

透過顯現隱形指紋解開密碼鎖

第二階段：指紋顯現操作步驟、指紋顯現的原理

【上課講義】

■ 指紋顯現操作步驟

以下描述常見指紋顯現的試劑配方和操作步驟，涵蓋四種方法：粉末法、寧海準法、硝酸銀法及氰丙烯酸酯法。

一、粉末法

顯現指紋最簡單且最常用的方法是粉末法 (Powder-based method)，它依賴於指紋顯現的配方對皮膚沉積物的水分和油性成分的吸附作用。常見的指紋粉末是由著色劑和載體組成。載體被指紋中的水分或油性成分吸附，著色劑被吸附在載體上。常用的著色劑有活性碳粉 (Activated charcoal powder)、二氧化錳 (Manganese dioxide) 及氧化鐵 (Ferric oxide)。常用的有機物載體有矽膠、玉米澱粉、滑石粉及松香，典型的不溶性無機鹽載體有碳酸鋅 (Zinc carbonate)、碳酸鋇 (Barium carbonate) 及碳酸鎂 (Magnesium carbonate)。

(一) 收集指紋

用手指輕捏紙張 (或塑膠等物體) 的邊緣或角落，避免手指碰觸到預留指紋處。選定一個手指，先用手指摩擦前額，再輕輕地放置指腹的左側在紙面上且右側朝上，慢慢地向右滾動到右側觸到紙面並立即抬起手指，即可在紙上留下隱形指紋。若有化妝或皮膚較為油膩，用手指摩擦手掌取代前額。若出汗困難，在原地快跑增強汗量，用手指摩擦前額而不是手掌。重複操作，直到指紋顯現後獲得清晰的指紋。

(二) 注意事項

在配製試劑和操作步驟時，必須配戴安全眼鏡和乳膠手套。指紋中的水分或油脂會在兩三天內乾涸，不宜用粉末法顯現指紋。

(三) 藥品和器材

配方一：白紙、黑色粉末 [如活性碳、石墨筆芯或二氧化錳 (MnO_2)]、紅色粉末 [如三氧化二鐵 (Fe_2O_3)]、有機聚合物 (如矽膠、玉米澱粉、滑石粉及松香)、不溶性無機鹽 [如碳酸鋅 ($ZnCO_3$)、碳酸鋇 ($BaCO_3$) 及碳酸鎂 ($MgCO_3$)]。配方二：螢光素 (Fluorescein, $C_{20}H_{12}O_5$,

CAS: 2321-07-5)、氫氧化鈉 (NaOH)、蒸餾水、紫外光手電筒。共同：攜帶型電子秤、樣品瓶、鵝毛棒、透明膠帶、剪刀、口紅膠。

(四) 配製試劑。

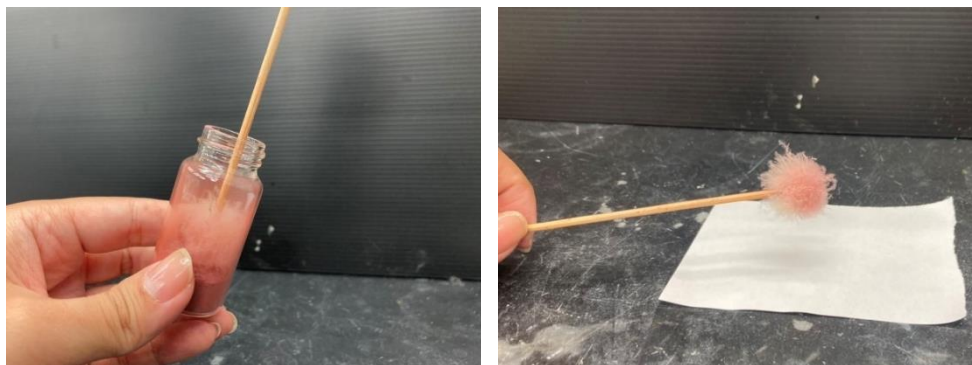
配方一：稱取 3 公克以下著色劑粉末之一：(A1) 三氧化二鐵、二氧化錳；(A2) 活性碳粉、石墨筆芯粉。稱取 9 公克以下載體粉末之一：(B1) 碳酸鎂、碳酸鋇、碳酸鋅；(B2) 澱粉、矽膠、松香。混合 A1 和 B1 或者 A2 和 B2 均勻。在混合物中加入 100 毫克滑石粉 (Friesen, 2004)，如圖 6 左所示。配方二：直接使用螢光粉末 (如螢光素)，如圖六右上所示；抑或配製成溶液：溶解 0.1 公克氫氧化鈉於 20 毫升蒸餾水中，在該溶液中加入螢光素，直到溶液飽和並變成棕色 (MEL Science, n.d.)。儲存在密封的且貼有標籤的瓶子中，如圖 6 右所示。〔註：若粉末較粗，使用研鉢研磨混合物成為細粉狀。〕



圖 6：粉末法所需器材和試劑，配方一（左）和配方二（右）

(五) 操作步驟

配方一：使用鵝毛棒，在鵝毛處沾一些粉末，如圖七左上所示。旋轉鵝毛棒，輕觸在隱形指紋的紙面上，如圖 7 右上所示。然後去除多餘的粉末 (可用手指輕彈紙張的背面)。用一片透明膠帶貼住指紋以保護它，剪裁合適大小，用口紅膠黏貼在指定處。配方二：使用螢光劑顯現指紋，其操作與配方一相同，如圖 7 左下和右下所示。使用紫外光照射。



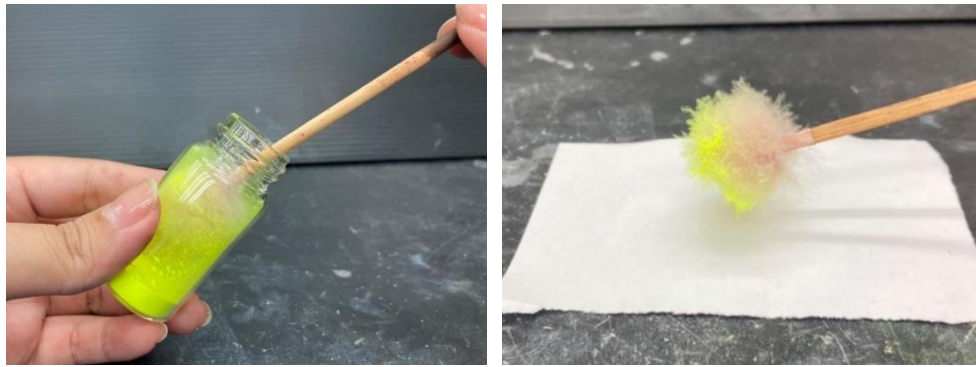


圖 7：粉末法所需的材料和試劑：配方一（上）和配方二（下）。先用鵝毛棒沾少許的粉末（左上和左下），再來回地輕觸隱形指紋（右上和右下）。

二、寧海準法

在 1954 年，寧海準法或稱茚三酮法（Ninhydrin method）開始使用檢測指紋。茚三酮是一種有機化學粉末，在室溫下可溶於乙醇、丙酮或非極性有機溶劑。當茚三酮溶液塗抹或噴霧在隱形的指紋時，茚三酮與指紋殘留物中的胺基酸發生反應，產生一種深紫色的複合物。在室溫下，茚三酮和潛在的氨基酸之間反應可能需要幾天時間，但是使用熱量和濕度可以加速反應（Powers Scientific, Inc., n.d.）。

（一）收集指紋

如前「粉末法」所述。

（二）注意事項

在配製試劑和操作步驟時，必須配戴安全眼鏡和乳膠手套。不慎碰觸到寧海準溶液，在長時間後弄髒衣服、桌面及皮膚。建議試劑現場新鮮配製，因為放置過久的溶液可能降低顯色效果。待顯現隱形指紋的紙張放在大紙箱內，避免噴霧後污染桌面或物體的表面。

