

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 化學科

佳作

050204

奈米金應用於潛指紋檢測之研究

學校名稱：國立臺灣師範大學附屬高級中學

作者： 高二 王 愷 高二 林文心	指導老師： 陳昭錦
-------------------------	--------------

關鍵詞：奈米金、奈米金團簇、潛指紋檢測

摘要

指紋檢測技術為現今偵辦犯罪事件中一項重要的工具，傳統上以粉末法檢測指紋中的水分為主要方法，然而水分易隨著採樣時間拉長而消失，粉末法就難以派上用場。為解決此難題，本實驗利用奈米金可吸附油脂的特性以及具「表面電漿子偶極共振」效應，比較奈米金、奈米金團簇、四氯金酸三者於檢測指紋效果的優劣。研究發現三者之中，以指紋復現明顯程度來看，奈米金團簇的效果最佳，因其可以照射紫外光之後顯現出螢光，而四氯金酸耗時最久，因其須先還原成金原子，故整個過程長達兩小時。本研究亦嘗試在奈米金團簇上，修飾 K 他命抗體，以達到更加專一的指紋檢測。

Abstract

Fingerprint detection technique plays a vital role in investigating criminal cases. The most common way, powder method is the primary way by detect the water in the fingerprint. The water, however, vanishes as the time passes by. As a result, this experiment uses nano gold as an approach due to the property of "Surface Plasmon Resonance" and the adhesion to the fat in the fingerprint. This experiment also compares the gold nanoparticles, nano gold clusters and chloroauric acid finding out that nano gold cluster is the most effective owing to its fluorescent under UV. Nevertheless, because the gold ion has to reduce into atomic state first, chloroauric acid takes the longest time, two hours. Furthermore, this experiment makes attempts to modify Ketamine antibody onto nano gold cluster to identify the fingerprint faster and more specifically.

壹、研究動機

常在美式影集或者新聞中，看到警探於犯罪現場中使用粉末法採集指紋，然而可能因指紋遇水、或採集時間距案發當下過久，導致指紋模糊不清或無法辨識。傳統上粉末法主要是檢測指紋中的水分，此法有三個主要的缺點：1.當指紋所在的環境充滿水時，例如：浴室、海邊、下水道等，指紋中水分跟周遭環境混合在一起，粉末法便無法檢測出指紋 2.水份會隨著時間的流逝而蒸發，若是採樣的時間拖延過久或者在十分乾燥、通風的環境中，這時粉末法也難派上用場 3.粉末法通常使用黑色碳粉、白色鋁粉檢測指紋，但是當指紋背景顏色過於複雜，就無法輕易辨別指紋。

由此引發我們想探討是否有更有效的檢測方式呢？閱讀相關文獻後，我們發現奈米金可能符合需求。由於奈米尺度的金表面具有特殊的光學性質與生物相容性，並在生物醫學檢測上具有廣泛應用，且奈米金會與指紋當中的脂質反應，進而顯現出指紋，而其在 UV 光照射下甚至會發螢光，所以奈米金不僅可改善傳統粉末法的缺點，更能幫助精準判讀。

此外奈米金表面可以修飾上不同的抗體或蛋白質，使得指紋檢測能有更廣泛的應用，例如：若在奈米金表面修飾上 K 他命的抗體，藉由採集指紋，我們可以判斷嫌犯是否有吸食這類毒品，有助於鎖定某些對象，且留下指紋不像以往抽血、驗尿需要更多條件的配合，並可降低嫌犯戒心，使檢方更易取得可檢測的檢體。

貳、研究目的

- 一、比較奈米金與奈米金團簇在檢測指紋時的差異。
- 二、研究奈米金團簇如何修飾抗體或其他化合物。
- 三、研究修飾 K 他命抗體之奈米金團簇於潛指紋檢測之效果。

參、研究設備及器材

一、藥品

1. 2-(*N*-morpholino)ethanesulfonic acid (MES)
2. ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl)carbodiimide hydrochloride(EDC)
3. K 他命抗體
4. K 他命
5. N-hydroxysuccinimide(NHS)
6. 牛血清白蛋白(BSA)
7. 王水
8. 去離子水
9. 四氯金酸
10. 酒精
11. 氫氧化鈉
12. 聚乙二醇(PEG)
13. 聚山梨醇酯(Tween20)
14. 磷酸鹽緩衝生理鹽水(PBS)
15. 檸檬酸鈉

二、設備

1. pH 儀
2. UV 燈
3. 分光光度計
4. 硝化纖維
5. 超音波震盪器
6. 電子天平
7. 電磁加熱攪拌器
8. 烘箱
9. 全波長式多功能微盤分析儀
10. 穿透式電子顯微鏡

肆、研究過程或方法

一、實驗原理

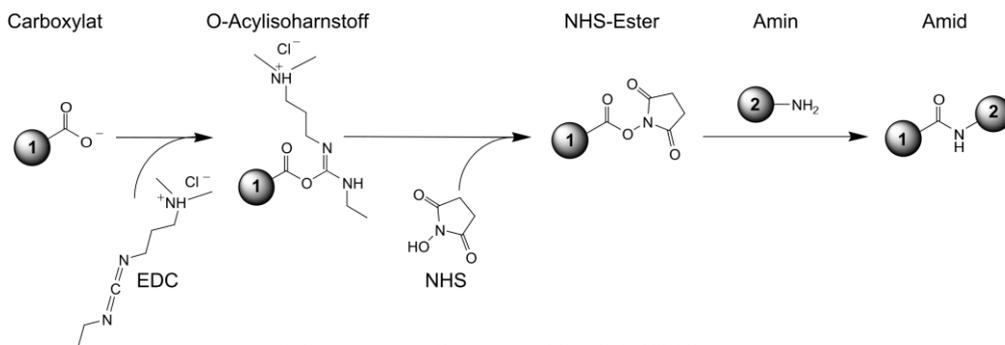
奈米金的基本性質，最主要是因為半徑極小，導致表面積非常大，並且有許多的電子在奈米金表面，這讓奈米金成為一種很活潑的物質。奈米金之所以會從黃金原有的顏色變成紅色，是因為奈米粒子表面的電子產生共振而容易吸收特定波長的光電磁波，這一特性稱為「表面電漿子偶極共振」，此一特性所吸收的光電磁波波長會受粒子半徑大小的影響，當半徑改變時，吸收波峰會產生紅位移或是藍位移，所以透過測量奈米金溶液的吸收光波峰，我們就可以得知奈米金粒子的大小。

