

真空蒸鍍技術在顯現熱感紙 與一般紙張上潛伏指紋之應用

陳芷涵 / 高雄市政府警察局仁武分局偵查隊鑑識小隊巡官

王勝盟 / 中央警察大學鑑識科學學系教授兼系主任

陳俊傑 / 彰化縣政府警察局鑑識科警務員

黃雅如 / 中央警察大學鑑識科學研究所研究生

楊詔凱 / 中央警察大學鑑識科學學系助理教授

摘要

真空蒸鍍技術有別於傳統紙張指紋顯現方法之處，除減少指紋顯現藥劑的用量外，更可大幅降低有機溶劑用量，甚至無須使用任何有機溶劑，對於環境非常友善。由於傳統紙張潛伏指紋顯現試劑配方中含有極性溶劑，在採取熱感紙上潛伏指紋時，會造成表面變黑而遮蔽指紋紋線及原有熱感字跡，而真空蒸鍍技術僅需少量溶劑甚至無須溶劑的特性，正能解決熱感紙指紋採證的困境。本文主要探討熱感紙的顯色原理、真空蒸鍍技術原理、及真空蒸鍍技術如何應用在一般紙張與熱感紙上潛伏指紋的採證。



關鍵詞 鑑識科學、潛伏指紋、真空蒸鍍、熱感紙。

一、前言

當社會從神權時代、君權時代，演進到目前的民權時代，刑事司法領域深受到影響。以犯罪事實的推定為例，已逐漸擺脫過去殘酷的刑求手段，透過物證去做客觀地詮釋。指紋堪稱是目前辨識個人最強的物證之一，因此在犯罪偵查上扮演極重要的角色，即便世界上仍有少許指紋鑑定錯誤的案例，但它仍是全世界通用的個體識別方法。

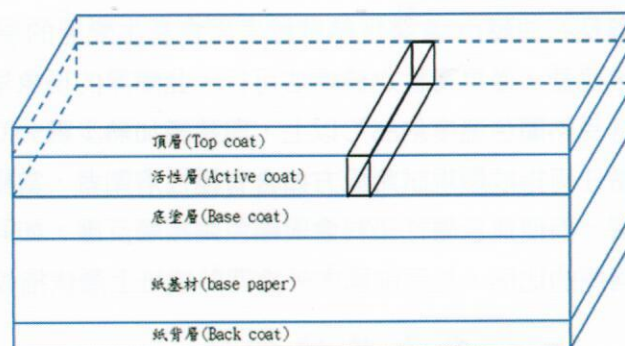
犯罪現場中指紋依其存在的狀態可區分為三大類：成型紋、明顯紋及潛伏紋，成型紋及明顯紋可配合打光及拍照記錄紋型，而相較之下，無法以肉眼觀察之潛伏指紋其顯現與記錄方法顯得複雜得多。依照不同物體表面之特性，需使用不同物理或化學之顯現方法，數十年來，已有無數相關研究發展出各種顯現方法，針對指紋成份中之特定物質如水分、油脂、尿素或胺基酸等進行反應，進而顯現其紋線。

紙張一直是警方採取指紋常見的標的，近年來因熱感紙的使用越來越廣泛，如傳真紙、收據與發票紙張等。熱感紙和其他紙張不同的特點在於它是多層組合，若是比照一般紙張的指紋採取方法，熱感紙表面會變黑而遮蔽指紋紋線及原有熱感字跡。目前是透過降低藥劑配方中極性溶劑的比例來解決，本研究利用真空蒸鍍系統在無溶劑及少量溶劑的狀態下，加熱寧海德林、1,2-Indanedione等藥劑，對一般紙張及熱感紙進行蒸鍍顯現指紋。

二、熱感紙發展、紙張結構與顯色原理

感熱記錄紙(國人常稱熱感紙)係由美國國家收銀機公司(National Cash Register Company; NCR)於西元1965年開發之產品，相關之產品可供自動提款機(ATM)、收銀機、抽號碼機使用之各式熱感紙。此類紙張一開始僅使用在傳真機等機器上，直至1980年以後，隨著金融業電子交易之普及化，且基於成本及便利性考量，目前熱感紙已大量使用於各種提款機收據、收銀機及信用卡簽單等。因此在各類犯罪中，有越來越多的機會須針對熱感紙進行指紋採證。