（三）藥品和器材

配方一：茚三酮（ninhydrin）、乙醇（ethanol）。配方二：茚三酮、異丙醇（isopropanol）、冰醋酸（glacial acetic acid）、正己烷（n-hexane）。共同：小燒杯、攪拌棒、噴霧瓶、大紙箱、加熱裝置（烘箱或電磁攪拌器）、膠帶、口紅膠、剪刀，如圖八所示。配方一：茚三酮（Ninhydrin, $C_9H_6O_4$, CAS: 485-47-2）、乙醇（ CH_3CH_2OH ）。配方二：茚三酮、異丙醇（ C_3H_8O ）、冰醋酸（ CH_3COOH ）、正己烷（ $CH_3(CH_2)_4CH_3$ ）。共同：小燒杯、攪拌棒、噴霧瓶、大紙箱、加熱裝置（烘箱或電磁攪拌器）、膠帶、口紅膠、剪刀，如圖八所示。

（四）配製試劑

配方一：稱取 0.5 克的茛三酮，放在一個小燒杯中，加入 30 毫升的乙醇（或可再加少量的醋酸作為安定劑），攪拌使之混合均勻。轉移這溶液到貼有標籤的噴霧瓶中（Sodhi & Kaur, 1999），如圖 8 所示。配方二：放置 125 毫升的燒杯在電磁攪拌器上，加入 30 毫升的異丙醇和 10 毫升的冰醋酸。攪拌使之混合均勻。緩慢地加入 5 公克的茛三酮晶體，並持續攪拌，直到茛三酮完全溶解。此過程可能需要長達兩小時。加入正己烷直至 100 公毫升的刻度線，並攪拌均勻（Idaho State Police, 2025）〔註：此溶液可長久保存。若溶液靜置後底部出現黃色沉澱，應避免使用該部分溶液〕。

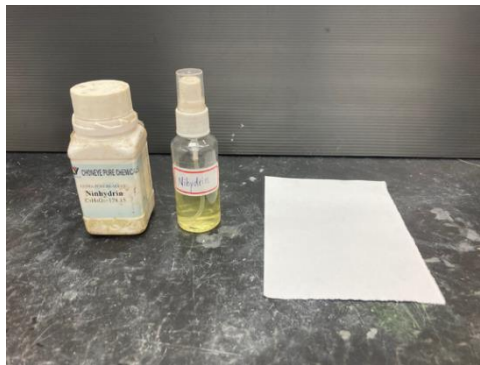


圖 8：寧海準法所需的材料和試劑（配方一）

(五) 操作步驟

配方一：準備一個大紙箱，放置隱形指紋的紙張在大紙箱內，如圖 9 左所示。從大約 15 公分的距離，噴灑茛三酮溶液到紙張上，如圖九中所示。噴灑溶液的液滴一定要非常的細小，否則指紋脊線易連在一起而難以觀察。稍等片刻，直到大部分溶劑蒸發，然後再次噴塗。讓它完全乾燥。只有在紙面完全乾燥後才會顯現指紋，這可能需要一個小時或更長時間（Sodhi & Kaur, 1999）。〔快速方式：紙張放入 50-70°C 的烘箱中或用加熱裝置加熱會加快發生反應，如圖九右所示。〕配方二：使用浸泡、噴灑或刷塗的方式，應用這溶液於待測物品上。處理後的物品放置於溫暖（約 80°C）或濕潤（約 65% 相對濕度）的環境中，促進指紋的顯現（Idaho State Police, 2025）。

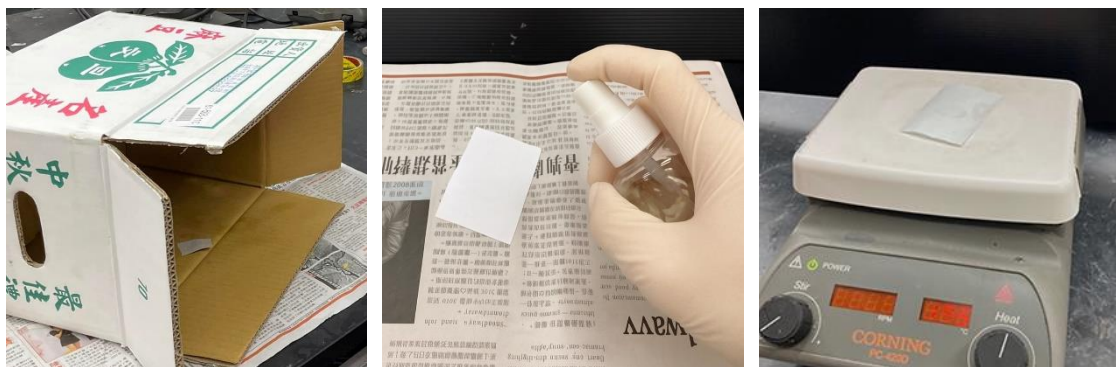


圖 9：隱形指紋紙張放在紙箱中（左）；用茛三酮溶液噴灑在隱形指紋的紙面上（中）；放在

溫熱的電熱板上加熱 (右)

三、硝酸銀法

硝酸銀法 (Silver nitrate method) 的化學反應是指紋中的氯離子與試劑中的銀離子反應生成氯化銀 (AgCl)。在陽光 (紫外光) 照射下氯化銀的銀離子 (Ag^+) 還原為金屬銀 (Ag^0)，形成棕黑色的微小銀簇而使隱形的指紋顯現。

(一) 收集指紋

如前「粉末法」所述。

(二) 注意事項

在配製試劑和操作步驟時，必須配戴安全眼鏡和乳膠手套。不慎接觸到硝酸銀溶液，在長時間後弄髒衣服、桌面及皮膚。使用紫外燈必須非常小心，務必不可照射到自己或他人的眼睛。

(三) 藥品和器材

配方一：硝酸銀 (silver nitrate, AgNO_3)、蒸餾水。配方二：硝酸銀、蒸餾水、乙醇 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)、冰醋酸 (CH_3COOH)。共同：報紙或白紙、燒杯、噴霧瓶 (可遮光的不透明瓶)、大紙箱、紫外光 (太陽、紫外光燈或紫外光手電筒)、膠帶、口紅膠、剪刀。

(四) 配製藥品

配方一：在一個 125 毫升的燒杯中，放入 2.5 公克的硝酸銀，加入 45 毫升的蒸餾水，攪拌使之混合均勻。轉移溶液到貼有標籤的噴霧瓶中，如圖 10 所示，放置在避光處保存 (Sodhi & Kaur, 1999)。配方二：在一個 125 毫升的燒杯中，放入 3.0 公克的硝酸銀，加入 10 毫升的蒸餾水和 90 毫升的乙醇，並加入少量冰醋酸，攪拌使之混合均勻，此試劑適用於蠟紙 (Illinois State Police, 2024)。



圖 10：硝酸銀法配方一所需的材料和試劑

(五) 操作步驟

配方一：準備一個大紙箱，放置隱形指紋的紙張在大紙箱內，如圖 11 左所示。從距離大約 15 公分處，噴灑硝酸銀溶液到紙張上，如圖十一中所示。噴灑溶液的液滴一定要非常的細小，否則指紋脊線易連在一起而難以觀察。放置噴塗溶液的紙張在紫外光下（用太陽光或紫外燈照射），如圖 11 右所示，在 10-15 分鐘後指紋即可見到指紋（Sodhi & Kaur, 1999）。配方二：滴加或噴灑硝酸銀溶液待測物體的表面上（適用於多孔性表面，如紙張）。放置於陽光或紫外線光源下照射（Friesen, 2014）。

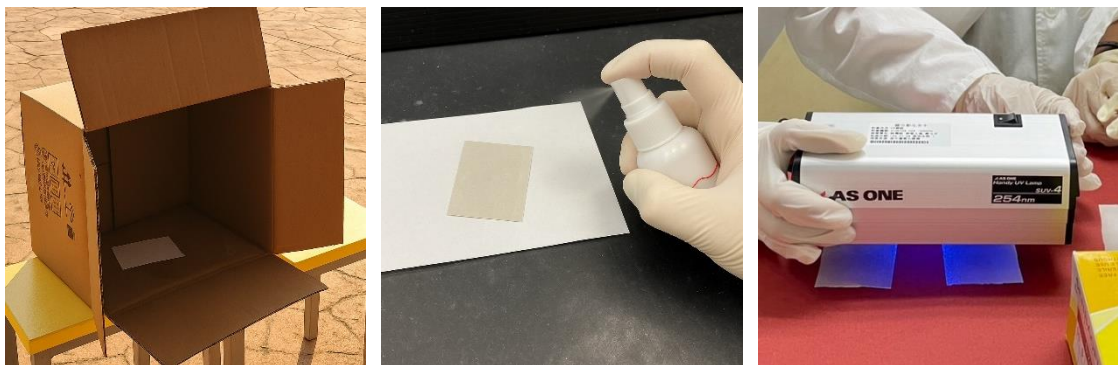


圖 11：放置隱形指紋的紙張在大紙箱內（左）；用硝酸銀溶液噴灑隱形指紋紙面上（中）；噴灑後照射紫外光（右）

四、氰丙烯酸酯法

氰丙烯酸酯法或稱強力膠燻煙法（Cyanoacrylate method / Super glue fuming method）是氰丙烯酸酯在加熱或潮濕環境下發生氣相聚合反應。指紋殘留物中的水分或胺基酸可作為反應觸媒，促使單體開始聚合形成聚氰丙烯酸酯，白色固體沿著指紋脊線沉積，使隱形指紋顯現。