奈米金團簇是指半徑小於 2 nm 的奈米金，其表面上所包覆的保護層成分可以影響其性質，由於粒徑更加縮小，電子共振的影響更大，表面效應與尺寸效應導致奈米金團簇擁有螢光的特性。



圖一 不同粒徑之奈米金膠體溶液

奈米金的應用相關研究中，可修飾蛋白質或抗體到奈米金粒子或是奈米金團簇上，讓粒子可以產生不同的性質及反應。此一方式的原理是利用 EDC 和 NHS 混合液作為抗體及奈米金團簇的結合劑，先利用 EDC 與抗體上的羧基結合，形成一種不穩定的衍生物，衍生物再與 NHS 反應，形成較穩定的酯類，最後得到的酯類產物與奈米金團簇表面 BSA 的胺基結合。



圖二 EDC 與 NHS 的反應機構

二、實驗一：合成奈米金粒子

(一) 目的：合成出特定半徑之奈米金粒子，我們希望合成出 13nm 的奈米金粒子。

(二) 步驟：

1. 以王水、去離子水潤洗所有器具，再用去離子水淋洗 3 次烘乾備用。
2. 架設加熱回流裝置：電磁加熱攪拌器、冷凝管、圓底瓶。
3. 將 1 mM 之四氯金酸(HAuCl_4)溶液 30 mL 加入圓底瓶，迴流加熱至沸騰。
4. 將 1.5 mL 之 38.8 mM 檸檬酸鈉 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$) 水溶液自冷凝管上端快速加入圓底瓶，加熱 10 分鐘。
5. 移除加熱系統，並持續攪拌至室溫。
6. 用分光光度計測量奈米金粒子的吸收度波峰之波長，以檢測其粒子半徑。
7. 利用穿透式電子顯微鏡測量奈米金粒子半徑。



圖三 四氯金酸溶液



圖四 加入檸檬酸鈉後變成紅色

三、實驗二：合成奈米金團簇

(一) 目的：合成出統一成分及大小的奈米金團簇。

(二) 步驟：

1. 10 mM 四氯金酸溶液與 50 mg/mL 之 BSA 溶液以 1 比 1 的比例混合，劇烈搖晃 10

秒使其充分混合。

2. 加入氫氧化鈉，使 pH 值達到 11.5。
3. 在 70 °C 環境下，攪拌兩小時。
4. 放置室溫冷卻。
5. 利用分光光度計檢測其粒徑大小，並照射 UV 光，確定螢光效果。
6. 使用分光光度計檢測其吸收度波峰之波長。

四、實驗三：奈米金與奈米金團簇於潛指紋的檢測

(一) 目的：研究未修飾的奈米金及奈米金團簇在不同材質上，檢測指紋的效果。

(二) 步驟：

1. 為了不影響實驗結果，潛指紋的分泌物含量必須相同。先用酒精擦拭手指，擦乾後在額頭摩擦 20 秒，在待測的材質上按壓 15 秒。
2. 浸泡去離子水 5 分鐘。
3. 分別浸泡於 1 mM 四氯金酸溶液、1 mM 奈米金粒子溶液及 1 mM 奈米金團簇溶液中兩小時，並每隔一小時紀錄一次潛指紋的顯現情形。
4. 兩小時後，取出沾有指紋的玻璃片及銅版紙，浸泡去離子水 20 分鐘，洗去殘留的奈米金。
5. 將洗去殘留物的玻璃片和銅版紙取出並晾乾後，照射 UV 光，檢測是否有螢光指紋產生。

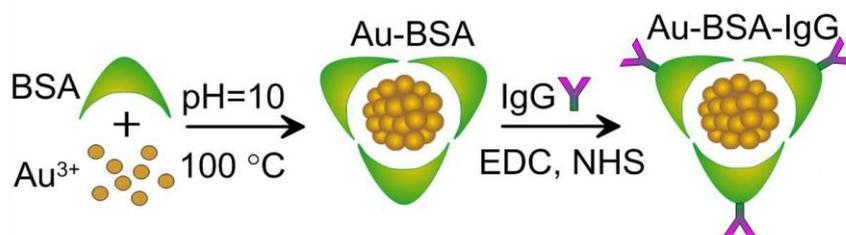
五、實驗四：奈米金團簇之修飾

(一) 目的：將 K 他命抗體修飾到奈米金團簇上。

(二) 步驟：

1. 將 7.5 mg EDC 和 8.5 mg NHS 加入 250 μ L 的 PBS 中。
2. 加入 1.2 μ L 的 K 他命抗體。
3. 在室溫、黑暗的環境下，置於超音波震盪器裡混合 15 分鐘。
4. 取 100 μ L 的抗體混合液加進 1 mL 奈米金團簇溶液中。
5. 放於室溫、黑暗環境下兩小時。

6. 將 K 他命溶液滴到硝化纖維上，等待 10 分鐘，再將 PEG 滴到硝化纖維上，包覆住沒有沾到 K 他命溶液的部分，再等待 30 分鐘。
7. 滴加修飾奈米團簇到硝化纖維上檢測抗體是否有修飾到奈米金團簇上。



圖五 奈米金團簇修飾流程

圖片來源： Boris Khlebtsov, Elena Tuchina, Valery Tuchin, and Nikolai Khlebtsova (2015).
The Royal Society of Chemistry, 00, 1-13 .

六、實驗五：不同酸鹼值對奈米金團簇修飾的影響

(一) 目的：改變 EDC,NHS 反應時的酸鹼值及奈米金團簇的酸鹼值，以加強修飾結果。

(二) 步驟：

1. 從文獻中我們得知 EDC 及 NHS 反應的最佳酸鹼值在 pH4.5~7.2，所以我們這次修飾 K 他命抗體的溶劑，從中性的 PBS 改成酸性的 MES。
2. 加入鹽酸將奈米金團簇的酸鹼值調成 pH7.5，再修飾抗體上去。
3. 在硝化纖維膜上，由左而右分成四個部分，第一個滴加 K 他命使用完全未經修飾的奈米金團簇，第二個滴加 K 他命使用只修飾 EDC、NHS 但沒有修飾抗體的奈米金團簇，第三個使用完整修飾的奈米金團簇，但不滴 K 他命，第四個滴加 K 他命使用完整修飾的奈米金團簇。