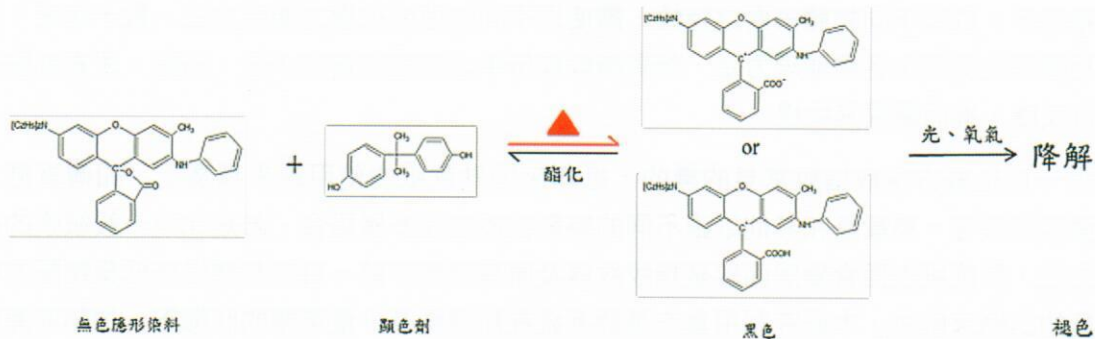
一般而言，熱感紙係外表呈白色、半光澤性之紙張，其具有多層次的紙張結構，且能於受熱後產生化學作用而顯現痕跡。熱感紙依功能之不同，層次多寡隨之不同，字跡保存時間與價格亦隨之不同。最為完整的層次由上而下主要可分為頂層(top coat)、活性層(active coat)、底塗層(base coat)、紙張層(base paper)及紙背層(back coat)，如圖一。



圖一、熱感紙的紙張結構

受熱顯色的現象發生於活性層，其中所含之顯色材料依顯色原理而有不同，本文僅介紹較為人熟知之染料型熱感紙，其顯色材料及原理係將無色隱形染料(leuco dye)、顯色劑(color developer)、顏色增感劑(color sensitizer)、穩定劑(stabilizer)等材料，磨碎成粒徑 $5\mu\text{m}$ 以下程度之微粒子狀並均勻混和，再塗覆在原紙(substrate)上乾燥而成。當熱感列印頭(thermal printed head)碰觸到熱感紙時，活性層接收到熱源，增感劑由固體受熱熔化，使無色隱性染料會與顯色劑接觸反應，進而引起分子內電子移動，使內酯環打開形成離子型共振結構，進而顯

色，因前述反應屬可逆反應，顯色區域經過照光劣化或與空氣中氧氣接觸氧化後，將會逐漸退色，其反應式如圖二所示。⁽¹⁾



圖二、熱感紙無色隱形染料的顯色原理。

以路邊停車收費單等熱感紙為例，為避免因暴露於高溫及日曬雨淋等不利熱感字跡保存之環境，故須使用具頂層之熱感紙，以保護熱感字跡。如欲採取具頂層之熱感紙上潛伏指紋，可比照光滑表面先以氰丙烯酸酯進行煙燻後，再進行化學試劑顯現，而非比照一般紙張直接採用化學試劑顯現。當鑑識人員須對熱感紙進行採證時，目前尚無技術可協助判斷其層次數量及結構，因此建議採用系統化指紋顯現方法有助於提高指紋採獲的成功率。

鑑識人員過去欲顯現熱感紙之潛伏指紋，比照一般紙張使用寧海德林試劑(寧海德林、甲醇及石油醚)，會發現熱感紙表面會產生變黑的現象，造成指紋與熱感紙上原有的列印字跡會被遮蓋，僅具毒性之碘燻法可行。此變黑的現象早先歸咎於顯色過程的加熱步驟，因熱感紙本身受熱顯色溫度約85°C以上，與建議加熱步驟50°C仍有差距，後經國內外學者研究結果發現，當任何指紋顯現試劑配方如含有極性溶劑者，當極性溶劑與增感劑接觸時，將使增感劑進行溶解，而使無色隱性染料會與顯色劑接觸反應，如同受熱顯色的過程。因此如何減低試劑中極性溶劑的比例，是目前國內外處理熱感紙上潛伏指紋的重要解決方案。