(一) 收集指紋

如前「粉末法」所述。

(二) 安全注意

在操作步驟時，必須配戴安全眼鏡和乳膠手套。液態瞬間強力膠（如三秒膠）在使用時所釋放的氣體對呼吸系統有刺激性，務必戴防護口罩避免吸入。

(三) 藥品和器材

配方一：透明塑膠片（或透明寶特瓶）、剪刀、液態瞬間強力膠（俗稱三秒膠，含 Cyanoacrylate，氰丙烯酸酯）、熱水（70-80°C）、透明塑膠盒（小型）、試飲杯、膠帶、口紅膠、剪刀，如圖 12 所示。配方二：與配方一相同，增加加熱裝置（小型）。

配方一：透明塑膠片（或透明寶特瓶）、剪刀、液態瞬間強力膠〔俗稱三秒膠，含氰丙烯酸酯（如 Methyl Cyanoacrylate, $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CN})\text{COOCH}_3$ ）〕、熱水（70-80°C）、透明塑膠盒（小型）、試飲杯、膠帶、口紅膠、剪刀，如圖 12 所示。配方二：與配方一相同，增加加熱裝置（小型）。



圖 12：氰丙烯酸酯法所需的材料和試劑

(四) 操作步驟

配方一：剪裁透明塑膠片（或透明寶特瓶）成為合適大小（如 3 公分 × 5 公分）的塑膠片。輕輕地按壓指紋在此塑膠片上。準備一個可密封的透明塑膠盒，以斜躺方式放置塑膠片在盒內。在盒中放入兩個試飲杯，其中一杯放入適量的（約 1 毫升）液態強力膠，在另一杯中放入半滿的熱水，如圖 13 左所示。蓋上盒蓋。約 5-10 分鐘後，觀察指紋是否顯現〔拿取塑膠盒或塑膠片，對準燈光易於查看〕，如圖 13 中和右所示。若未顯現，延長時間繼續觀察。待顯現後，取出這塑膠片。配方二：放置物證（適用於非多孔性表面，如玻璃、塑膠、金屬）在密閉盒中。加熱氰丙烯酸酯至約 80-100°C，使其蒸發。蒸氣會與指紋殘留物中的水氣或胺基酸反應，生成白色聚合物沉積物，勾勒出指紋（Friesen, 2014）。

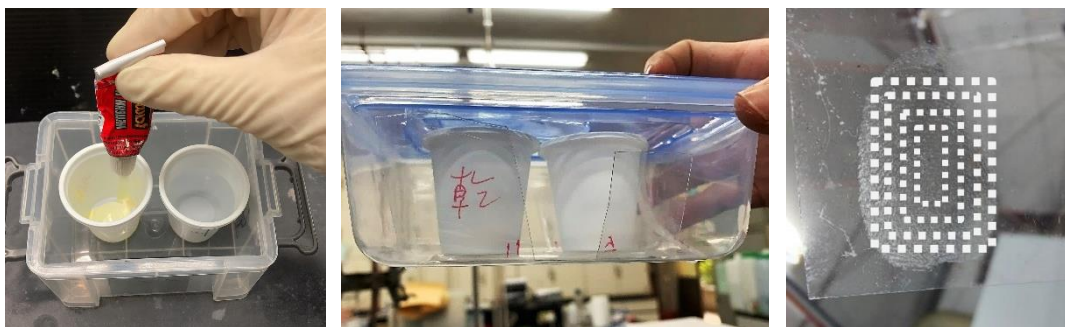


圖 13：氰丙烯酸酯一的指紋顯現裝置（左）；對準燈光易於查看是否顯現指紋（中和右）

■ 指紋顯現的原理

一、指紋與汗水

指紋是手指末端（指腹）由凹凸皮膚形成的脊線圖案，能增加手部摩擦力，使抓握物件

更穩固，是人類進化自然形成的特徵。在指腹的脊線上汗腺分泌汗液的特寫，如影片一所示。



影片一：在脊線上的汗腺分泌汗液的特寫

(影片來源：<https://www.youtube.com/watch?v=lOaFeGreAJw>)

汗水的主要成分其實非常單純，幾乎全部是水(約 98–99%)和鹽分[約 1%·鈉離子(Na^+)和氯離子(Cl^-)]，其它成分有鉀離子(K^+)、鈣離子(Ca^{2+})、鎂離子(Mg^{2+})，代謝產物(< 0.1%，有尿素、乳酸、氨、肌酸酐、胺基酸)(Baker & Wolfe, 2020)。皮膚表面感到黏膩或油膩，其實是因為手指接觸到皮脂腺分泌的油脂，這些油脂混合汗水，而不是汗水本身有油性成分。指紋脊線上有許多小汗腺開口，手指經常碰到臉部、頭髮和鼻翼等皮脂腺豐富的區域，讓油脂轉移到指尖。手指和手掌幾乎沒有皮脂腺(Merlo, 2023)，因此指紋殘留物其實是一種混合分泌物。法醫化學家常分類指紋殘留物為三大類：(1)水溶性成分：含鹽類、胺基酸、乳酸等(適合用茚三酮法顯現)；(2)脂溶性成分：含三酸甘油酯、角鯊烯、蠟酯(適合用粉末法或溶劑萃取分析)；以及(3)固體與外來微粒：如灰塵、金屬、藥物等(可作為個體或行為特徵分析)(Baker & Wolfe, 2020)。

二、指紋顯現的原理

(一) 粉末法

指紋顯現的粉末法是藉由粉末吸附在隱形指紋的殘留物上，粉末對水分和油性成分之間有靜電吸引力，以提供良好的可見度和指紋細節的清晰度。影響吸附力的因素有：粉末的顆粒大小、形狀、相對表面積和電荷等。另外，透過混合螢光染料在有色粉末可以克服少量的粉末吸附在指紋上的問題。下面分別以巨觀的粉末層次和微觀的分子層次說明指紋顯現的吸附作用和靜電吸引力，