表一 奈米金團簇的處理方式

實驗編號	EDC、NHS	K 他命抗體	K 他命
一	無	無	有
二	有	無	有
三	有	有	無
四	有	有	有

4. 滴加 K 他命到硝化纖維膜上，等待 10 分鐘晾乾，再浸泡於 PEG 溶液中 30 分鐘，接著使用烘箱烘乾。
5. 分別滴加經過不同處理(參見表一)的奈米金團簇 0.5 μ L，等待 10 分鐘晾乾。
6. 使用 PBS 洗去多餘的奈米金團簇。
7. 使用烘箱烘乾，再用 UV 燈照射，檢測是否產生螢光。

七、實驗六：結合奈米金粒子與奈米金團簇應用於 K 他命檢測。

(一) 目的：透過結合奈米金粒子及團簇的方式，合成出檢測 K 他命的奈米金。

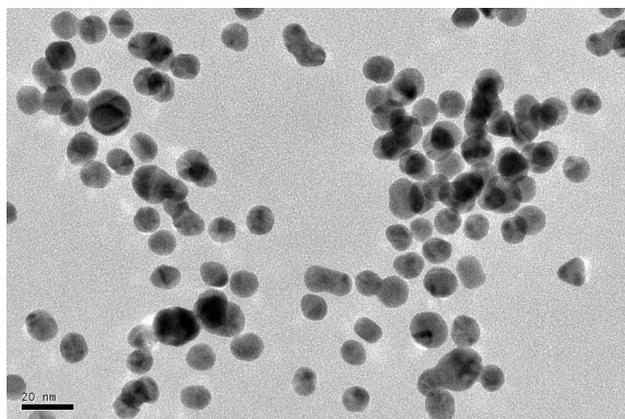
(二) 步驟：

1. 將 1 μ L K 他命抗體加入 1mL 奈米金粒子溶液。
2. 取 500 μ L 奈米金粒子溶液三組，分別加入 500 μ L 的 BSA、奈米金團簇、去離子水。
3. 離心後取奈米金沉澱，用 1mL PBST 回溶。
4. 將修飾 K 他命抗體的奈米金滴至含有 K 他命的硝化纖維膜上，用 PBST 洗掉多餘的奈米金。
5. 檢測是否有螢光產生，並使用全波長式多功能微盤分析儀測量螢光強度。

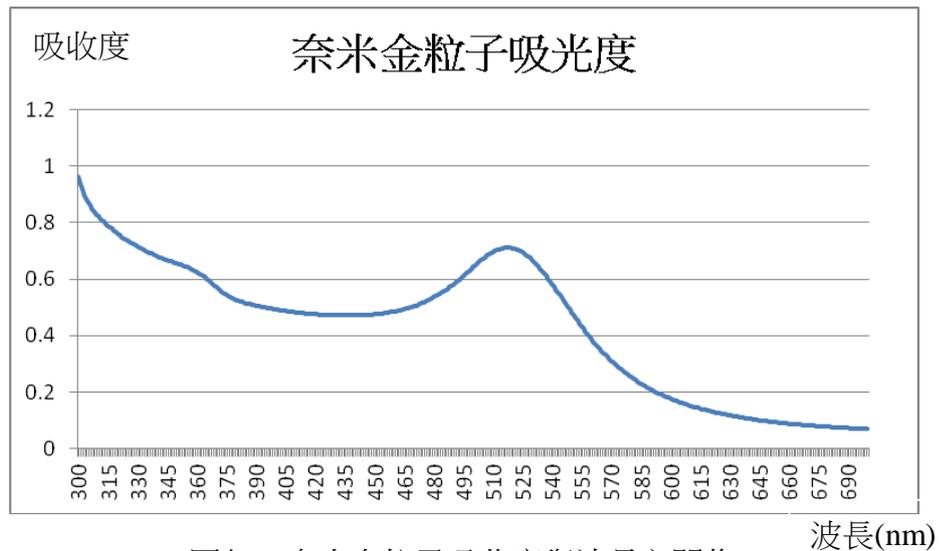
伍、研究結果

一、實驗一：合成奈米金粒子

(一) 四氫金酸原本是金黃色，加入檸檬酸鈉後，顏色快速變成深紅色。待溶液冷卻後，我們用分光光度計檢測溶液之吸收度，其吸收波峰之波長約為 520nm。利用穿透式電子顯微鏡測量的粒徑平均值約為 13nm。