三、真空蒸鍍理論

「薄膜沉積」泛指在各種基材的表面上，形成被覆膜的過程。或許讀者會對這個名詞感覺非常陌生，但環顧生活四周如鍍金箔、餐具、刀具或裝飾品等日常用品，其表面均透過「薄膜沉積」技術而具備美觀、耐磨、耐熱、耐蝕等特性。更為重要的是此技術在積體電路或光電材料的發展上更是扮演重要的角色。

薄膜沉積技術依據沉積過程是否涉及化學反應，可區分為物理氣相沉積(Physical Vapor Deposition, 簡稱PVD)及化學氣相沉積(Chemical Vapor Deposition, 簡稱CVD)；PVD主要是透過提供熱能或動能轉移等物理方式來達成，而後者則是透過化學反應的方式來達到薄膜沉積的目的。

的。由於PVD僅利用單純的物理現象，製程上較CVD簡單、成本低且由於發展較早技術較為成熟。

物理氣相沉積技術^(2,5)最為人所知的有蒸鍍(evaporation)及濺鍍(sputtering)。蒸鍍技術主要是對蒸鍍源(欲鍍物)進行加熱氣化後，沉積在基材上形成薄膜。而濺鍍技術則是在金屬板上施以電壓後，可產生電漿(plasma)，電漿中的離子受電場影響後，除具備高動能外，並被引導至靶材位置並發生碰撞，所產生的靶材粒子擴散沉積至基材上。以電子顯微鏡觀察樣品為例，為改善樣品因自身導電性不佳，表面容易產生電荷蓄積的現象而影響影像品質，常用的鍍碳與鍍金技術即是蒸鍍與濺鍍原理的應用。

真空蒸鍍系統主要是由一個密閉空間(蒸鍍室)、蒸鍍源、加熱器及真空抽氣系統等所組成。在真空的狀況下，由於氣體稀薄，蒸鍍源的原子/分子粒子間的碰撞或粒子與空間內的氣體分子間的碰撞次數減少，蒸鍍源粒子能有效率地到達基材上。

在鑑識科學的發展歷程中，真空蒸鍍技術是顯現潛伏指紋的重要技術之一。真空蒸鍍技術依據其蒸鍍源的材料種類可區分真空金屬蒸鍍技術與真空分子蒸鍍技術。其中真空金屬蒸鍍技術應用在潛伏指紋顯現可追溯自1960年代⁽⁶⁾，至今仍有相當多的研究正在進行，其最為人所熟知的顯現過程是透過高熱源分兩階段依序將金與鋅加熱至高溫使之氣化後沈積，即可顯現塑膠物品之潛伏指紋。而真空分子蒸鍍技術應用在潛伏指紋顯現則可追溯自2002年⁽⁷⁾，實驗過程可分為試劑沉積與指紋顯現兩階段，第一階段係透過熱源將寧海德林粉末加熱至高溫使之氣化後沈積在熱感紙上，第二階段指紋顯現部分則是將樣品從真空室取出後，放置到恆溫恆濕的烘箱(50°C、50%RH)30分鐘，顯現熱感紙上之潛伏指紋。內政部警政署刑事警察局指紋科為克服困難檢體上指紋，提高指紋採獲率，分別於2009年及2012年分別購置上述兩種儀器。

四、結合真空分子蒸鍍技術顯現熱感紙指紋

一般潛伏指紋的顯現方法，可依據試劑在顯現指紋時的物理狀態，可分為固態、液態及氣態三類指紋顯現方法。固態顯現如鋁粉、碳粉、磁粉與其他螢光粉末等，液態顯現如寧海德林溶液、1,2-Indanedione溶液與微粒子懸浮液等，氣態顯現如氰丙醯酸酯蒸汽、碘蒸汽等。對於一般紙張或熱感紙張上潛伏指紋採用液態顯現方法居多，然而配製液態試劑需要使用大量有機溶劑，如易燃的石油醚與昂貴的HFE-7100等，對環境極不友善。隨著環保意識與永續發展的概念逐漸興起，因此本實驗室在開發新穎指紋顯現技術，以減少溶劑使用量或排除溶劑的使用，甚者指紋藥劑朝天然萃取物取代人工合成化學藥劑，最終又能兼顧指紋採取品質方向進行。