甲、巨觀層次—以有色粉末吸附水分

紙張(接觸物)、水分(指紋汗水)、無機鹽類粉末(載體)及有色粉末(著色劑)之間的巨觀表面吸附作用的示意圖，如圖 14 所示。

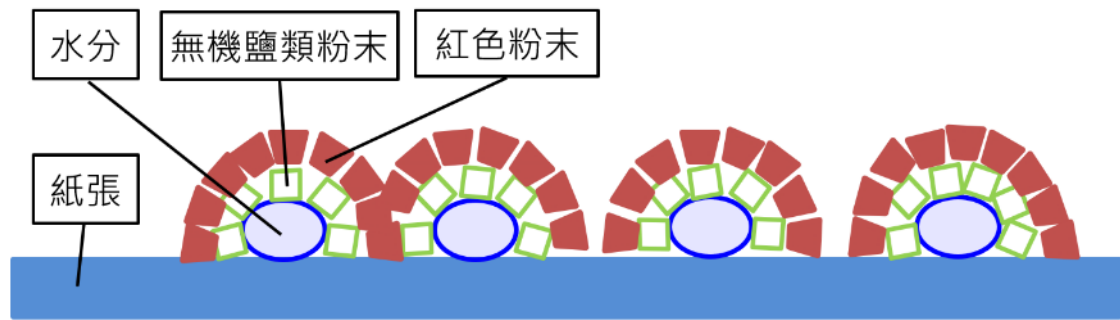


圖 14：巨觀層次—以有色粉末吸附水分的表面吸附作用

乙、巨觀層次—以有色粉末吸附油性成分

紙張（接觸物）、油性成分（手指觸摸臉部等部位）、無機鹽類粉末（載體）及有色粉末（呈色劑）之間的巨觀表面吸附作用的示意圖，如圖 15 所示。

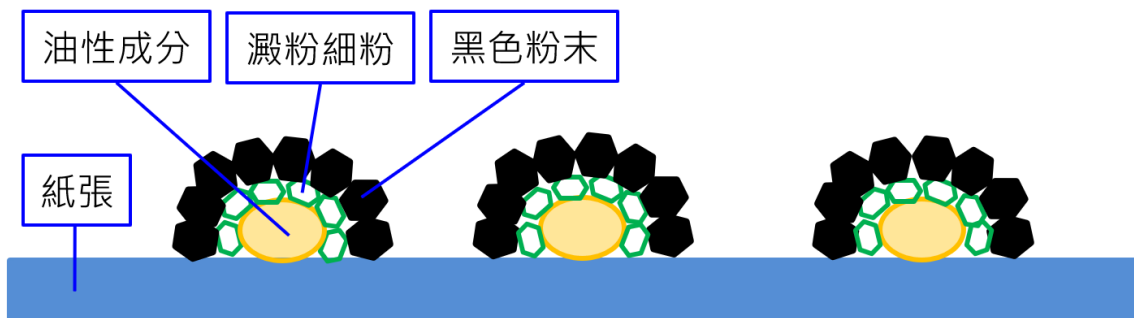


圖 15：巨觀層次—以有色粉末吸附油性成分的表面吸附作用

丙、微觀層次—以有色粉末靜電吸引水分

紙張（如纖維素分子）、水分（水分子）、無機鹽類粉末（如碳酸鎂）及紅色粉末（如三氧化二鐵）相互之間微觀的靜電吸引力，如圖 16 所示。

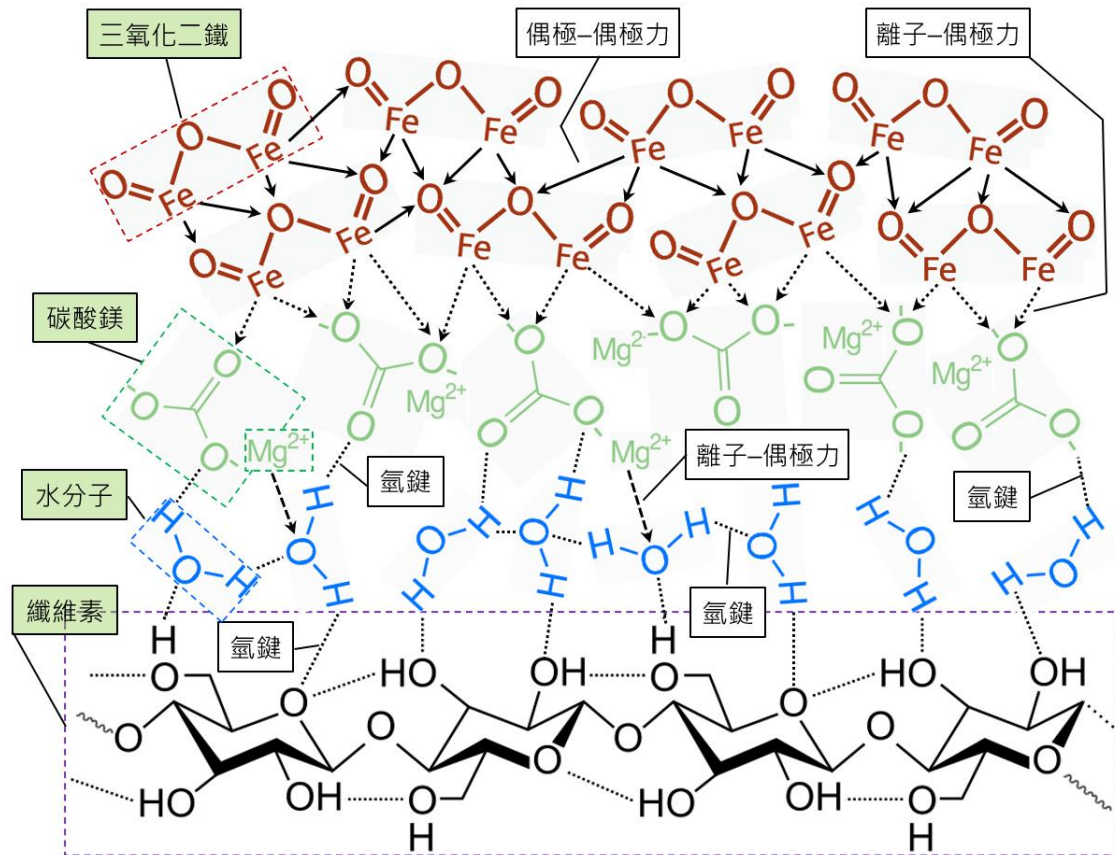


圖 16：微觀層次—以有色粉末靜電吸引水分的靜電吸引力

(纖維素圖片來源：<https://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose>)

纖維素 (Cellulose) 是由 β -D-葡萄糖單元以 β -1,4-糖苷鍵連接而成的線性多醣。每個葡萄糖單元上含有三個羥基 ($-\text{OH}$)，這些官能基是形成靜電作用的關鍵，形成分子內氫鍵 (Hydrogen bonding)。

纖維素與水分子之間的靜電吸引力主要來自氫鍵，這些吸引力使纖維素具有良好的親水性與吸水能力。水分子的氫原子 (δ^+) 可與纖維素上的羥基氧原子 (δ^-) 形成氫鍵。此外，纖維素的羥基氫原子 (δ^+) 也可與水分子的氧原子 (δ^-) 形成氫鍵。這種雙向氫鍵網路使水分子能牢固地吸附在纖維素表面或滲入其微孔結構中。羥基與水分子皆具有永久偶極，彼此之間可產生偶極-偶極作用力 (Dipole-dipole interaction) 的取向力，進一步穩定吸附作用。

碳酸鎂 (MgCO_3) 與水分子之間的靜電作用力主要來自：(1) Mg^{2+} 與水分子之間：鎂離子帶正電 (+)，會吸引水分子中偏負電的氧原子 (δ^-)，形成強烈的離子-偶極作用力 (Ion-dipole interaction)。(2) CO_3^{2-} 與水分子之間：碳酸根離子帶負電 (-)，會吸引水分子中偏正電的氫原子 (δ^+) 形成離子-偶極作用力。(3) CO_3^{2-} 的氧原子與水分子之間：雖然碳酸根本身不含氫，但碳酸根上的氧原子帶負電荷 (δ^-) 可與水分子的羥基的氫原子帶正電荷 (δ^+) 形成氫鍵 ($\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}=\text{C}$)，這種氫鍵有助於穩定水合結構。

Fe_2O_3 中的 Fe^{3+} 是高電荷密度的陽離子，具有強烈的靜電吸引力。 MgCO_3 中的碳酸根 (CO_3^{2-}) 有偏負電的氧原子 (O^{2-})，可與帶正電的鐵離子 (Fe^{3+}) 產生靜電吸引力。此外， Fe^{3+} 可視為路易斯酸 (電子接受者)，而碳酸根中的 O^{2-} 原子可視為路易斯鹼 (電子提供者)。在某些條件下 (如水合)，可能形成弱配位鍵或表面錯合物，這種作用本質上仍是靜電吸引力。