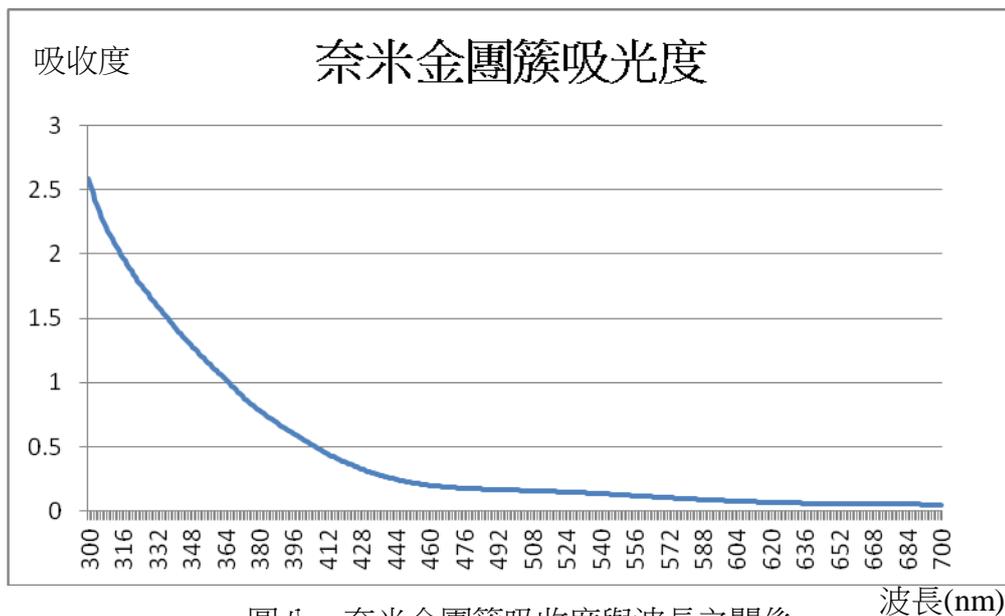
圖六 穿透式電子顯微鏡下的奈米金粒子



圖七 奈米金粒子吸收度與波長之關係

二、實驗二：合成奈米金團簇

- (一) 四氯金酸的顏色為金黃色，合成奈米金團簇時，看到顏色越來越深，變成深黃色。在 UV 光下照射，會產生紅色螢光。

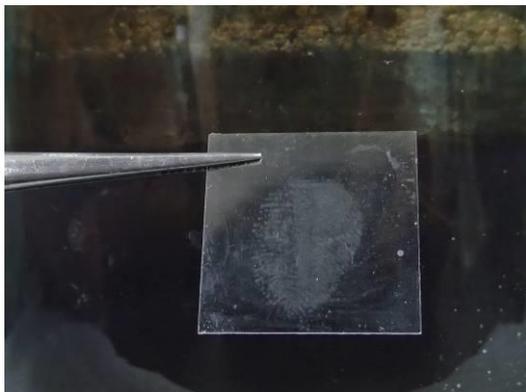


圖八 奈米金團簇吸收度與波長之關係

三、實驗三：奈米金與奈米金團簇於潛指紋的檢測

- (一) 一小時後，浸泡於奈米金粒子溶液和奈米金團簇溶液的玻璃片皆有指紋顯現，其顏色分別為紅色及白色，浸泡於四氯金酸的玻璃片或銅版紙則都沒有反應。
- (二) 兩小時後，浸泡於四氯金酸的銅版紙顯現出紅色的指紋，玻璃片沒有反應。浸泡於奈米金粒子溶液和奈米金團簇溶液的銅版紙也沒有出現任何指紋印。

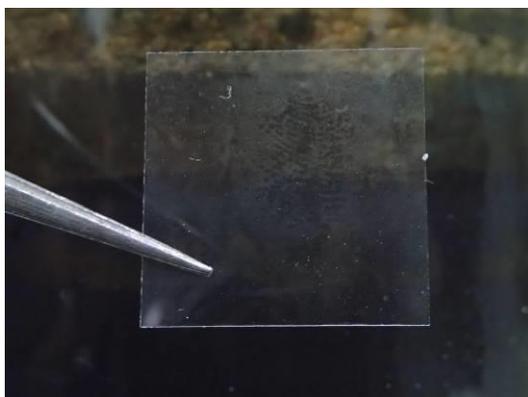
(三) 照射 UV 光時，浸泡於奈米金粒子溶液和奈米金團簇溶液的玻璃片及銅版紙都有產生螢光的指紋，而浸泡於四氯金酸的玻璃片並無顯現出指紋。



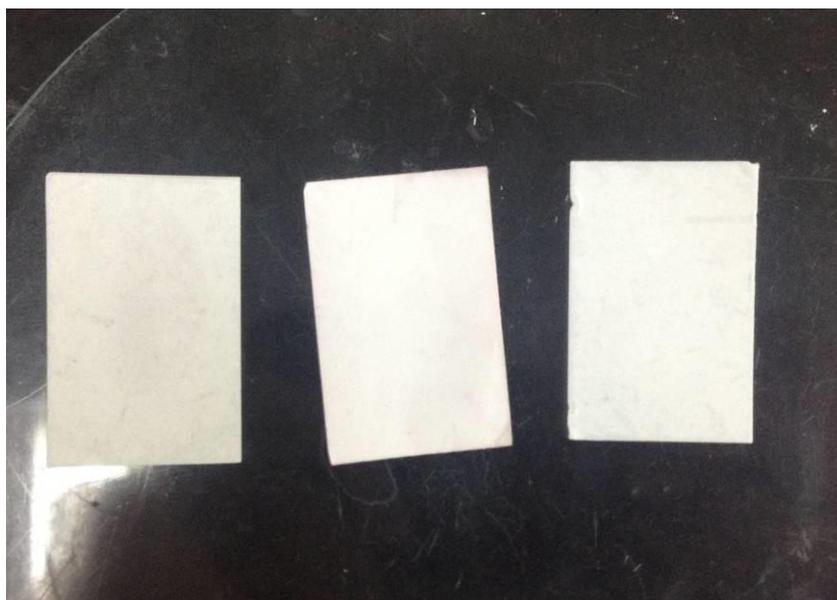
圖九 浸泡奈米金團簇溶液
一小時的玻璃片



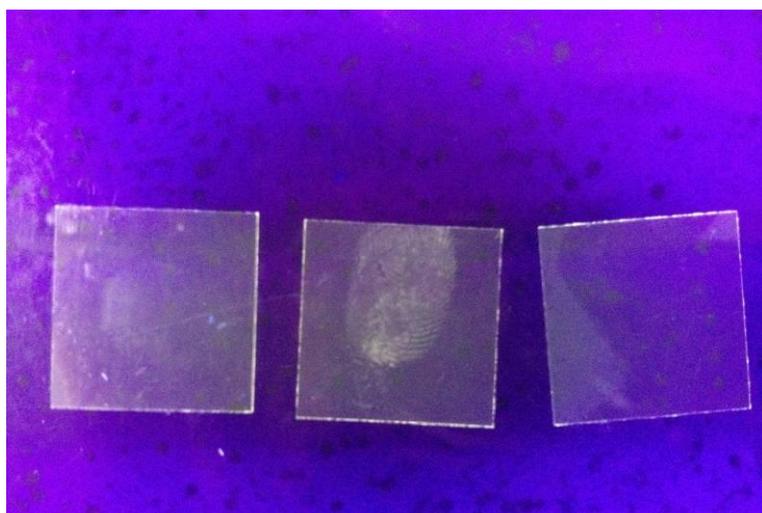
圖十 浸泡奈米金粒子溶液
一小時的玻璃片



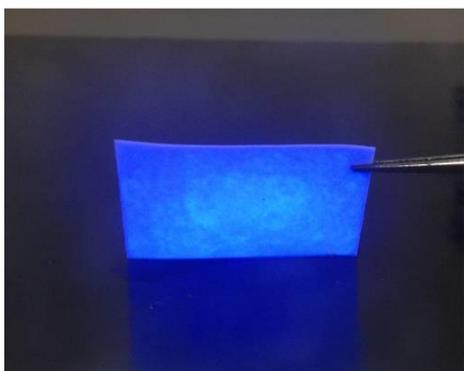
圖十一 浸泡四氯金酸一小時的玻璃片



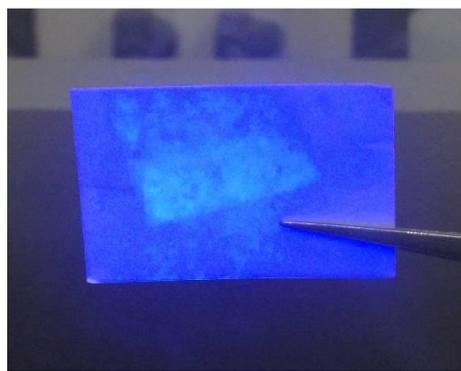
圖十二 由左而右，分別是浸泡於四氯金酸、奈米金粒子、奈米金團簇溶液一小時的銅版紙



