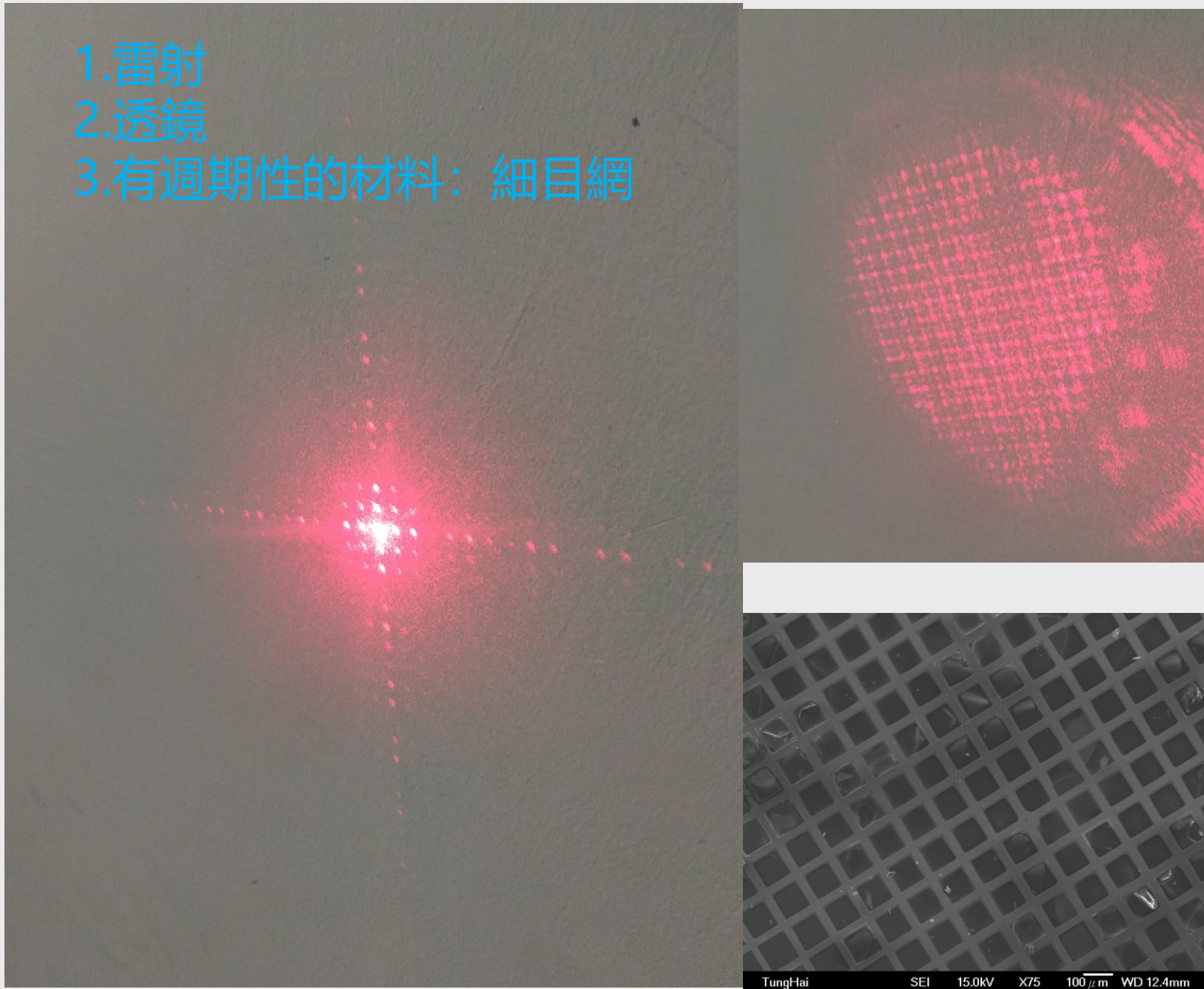


圖 1-14 電子顯微鏡與光學顯微鏡結構之比較

- 1.雷射
- 2.透鏡
- 3.有週期性的材料：細目網



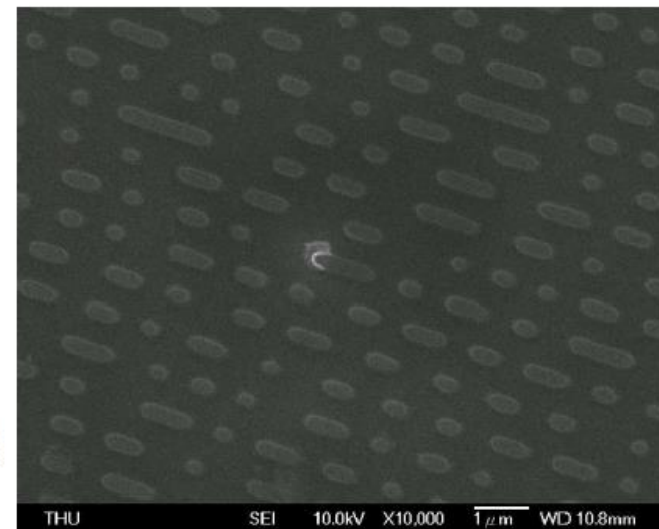
CD的繞射現象

教學重點：

1. 適當的工具(探測工具需與待測樣本的尺度相當)
因為光碟片上的儲存單元與可見光尺度相當，
所以可見到繞射點的出現。

雷射光若照射在非儲存區(圓心附近)不會有繞射點
(雖然那裏還有原子的排列但其間距跟波長差太多)