丁、微觀層次—以有色粉末靜電吸引指紋的油性成分

紙張 (如纖維素分子)、油性成分 (如棕櫚酸分子和油酸分子)、澱粉細粉 (如支鏈澱粉分子)、黑色粉末 (如活性碳) 相互之間微觀的靜電吸引力，如圖 17 所示。

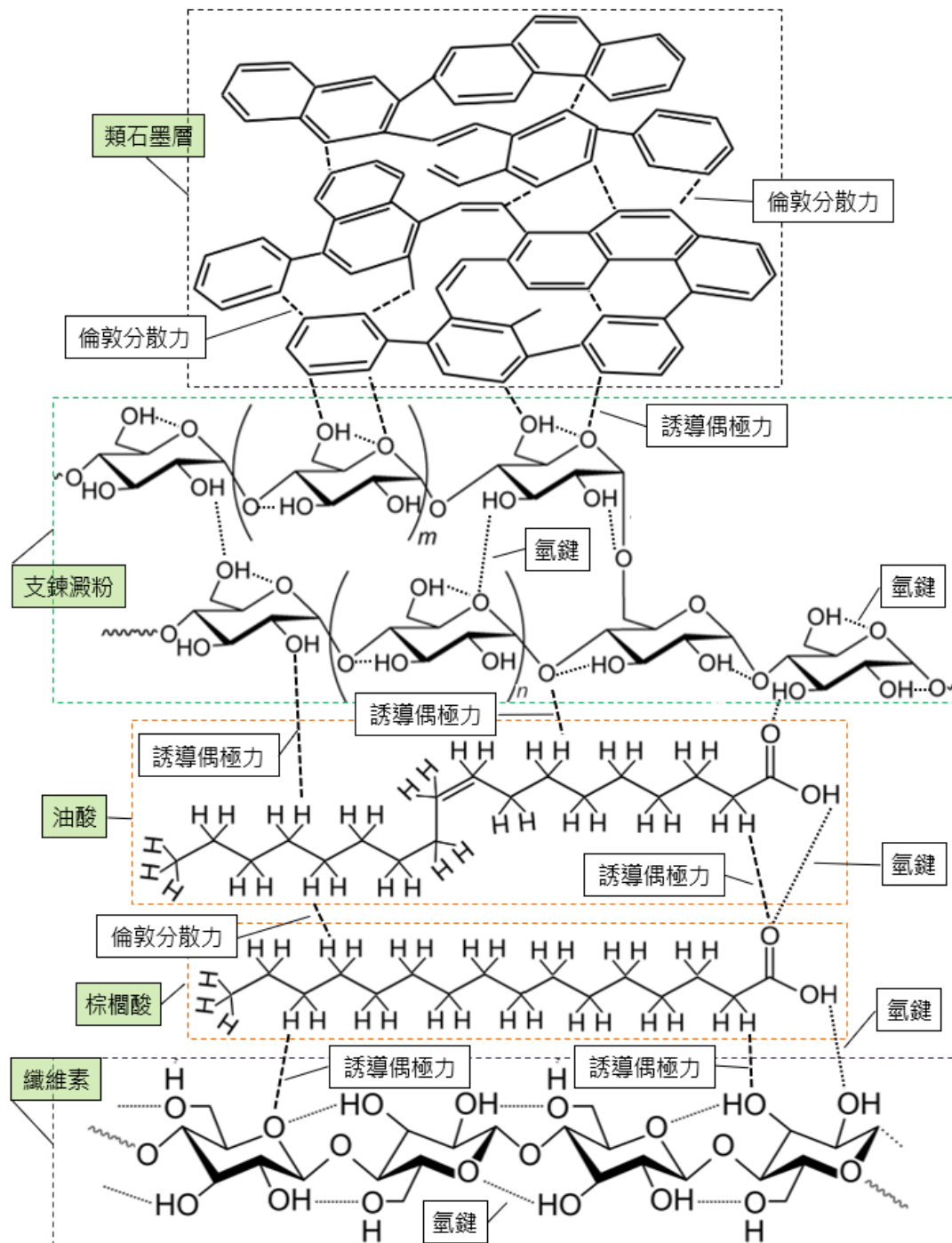


圖 17：微觀層次—以有色粉末靜電吸引油性成分的靜電吸引力

(纖維素和支鏈澱粉的圖片來源：<https://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose> & <https://i.sstatic.net/G4ZrU.png>)

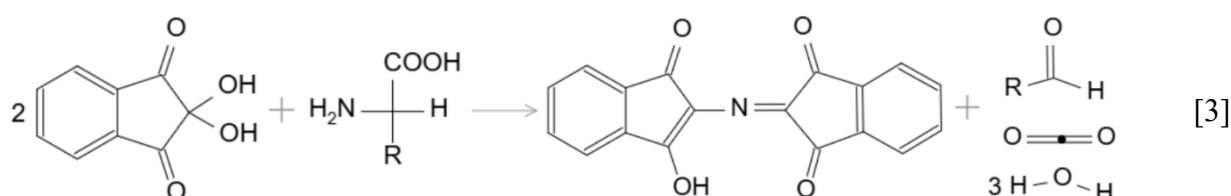
汗液中含有微量代謝產物(乳酸、尿素及棕櫚酸等)，汗腺本身不會分泌油酸(oleic acid)。若汗液中混入來自皮脂腺的油酸，這些油酸幾乎全部是順式-油酸(cis-9-octadecenoic acid)。棕櫚酸分子與油酸分子之間會形成三種靜電作用力：(1)兩種羧基(-COOH)之間可形成分子間氫鍵；(2)兩者都擁有長碳鏈，非極性部分之間形成倫敦分散力(London dispersion)，特別是油酸的雙鍵稍微改變分子形狀，使凡得瓦耳力略減；以及(3)碳氧鍵(C=O)有明顯的偶極(電子密度偏向氧)，使整個-COOH區域能產生穩定的永久偶極，而且長碳鏈幾乎不帶永久偶極，但在永久偶極或電場作用下，在長碳鏈中C-H被誘導出瞬時偶極，形成偶極-誘導偶極力(Dipole-induced dipole interaction)，簡稱誘導偶極力。

油酸分子(或棕櫚酸分子)與支鏈澱粉分子之間形成兩種靜電吸引力：(1)羧基(-COOH)的氧氫(O-H)或羰基(C=O)的氧原子(δ^-)可與澱粉的羥基(-OH)形成氫鍵(O \cdots O-H)；(2)棕櫚酸的極性端(-COOH)可誘導澱粉中非極性碳鏈(-C-H)形成偶極-誘導偶極力。

活性碳的主要成分是碳元素(C)，其含量通常高達90%以上，但它並不是純碳。活性碳並不是單一化合物，而是一種非晶質碳(amorphous carbon)，其結構可以視為：許多不規則排列的類石墨層(graphitic layers)堆疊而成，類石墨層之間形成倫敦分散力。類石墨層的 π 電子雲可瞬時偏移產生短暫偶極，支鏈澱粉中的-OH產生永久偶極，兩者之間形成偶極-誘導偶極力。

(二) 寧海準法

寧海準或茚三酮試劑可顯現老舊的隱形指紋。茚三酮與汗液中的胺基酸反應生成紅紫色產物，此反應為寧海準檢測胺基酸的化學基礎，產生特徵性的紫色化合物，同時伴隨二氧化碳、醛與水等副產物，如式[3]所示。

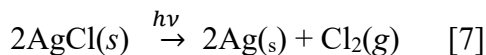
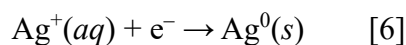
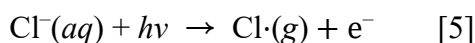
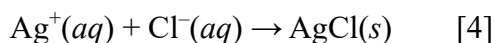


茚三酮與胺基酸的反應機制有三步驟：(1)形成希夫鹼(Schiff base)中間體：茚三酮與胺基酸在加熱條件下發生縮合反應，失去水分子，形成一個不穩定的中間體，其中茚三酮分子上羰基的碳原子與胺基酸的胺基氮原子形成碳氮雙鍵(C=N)，即為希夫鹼(Schiff base)。(2)中間體分解：形成的中間體希夫鹼會進一步分解，產生二氧化碳、醛及一個還原的茚三酮分子。(3)兩分子結合反應：還原的茚三酮分子與第二個茚三酮分子反應，形成一個深紫色的化