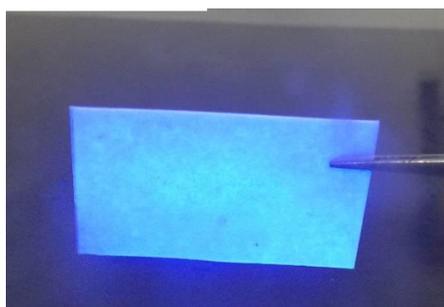
圖十三 由左而右分別為浸泡於四氯金酸、奈米金粒子、 奈米金團簇溶液一小時後照射 UV 光之玻璃片



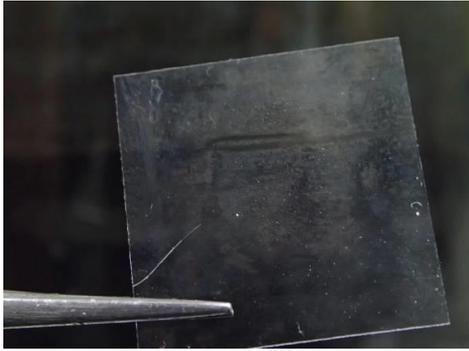
圖十四 浸泡奈米金粒子溶液一小時，照射 UV 光之銅版紙



圖十五 浸泡奈米金團簇溶液一小時，照射 UV 光之銅版紙



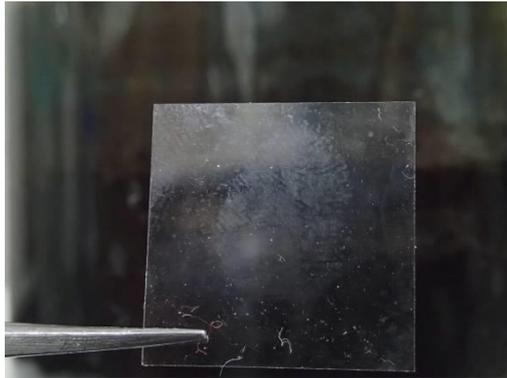
圖十六 浸泡四氯金酸一小時，照射 UV 光之銅版紙



圖十七 浸泡四氯金酸溶液兩小時的玻璃片



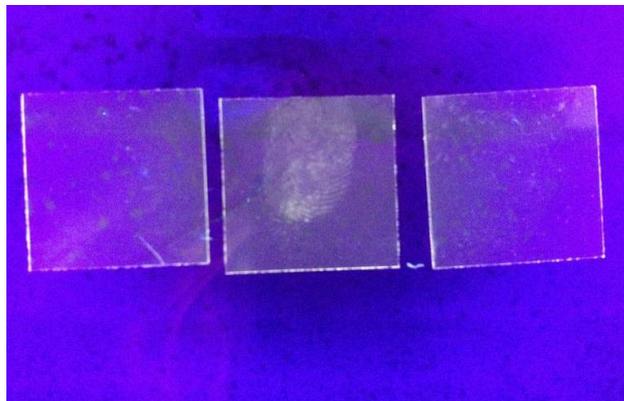
圖十八 浸泡奈米金粒子溶液兩小時的玻璃片



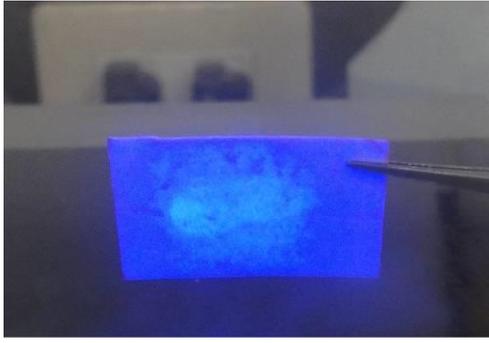
圖十九 浸泡奈米金團簇溶液兩小時的玻璃片



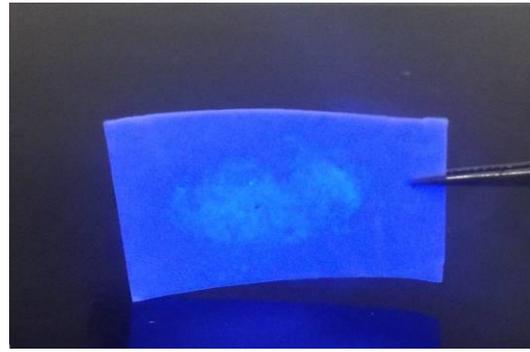
圖二十 由左而右分別為浸泡四氯金酸、奈米金粒子、奈米金團簇溶液兩小時的銅版紙



圖二十一 由左而右分別為浸泡四氯金酸、奈米金粒子、奈米金團簇溶液兩小時照射 UV 光之玻璃片



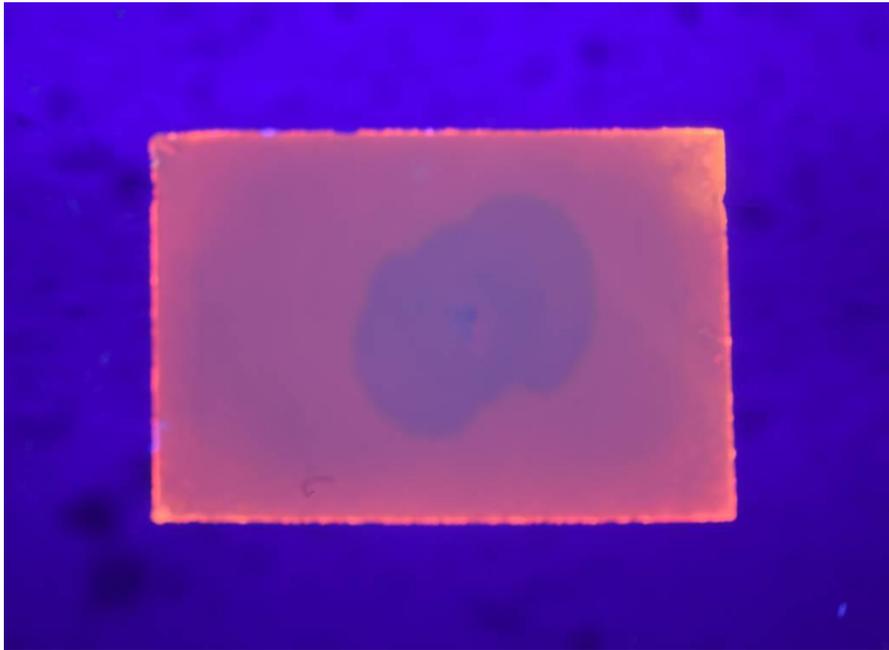