可用說明我們一般不易察覺奈米物質便是因光學極限
的限制因此很困難觀察研究組成小於**100nm**的物質

2. 波長長的光“散射角度越大”





準備不同顏色的雷射筆(目前市售有紅、綠與藍光三種)。將雷射筆的雷射透過前面已剝離的光碟片無鍍膜處，我們可發現雷射光透過碟片後形成斑點狀的繞射點(圖5-5)



圖 5-5 不同雷射光透過碟片後方產生繞射點。波長較長的光繞射點的距離較大。

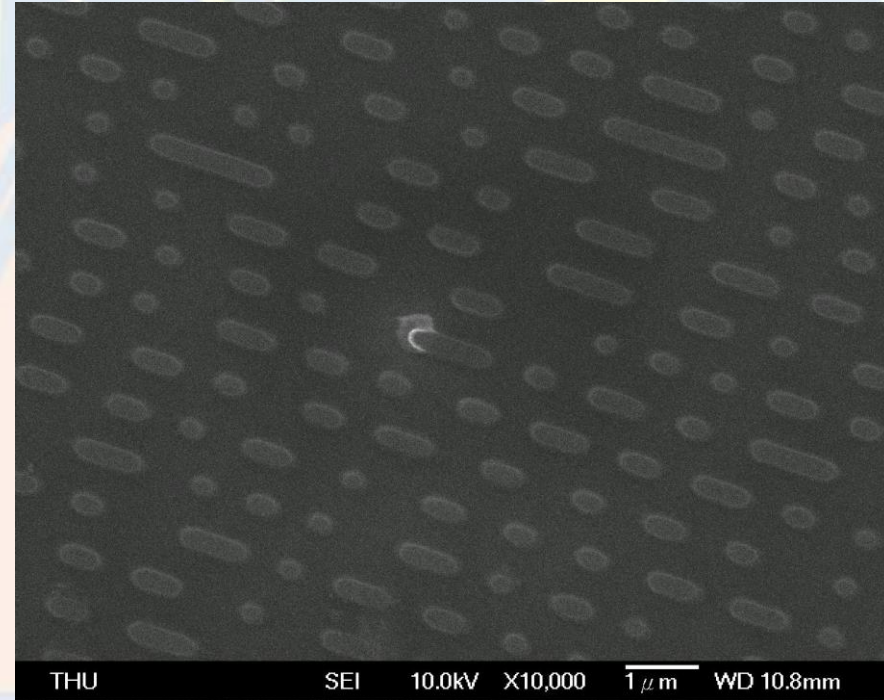


圖 5-6 光碟片的掃描電子顯微鏡相片