合物，稱為魯赫曼紫 (Ruhemann's purple)。這個紫色化合物是茛三酮試驗的特徵性產物。

(三) 硝酸銀法

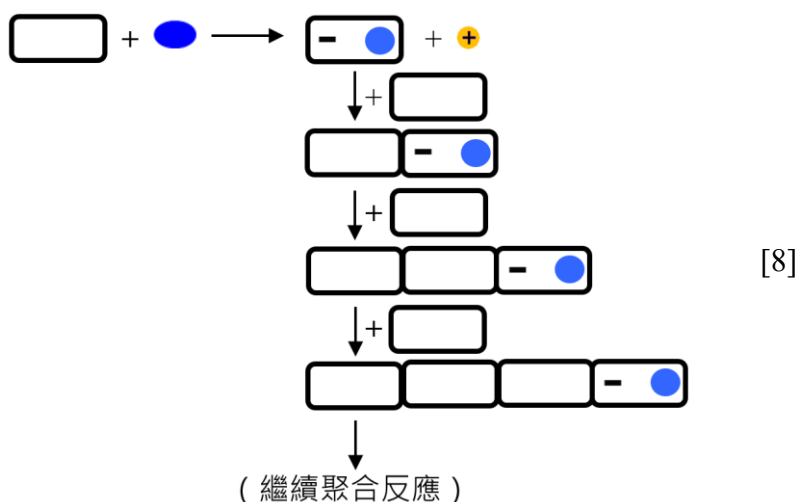
硝酸銀可用於顯現隱形指紋的顯色試劑。硝酸銀與汗液中的氯化鈉發生離子沉澱反應，生成固態的氯化銀 (AgCl)，如式[4]所示。暴露在陽光 (紫外光) 下，在固態的 AgCl 上的 Cl⁻ 產生氯自由基 (Cl·) 和電子，如式[5]所示，並且銀離子 (Ag⁺) 被還原成金屬銀 (Ag⁰)，如式[6]所示，這些銀原子會形成微小銀簇 (Ag₂、Ag₃... 等短暫聚集體)，最終成為可見的暗色/黑色金屬銀沉積，使指紋顯現。合併成整體的反應式，如式[7]所示 (Singh et al., 2019)。



(四) 氰丙烯酸酯法

強力膠是一種由氰丙烯酸酯 (cyanoacrylate) 製成的液體化合物，幾乎可以立即形成牢固的粘合。氰丙烯酸酯分子在其他物質存在下會迅速反應，尤其是水。由於幾乎在任何物體上都可以發現一些水痕跡，因此強力膠幾乎可以立即牢固地粘合到任何物體上。甲基、乙基及丁基氰丙烯酸酯是最常見的市售強力膠產品。由於氰丙烯酸酯與水分接觸時幾乎立即發生反應，因此添加少量添加劑 (通常是酸) 以稍微減緩硬化過程。

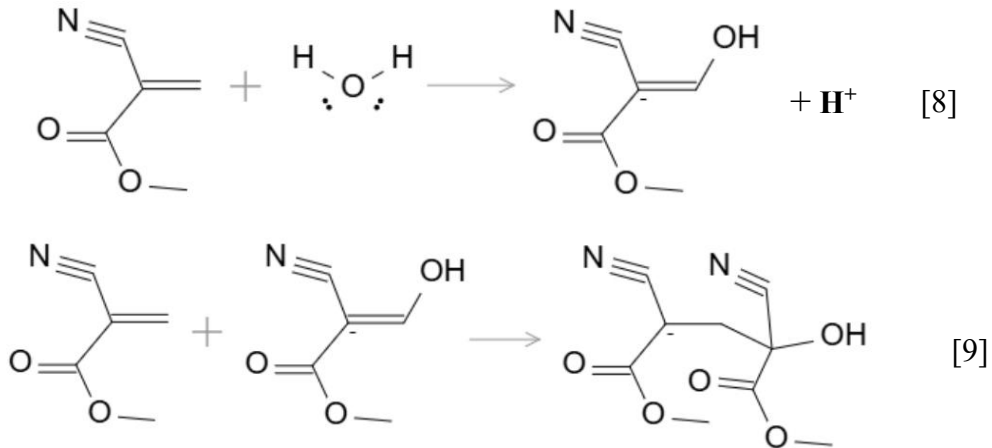
在指紋中胺基酸與水分的催化作用下，氰丙烯酸酯單體開始聚合反應，生成帶負電的氰丙烯酸酯陰離子 (cyanoacrylate anion) 和氫離子 (陽離子)，然後此陰離子與第二個氰丙烯酸酯分子反應，如此繼續發生聚合反應，形成長鏈的聚合物，聚合鏈交織成堅固的白色塑膠網，覆蓋於指紋殘留物的表面上，進而顯現出指紋細微的脊線與特徵。此聚合反應過程的巨觀層次示意圖，如圖 18 所示。



( : 氰丙烯酸酯分子 ;  : 水 ;  : 氰丙烯酸酯陰離子 ;  : 氫離子)

圖 18：在指紋中水分子的催化作用下，氰丙烯酸酯發生聚合過程的示意圖。

氰丙烯酸酯發生聚合反應，以分子結構式表示，微觀層次的反應過程，如式[8]和[9]所示。



(五) 螢光發光的原理

光致發光 (Photoluminescence) 是指物質吸收光或其他電磁輻射後再度放出光的現象。許多物質在紫外光照射下會發出有色可見光，即所謂的螢光 (fluorescence)，它是光致發光的主要形式之一。發射光的顏色取決於物質的化學組成。當分子吸收入射光的能量後，會被激發至較高能階；當其回到低能狀態時，便會放出光。由於放射光的波長通常較長、能量較低，因此螢光物質常吸收紫外線並發出可見光，呈現明亮色彩 (Öztürk & Tezcan, 2022)。

在 1933 年波蘭物理學家亞歷山大·賈布隆斯基 (Aleksander Jabłoński) 提出賈布隆斯基圖 (Jablonski diagram)，說明分子在吸收光能後，電子從基態 (S_0) 躍遷到激發態 (S_1 、 S_2)，並且隨後如何透過各種過程 (如螢光、磷光、內轉化等) 回到基態，如圖 19 所示。圖式說明如下：吸收 (Absorption)：電子吸收光子能量，從基態 (S_0) 躍遷到激發態 (S_1 、 S_2)。在螢光 (Fluorescence) 方面：電子從激發單重態 (S_1) 直接回到基態 (S_0)，並發射光子，這個過程通常很快。在磷光 (Phosphorescence) 方面：電子從激發三重態 (T_1) 回到基態 (S_0)，並發射光子，這個過程比螢光慢。螢光和磷光放射光涉及的過程有三種形式：(1)內轉化 (Internal conversion)：電子在同一個自旋多重態內 (如 S_1 到 S_0 或 S_2 到 S_1) 的無輻射躍遷的過程；(2)系間穿越 (Intersystem crossing)：電子在不同的自旋多重態之間 (如 S_1 到 T_1) 的無輻射躍遷的過程；以及(3)振動弛豫 (Vibrational relaxation)：電子在激發態內，透過與周圍分子碰撞，以熱能形式釋放多餘的振動能量的過程 (Straughan & Walker, 1980)。