圖二十二 浸泡奈米金粒子溶液兩小時
照射 UV 光的銅版紙



圖二十三 浸泡奈米金團簇溶液兩小
時照射 UV 光的銅版紙

四、實驗四：奈米金團簇之修飾

- (一) 修飾後的奈米金團簇其顏色、吸收光波峰及粒子大小皆沒有明顯改變，所以從外觀上沒有辦法確認抗體是否修飾到團簇上了。
- (二) 滴加修飾奈米金團簇溶液到硝化纖維膜上，發現沾有 **K** 他命的部分並沒有螢光反應，反而是用 **PEG** 包覆的部分有螢光，代表修飾失敗。



圖二十四 中間部分為滴加了 **K** 他命，其他部分用 **PEG** 包覆。
在 UV 光下可看出，中間滴加 **K** 他命的部分沒有螢光
反應，反而是 **PEG** 包覆的地方產生螢光反應。

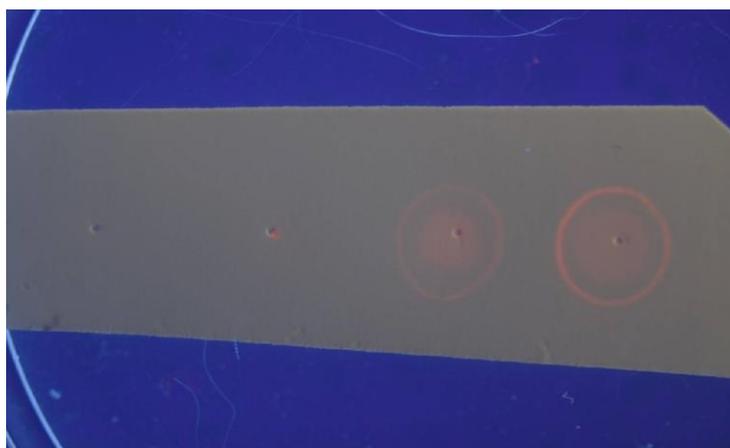
五、實驗五：不同酸鹼值對奈米金團簇修飾的影響

(一) 奈米金團簇 pH 值最小只能到 5.5，若低於此範圍奈米金團簇就會聚集並沉澱。



圖二十五 奈米金團簇之 pH 值達到 5.5，產生沉澱

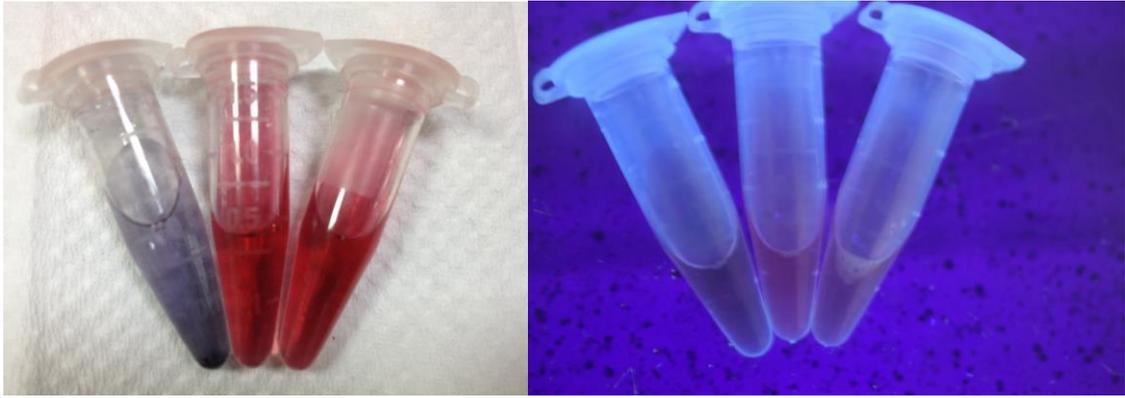
(二) 使用 pH 值 7 的奈米金團簇，完整修飾之奈米金團簇皆會產生螢光，而未完整修飾的部分都沒有螢光反應。