真空蒸鍍技術無論是真空金屬蒸鍍技術或真空分子蒸鍍技術均屬氣態指紋顯現方法。此方法不僅可以大幅降低溶劑的使用量甚至不需要任何溶劑，藥品(寧海德林、1,2-Indanedione、5,6-dimethoxy-1,2-indanedione、Genipin等)用量亦大幅降低，其中1,2-Indanedione、

5,6-dimethoxy-1,2-indanedione等昂貴藥品，實驗成本亦隨藥品減量而降低。

以下將介紹目前本研究應用真空分子蒸鍍技術應用在熱感紙與一般紙張上潛伏指紋顯現成果：

(一) 寧海德林藥劑：利用真空蒸鍍技術將寧海德林粉末加熱，氣化後沈積在熱感紙上，放置於室溫下隔日指紋顯現情形，如圖三所示。



圖三、真空蒸鍍寧海德林藥劑顯現紙張上潛伏指紋顯現情形。(a)熱感紙、(b)鈔票與(c)影印紙

(二) 1,2-Indanedione藥劑：將1,2-Indanedione之甲醇溶液在真空環境下，激發波長：485-535nm，長波濾鏡：570nm，使用50 °C、RH 50 %的條件下進行加溫加濕30分鐘至60分鐘，顯現熱感紙上潛伏指紋之情形如圖四所示。



圖四、真空蒸鍍1,2-Indanedione藥劑顯現熱感紙上潛伏指紋顯現情形。
(a)螢光指紋顯現情形、(b)樣品上字跡保持完整。

五、結論

開發新穎潛伏指紋顯現技術以提高指紋採獲率，一直是鑑識科學家不斷追求的目標。然而在研發的過程中，僅注重指紋顯現效果，缺乏沒有減少與排除有害物質在製造過程的使用與產生的觀念，因此所開發的新方法中所參與的藥劑、有機溶劑、儀器設備等，往往可能因有害物質的參與，而危害鑑識人員並造成環境的負擔。

本研究所使用的真空分子蒸鍍技術，經實驗證實可將寧海德林、1,2-Indanedione等指紋藥品蒸鍍於熱感紙、鈔票及一般紙張等刑案現場常見紙張種類上，並經過增顯步驟而成功顯現指紋。此舉不僅可大幅減低有機溶劑的使用量，更能減低指紋藥品用量，對於熱感紙部分，除了指紋顯現外，更能兼顧紙張上的熱感字跡。

真空分子蒸鍍技術目前遭遇到較為嚴重的問題就是藥劑殘留問題。前次蒸鍍藥劑除蒸鍍到在樣品上，會有一部分遺留在真空腔體內，如果腔體內部構造複雜，會造成清理上的困難，而使得藥劑殘留情形將更加嚴重。尤其當實驗在探討特定藥劑在顯現指紋的前提下，所需之最低藥劑用量時，容易受到前次實驗的影響。另一個遭遇的問題是目前指紋藥劑沒有三相圖，即藥劑在不同壓力下熔點、沸點與昇華溫度的溫度，因此在設定供蒸鍍過程之升溫程式時，目前是透過嘗試錯誤的方式來進行。



誌謝

本研究承蒙財團法人李昌鈺博士物證科學教育基金會提供專案研究經費，與刑事警察局指紋科廖哲賢科長、王光全組長提供實驗設備及材料，謹此誌謝。FACT

參考文獻

- 1.蘇裕昌、何振隆，感熱記錄回收紙的再生利用，台灣林業科學，2004，19（1），53-61
- 2.徐欽松，真空蒸鍍的理論及實務技術，電子月刊，2008，18（8），206-225。
- 3.吳文發，積體電路技術中物理氣相沈積製程設備發展，電子月刊，1999，5(4)，106-114。
- 4.吳文發，金屬薄膜的物理氣相沈積，電子月刊，1997，3(3)，70-75。
- 5.邱興邦，物理氣相沈積，電子月刊，1997，3(4)，90-95。
- 6.T. Kent,G. L. Thomas,T. E. Reynoldson, H. W. East, “A Vacuum Coating Technique for the Development of Latent Fingerprints on Polythene” , Journal of Forensic Sciences Socceity, 1976,16, 93-101.
- 7.L. Schwarz, P. Nat, I. Frerichs, “Advanced Solvent-Free Application of Ninhydrin for Detection of Latent Fingerprints on Thermal Paper and Other Surfaces” , Journal of Forensic Sciences, 2002, 47(6), 1274-1277.