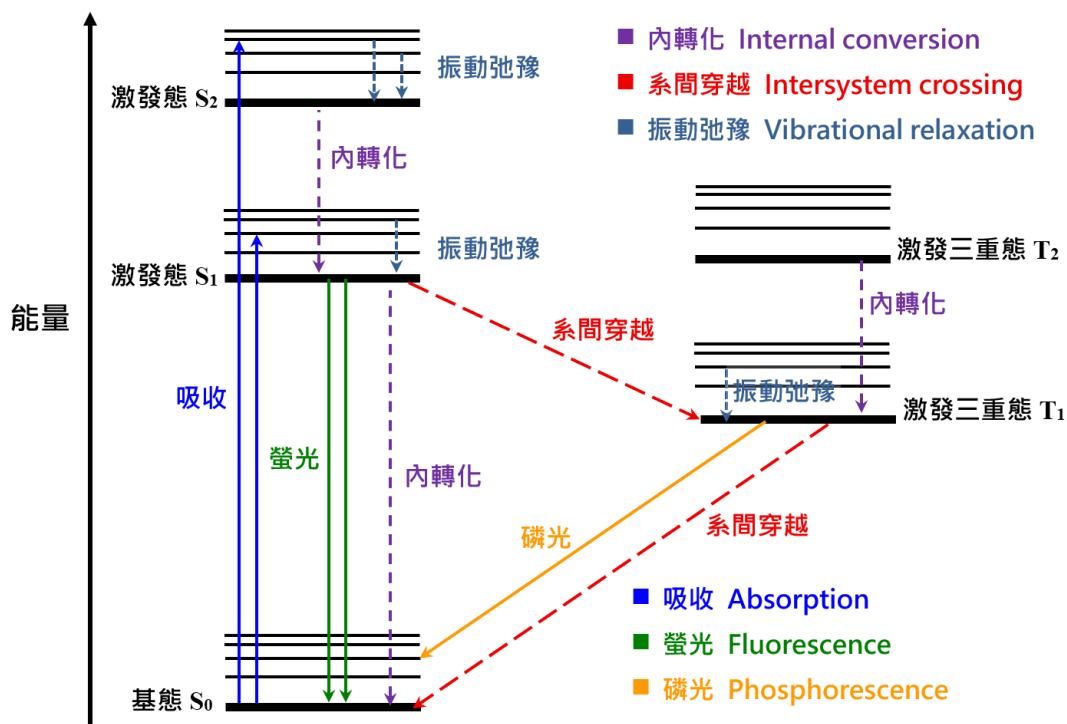


圖 19：賈布隆斯基圖

螢光放射的過程由三重要過程來控制 (Zeiss Campus, n.d.)：(1)開始過程：入射光激發敏感分子的電子，發生時間在飛秒 (10^{-15} 秒) 內。(2)中間過程：激發態電子以振動弛豫的形式釋放能量到較低能階的過程，發生時間在皮秒 (10^{-12} 秒) 內。(3)最後過程 (螢光放射)：放射波長較長的光子，並釋放能量使分子返回基態，發生時間在相對較長的奈秒 (10^{-9} 秒) 內。

磷光放射涉及電子從三重態 (triplet state) 回到單重態基態 (singlet ground state) 的過程，這是一個自旋禁阻 (spin-forbidden) 的轉換，由於磷光發射光的時間比螢光慢得多。磷光放射的過程由三重要過程來控制 (Romanovskaya, 2025)：(1)開始過程：與螢光類似，吸收光子激發電子，發生時間在飛秒 (10^{-15} 秒) 內。(2)中間過程：電子進入三重態，可能經由系間穿越，這個過程發生時間在皮秒 (10^{-12} 秒) 到奈秒 (10^{-9} 秒) 之間。(3)最後過程 (磷光放射)：電子從三重態回到基態並釋放光子，這個過程非常慢，發生時間在微秒 (10^{-6} 秒) 到秒 (1 秒)，甚至更長 (在某些固態材料中可達數小時)

■ 參考資料

Baker, L. B., & Wolfe, A. S. (2020). Physiological mechanisms determining eccrine sweat composition. *European Journal of Applied Physiology*, 120(1), 1–19.
<https://doi.org/10.1007/s00421-020-04323-7>

Friesen, J. B. (2004). Activities designed for fingerprint dusting and the chemical revelation of latent fingerprints. *Journal of Chemical Education*, 81(3), 375.
<https://doi.org/10.1021/ed081p375>

- Friesen, J. B. (2014). Forensic chemistry: The revelation of latent fingerprints. *Journal of Chemical Education*, 91(10), 1618–1624. <https://doi.org/10.1021/ed400597u>
- Idaho State Police. (2025). *Latent Prints Analytical Methods, Revision 16*. Retrieved from <https://isp.idaho.gov/wp-content/uploads/Forensics/currentAMs//Latent%20and%20Impression/Latent-Prints-Analytical-Methods-Rev-16.pdf>
- Illinois State Police. (2024). *Latent Prints Procedures Manual (Version 2024.01.16)*. Illinois State Police. Retrieved from Illinois State Police Forensic Services Manuals.
- Merlo, A. B. M. (2023). A comparison of the natural and groomed fingermark lipid composition. *Forensic Science International*, 347, 110406. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.110406>
- MEL Science. (n.d.). “Fluorescence of fluorescein” experiment. <https://melscience.com/BD-en/articles/fluorescence-fluorescein-experiment/>
- Öztürk, S., & Tezcan, F. (2022). Fluorescence spectroscopy and its applications: A review. *Molecules*, 27(15), 4801. <https://doi.org/10.3390/molecules27154801>
- Powers Scientific, Inc. (n.d.). *Fingerprint detection with ninhydrin*. Retrieved from <https://powersscientific.com/fingerprint-detection-with-ninhydrin/>
- Romanovskaya, G. I. (2025). Room-temperature phosphorescence of organic compounds in diverse supramolecular matrix systems. *Journal of Analytical Chemistry*, 80, 402–410. <https://link.springer.com/article/10.1134/S1061934824701879>
- Singh, A., Hou, W.-C., Lin, T.-F., & Zepp, R. G. (2019). Roles of silver–chloride complexations in sunlight-driven formation of silver nanoparticles. *Environmental Science & Technology*, 53(19), 11162–11169. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02115>
- Sodhi, G. S., & Kaur, J. (1999). Chemical methods for developing latent fingerprints. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 488. <https://doi.org/10.1021/ed076p488>
- Zeiss Campus. (n.d.). Fluorescence: The basics. *Zeiss Campus*. <https://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/basics/fluorescence.html>

第二階段：指紋顯現操作步驟、指紋顯現的原理

【學習單】

年級：__ 班別：__ 課程名稱：_____ 授課教師：_____ 上課日期：_____

組別：__ 姓名：_____ 學號：_____ 組員：_____

■ 指紋顯現操作步驟

指紋成品、分組發表與回答問題

- 在下面空格中，貼上你使用四種方法成功顯現的指紋，並且寫出你顯現指紋的初步分類類型名稱（有三種）和細部分類紋路名稱（有八種）。〔注意：在實驗結束後，銷毀你製作的指紋。〕

粉末法	寧海準法	硝酸銀法	氰丙烯酸酯法
初步類型：	初步類型：	初步類型：	初步類型：
細部紋路：	細部紋路：	細部紋路：	細部紋路：

- 在上面的四個指紋上，用箭頭指出特定處，分別寫出各個指紋的細節特徵編號和名稱（常見有十一種）。

粉末法	寧海準法	硝酸銀法	氰丙烯酸酯法

- 寫出你成功顯現指紋的重要技巧和注意事項，以粉末法、寧海準法、硝酸銀法及氰丙烯

酸酯法分別描述之。

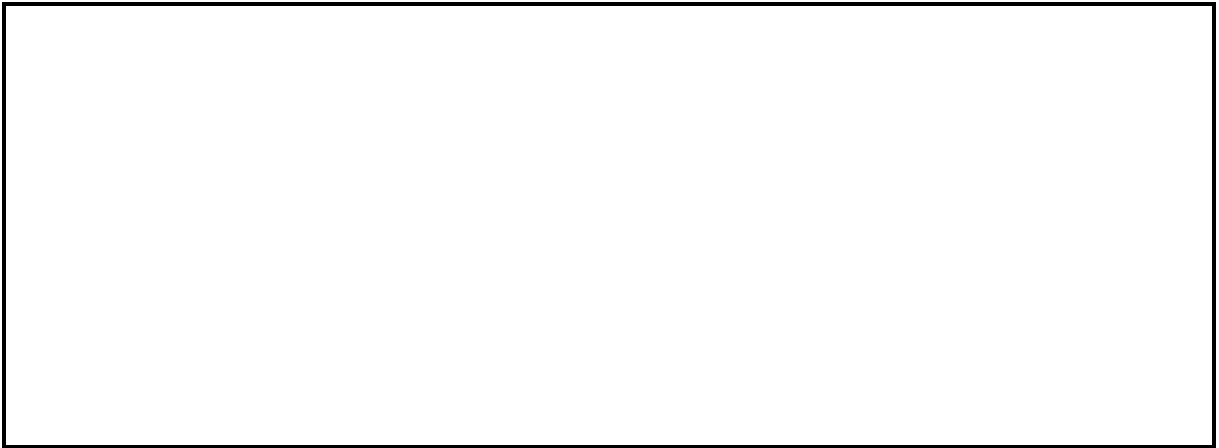
4. 分組發表成功顯現指紋的成果及顯現指紋的重要技巧和注意事項，依照組別順序寫出。