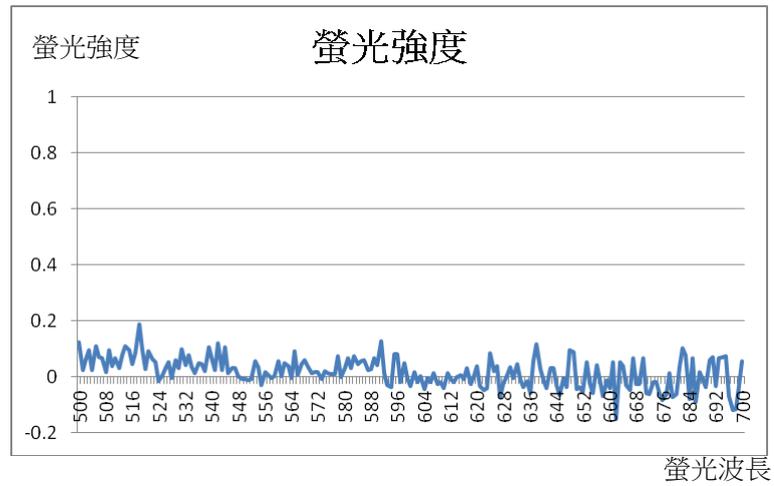
圖二十六 pH 值 7，不同處理的四氫金酸檢測 K 他命之效果

六、實驗六：結合奈米金粒子與奈米金團簇應用於 K 他命檢測。

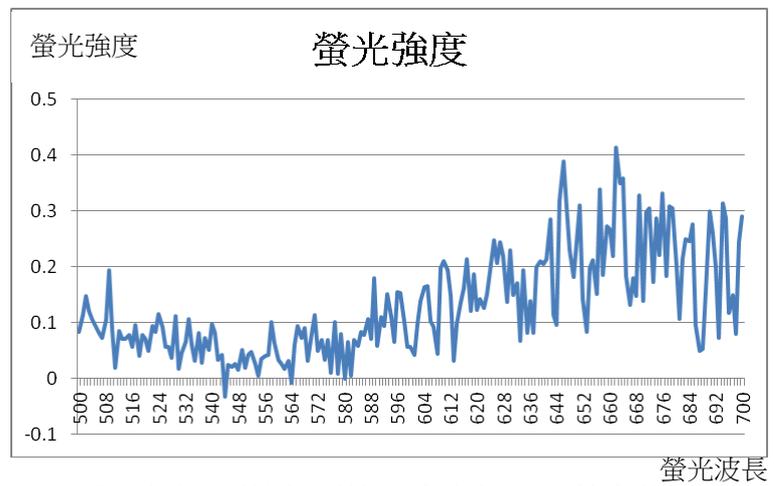
(一) 加入 PBST 後，奈米金粒子聚集而變成黑色，若粒子有 BSA 包覆，則不會聚集，且加入奈米金團簇的奈米金也沒有聚集，代表團簇成功修飾到奈米金粒子上。照射 UV 光時，修飾奈米金團簇的奈米金會有螢光產生，為紅色螢光。



圖二十七 由左而右分別為奈米金粒子加入去離子水、BSA、奈米金團簇



圖二十八 BSA 包覆的奈米金粒子之螢光強度



圖二十九 團簇包覆的奈米金粒子之螢光強度

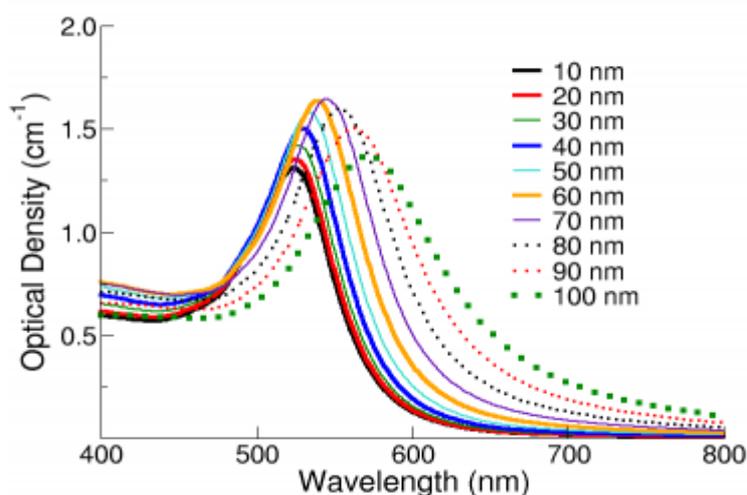
(二) 本次實驗處理後的奈米金，在含有 K 他命的硝化纖維膜上會顯現出紅色，但是看不到螢光產生。

陸、討論

一、實驗一：合成奈米金粒子

奈米金的半徑會影響其顏色與許多性質，為了固定實驗結果，我們使用 13nm 的奈米金粒子，此時奈米金的顏色為深紅色。

奈米金由於表面電漿共振的引響，不同粒徑大小的奈米金會產生不同的吸收波峰，當粒徑增大時，吸收波峰的波長會發生紅位移，波長增大，反之則變小。根據資料(參考資料三)的實驗結果，吸收度為 520nm 的奈米金粒子，粒徑大小為 13nm，與我們的實驗結果相同。



圖三十 奈米金粒徑大小與吸收光波峰之關係

圖片來源 <http://nanocomposix.com/pages/gold-nanoparticles-optical-properties>

奈米金合成的原理，是將金離子還原。四氯金酸溶液提供金離子，而檸檬酸鈉則做為還原劑，將金離子還原成金，為了避免還原後的金聚集，所以在合成時必須將溶液加熱至沸騰。合成出的奈米金粒子溶液並不是指奈米金溶於水中，而是含有懸浮奈米金粒子的膠體溶液，因此奈米金粒子溶液也稱膠體金溶液。

奈米金粒子溶液必須保存於 4°C 環境，且使用前必須放於超音波震盪機 1 分鐘，使聚集的較大塊的奈米金沉澱散開。

二、實驗二：合成奈米金團簇

奈米金團簇的合成方式是利用一些保護層將一群金原子包住，本次實驗是 BSA 來包覆。

因為實驗時是將金離子還原同時包覆，所以合成團簇時只需要加熱及混合，且溫度過高時會破壞 BSA 的結構，實驗時不可超過 70°C。

合成出的奈米金團簇因為有 BSA 包覆，所以不須擔心金原子聚集而發生沉澱的問題，且保護層也讓奈米金團簇較奈米金粒子穩定，所以不需放置於 4°C 保存。

另外，奈米金團簇的粒徑大小會影響螢光時放出光的波長，透過改變 BSA 與四氯金酸的混合比例，可以合成出不同粒徑大小的奈米金團簇，也就是不同螢光顏色的奈米團簇。

三、實驗三：奈米金與奈米金團簇於潛指紋的檢測

(一) 潛指紋顯現的原因:

四氯金酸之所以可以用來檢測潛指紋，根據資料(參考資料七)，是因為指紋上所殘留的汗液，汗液的成分可以做為還原劑，將四氯金酸的金離子還原成金，且可以吸附金原子，所以會產生紅色的指紋。奈米金可以檢測潛指紋的原因與前者相同，也是因為汗液可以吸附奈米金粒子，所以會產生指紋。

奈米金團簇可以檢測潛指紋是因為外層的 BSA 與指紋的汗液作用，而吸附到指紋上。



圖三十一 浸泡四氯金酸溶液兩小時所顯現的潛指紋

(二) 四氯金酸、奈米金粒子及奈米金團簇檢測潛指紋之比較

這三者檢測潛指紋時，第一個差別是時間，使用四氯金酸檢測指紋時所需要的時間比另外兩種方式長了很多，我們推測是因為使用四氯金酸時，金離子必須先還原成金，然後才吸附到指紋上，而這使整個反應增加了許多時間。