5. 逐條地寫出心得與感想(心得是由心領悟對知識和技能的學習獲得；感想是感受、想法、意見、反思及評論)。

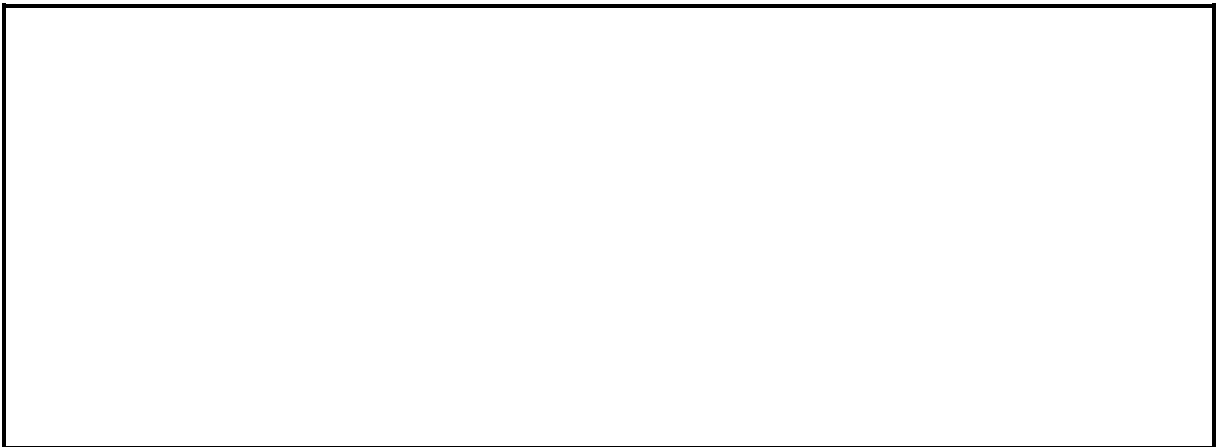
■ 指紋顯現的原理

回答下面問題

1. 畫出粉末法的微觀分子層次—玻璃(主要成分以二氧化矽表示)、水分(水分子)、無機鹽類粉末(如碳酸鋅)及黑色粉末(如二氧化錳)的結構式，標示它們相互之間的靜電吸引力的位置和名稱，並說明各種靜電吸引力形成的原因。



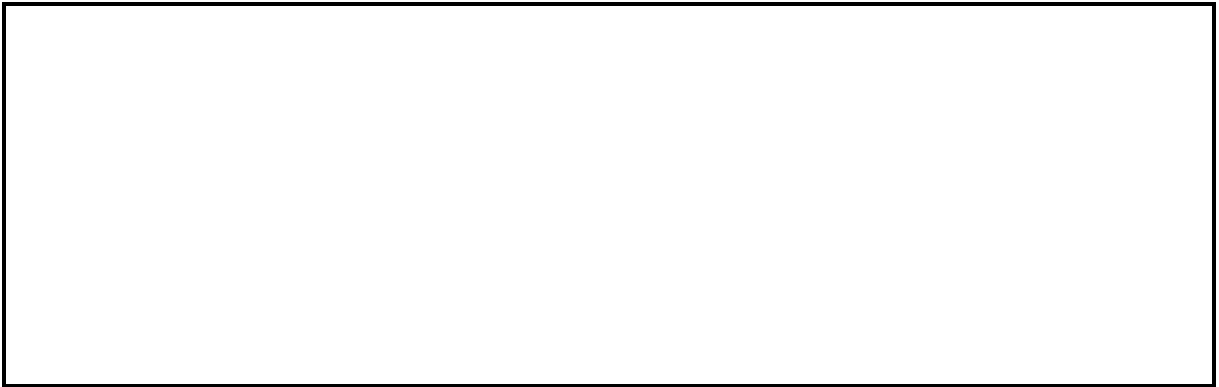
2. 畫出粉末法的微觀分子層次—塑膠(以保特瓶的主要成分「聚對苯二甲酸乙二酯(PET)」表示)、油性成分(如尿素分子)、澱粉細粉(如直鏈澱粉分子) 及黑色粉末(如筆芯粉末的主要成分為石墨) 的結構式, 標示它們相互之間的靜電吸引力的位置和名稱, 並說明各種靜電吸引力形成的原因。



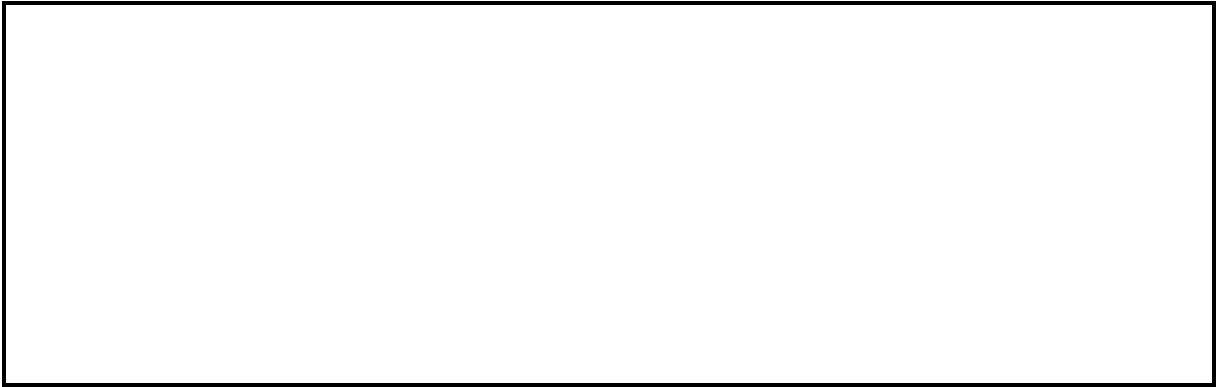
3. 畫出粉末法的微觀分子層次—紙張(紙張的主要成分「纖維素」表示)、水分(水分子) 及螢光物質(螢光素分子) 的結構式, 標示它們之間的靜電吸引力的位置和名稱, 並說明各種靜電吸引力形成的原因。



4. 以圖式說明螢光素在紫外光照射下發出螢光的原理；並且用分子結構式說明在紫外光照射下在螢光素分子中哪個或哪些原子的哪種形式的電子從基態激發為激發態。



5. 在茚三酮法顯現指紋中，根據茚三酮與胺基酸的反應式與其反應機制的描述（在「指紋顯現的原理」一節），以化合物的結構式表示，畫出這反應機制的三步驟（含電子的轉移）。



6. 在硝酸銀法的顯現指紋中，出現奈米尺度量子效應（quantum size effect），找出並描述微小銀簇（ Ag_2 、 Ag_3 ...等聚集體）的銀原子數與其顏色（光吸收波長和顏色特徵）之間的關係。

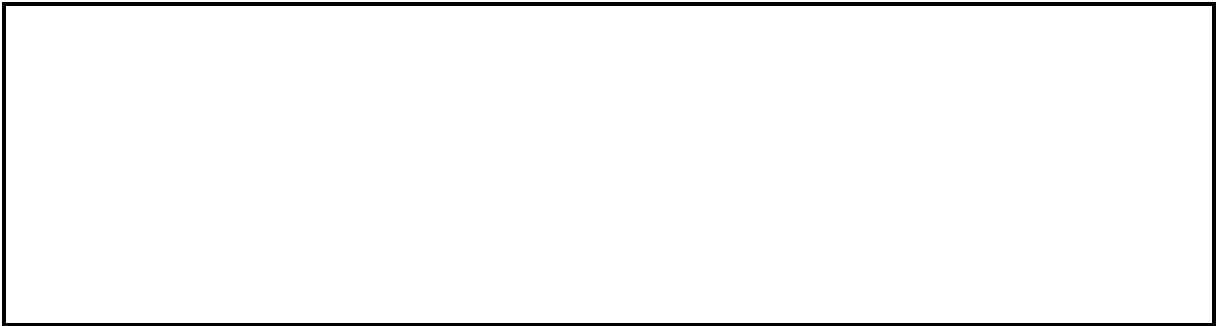


7. 在網際網路上，找出真實案例——在真正犯罪現場中，法醫鑑識人員利用氰丙烯酸酯煙燻法採集大型物體上指紋的新聞報導，並如何利用此法顯現指紋。





8. 逐條地寫出心得與感想(心得是由心領悟對知識和技能的學習獲得;感想是感受、想法、意見、反思及評論)。



設計者：蔡家興¹、游文綺²、許榮成²、陳芷誼²、李忠家²、楊水平^{3,*}

¹ 國立彰化女子高級中學

² 國立彰化師範大學化學系(時任教學助理)

³ 國立彰化師範大學化學系

文章發佈：《臺灣化學教育》，第 62 期，2025。

期刊網站：<https://chemed.chemistry.org.tw/>