另一項明顯的不同就是螢光，我們使用奈米金粒子及奈米金團簇來檢測指紋時，顯現的指紋是白色的，照射 UV 光後，會有微弱的藍色螢光，這跟我們所預期的不太相同，因為奈米金團簇的螢光是很強烈的紅色，我們推測這是因為奈米金在吸附到指紋上時，粒徑大小產生了改變，導致螢光顏色的性質產生改變。



圖三十二 左為奈米金團簇
右為奈米金粒子



圖三十三 左為奈米金粒子照射 UV 光
右為奈米金團簇照射 UV 光

四、實驗四：奈米金團簇之修飾

我們修飾奈米金團簇的結果目前並未成功，原因可能是出在 pH 值的問題，因為 EDC 與 NHS 反應的最佳條件，其 pH 值在 4.5~7.2，我們在合成時，並沒有注意到這個部分。我們並不確定 K 他命抗體混合物修飾到團簇時的反應 pH 值，奈米金團簇溶液必須在鹼性的環境下合成，代表奈米金團簇溶液本身是鹼性，pH 值在 10~11，這可能不是修飾奈米金的最佳環境。

另外一點，我們希望修飾的抗體與文獻中使用的不同，所以反應時的條件，可能不相同，像是總反應所需要的時間，我們在混合抗體混合物及奈米金團簇後，置於室溫搖晃一小時，因為升高溫度可能會破壞抗體結構，我們不能提高溫度，而此反應在室溫環境時可能需要更多時間。

五、實驗五：不同酸鹼值對奈米金團簇修飾的引響

針對實驗四時出現的問題，我們將 EDC 和 NHS 的反應環境改成酸性，並調整奈米金團

簇的酸鹼值，分別為中性及酸性。我們發現當 pH 值小於 5.5 時，會產生沉澱，所以本次實驗使用 pH 值 7 的奈米金團簇。

實驗結果發現完整修飾的奈米金團簇無論是滴在含有 K 他命或不含 K 他命的部分，都可以附著到硝化纖維膜上並產生螢光，我們認為這是因為 K 他命抗體並沒有完整包覆住整個奈米金團簇，導致團簇仍然不具有專一性。

這次實驗的結果，螢光的顏色都是與原本的團簇溶液相同之紅色，這代表修飾抗體之奈米金團簇在檢測時，並不會改變其粒徑大小，與未修飾直接檢測指紋時的結果不同，雖然直接檢測也有螢光產生，但是因為螢光顏色不同，檢測結果的明顯度也不相同。

六、實驗六：結合奈米金粒子與奈米金團簇應用於 K 他命檢測。

使用 PBST 回溶離心後的奈米金沉澱，受溶液中帶電離子的影響，未處理的奈米金會聚集而沉澱，且會變成黑色，而有 BSA 包覆的奈米金則不會。透過這個方式，我們可以初步判斷奈米金團簇是否成功修飾到奈米金粒子上。

因為是結合奈米金粒子與團簇，本次實驗合成的奈米金具有團簇極力子的性質，在檢測 K 他命時，會有紅色產生，同時也會有螢光出現，但是螢光的效果還較弱，應用於硝化纖維膜上時，受到奈米金的紅色影響，無法在照射 UV 光情況下由肉眼分辨。

柒、結論

奈米金粒子與奈米金團簇用於檢測潛指紋時所需要的時間大約為半小時，比使用金離子的兩小時快上許多，但是材質的不同可能會影響奈米金的吸附結果，而檢測潛指紋時的半個小時，跟現在常用於檢測指紋的粉末法相比是一段較長的時間，但是粉末法所檢測的是水分，奈米金檢測的則是脂質，與此相比，奈米金檢測指紋的敏感度是更高的，可以檢測到存在更久的潛指紋，且可以用於潮濕的材質上，這增加了檢測潛指紋的適用範圍。另外，使用奈米金團簇時，我們得到的指紋是可以顯現出螢光的，這解決了檢測指紋時背景值的干擾，讓檢測潛指紋的結果變得更加明顯。

為了解決奈米金團簇檢測指紋時，粒徑大小會改變的問題，我們正嘗試修飾一些能與脂質反應的蛋白質或抗體到奈米金團簇上，相信這不僅可以增加檢測指紋時的速度，也可以控

制奈米金團簇的顆粒大小，顯現出螢光效果更明顯的指紋。至於檢測含有特定成分之潛指紋，現階段我們已成功將部分 K 他命抗體修飾上奈米金團簇，而透過結合奈米金粒子及團簇的方式，我們得到檢測 K 他命的奈米金，只是螢光性質較弱，我們認為透過第二抗體結合第一抗體的方式，可以增加奈米金團簇的修飾量，達到更強的螢光效果，使整個實驗的穩定性更趨近完美。

捌、參考資料及其他

- (1) 嚴鴻仁、徐善慧，奈米金與銀的妙用，科學發展月刊，2008，431 期，28-32 頁。
- (2) 林竹君，螢光金奈米團簇的發光機制及螢光共振能量轉換，中原大學碩士論文，2009。
- (3) 葉晨聖、黃志嘉，教育部顧問室「生物及醫學科技人才培育先導型計畫」，第二章：金奈米的制備與生物醫學上的應用，2007。
- (4) A. Retnakumari, J. Jayasimhan, P. Chandran, D. Menon, S. Nair, U. Mony, and M. Koyakutty, *Nanotechnol.*, 2011, 22, 285102.
- (5) B. Khlebtsov, E. Tuchina, V. Tuchin, N. Khlebtsov, *RSC Adv.*, 2015, 5, pp 61639–61649.
- (6) C. Xu, R. Zhou, W. He, L. Wu, P. Wu, and X. Hou, *Anal. Chem.*, 2014, 86, pp 3279–3283.
- (7) H.-W. Tang, W. Lu, C.-M. Che, and K.-M. Ng, *Anal. Chem.*, 2010, 82, pp 1589–1593.
- (8) I. Hussain, S. Z. Hussain, Habib-ur-Rehman, A. Ihsan, A. Rehman, Z. M. Khalid, M. Brust, and A. I. Cooper, *Nanoscale*, 2010, 2, pp 2575-2578.
- (9) S. Moret, A. Bécue, and C. Champod, *Nanotechnol.*, 2014, 25, 425502.

【評語】 050204

此計畫專注金奈米粒子製備，並藉由抗體或蛋白質修飾、做為潛指紋檢驗之用。研究構想創新、臨場解釋內容精闢、值得肯定與鼓勵。惟部分文件說明似有少許瑕疵，須加注意、當可更加精進達到完美無瑕之境界。