

掃描電子顯微／X 射線能譜分析法在 微量證物鑑識的應用

Applications of Scanning Electron Microscopy/ Energy Dispersive X-Ray Spectrometry to Forensic Examination of Trace Evidence

孟憲輝

Hsien-Hui Meng

掃描電子顯微／X 射線能譜分析法是發展成熟的分析方法，可同時觀察微量物證的顯微形態特徵並進行非破壞性的多元素分析，使其在鑑識科學廣被應用。本文介紹其在射擊殘跡、火工品爆燃殘跡、射擊後彈頭微物、電焊殘跡、砂輪機殘跡與打火機殘跡等微量證物鑑定上之應用。

Scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray spectrometry (SEM/EDS) is a well developed analytical method. SEM/EDS's capability to simultaneously perform morphological and multi-elemental analysis of trace evidence leads to its extensive application in forensic examination of physical evidence. Herein, we briefly described application cases such as gunshot residues, pyrotechnics deflagration residues, trace evidence on fired bullets, stick welding residues, disc grinder residues, and lighter flint residues by SEM/EDS forensic examination.

一、前言

掃描電子顯微／X 射線能譜分析法 (scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray spectrometry, SEM/EDS) 是早已發展成熟的分析方法^(1, 2)，除了在生物樣品和材料科學有其廣泛之應用外，也是鑑識科學 (forensic science) 領域分析微量證物的重要方法⁽³⁾。

犯罪案件發生時，往往因犯罪人、被害人、相關物體與犯罪現場間的互動和接觸，而在彼此之間

產生微量證物的轉移。因此，若能在一表面採得轉移自另一表面之微量證物，並經鑑識確認，即可連結兩者之關連性。刑案證物需於法庭提示，且常因他造當事人或較高層級法院的要求重複接受鑑識分析，因此總量較少的微量證物需優先使用非破壞性分析方法進行鑑定，以免耗盡證物，影響後續訴訟程序之進行。

SEM/EDS 為非破壞性分析法，可高倍率放大微量證物，觀察並記錄其顯微形態特徵，更可快速進行多元素之定性分析和半定量分析，是進行微量

證物形態特徵鑑定和元素分析的首選鑑識儀器。此外 SEM/EDS 尚有下列優點：樣品前處理簡便迅速，可利用背向散射電子影像模式快速搜尋高原子序分析標的，X 射線成像技術 (X-ray mapping) 可分析微量證物之元素分布，配合動力樣品檯和適當軟體即可進行自動化微量證物之搜尋和分析。本文介紹 SEM/EDS 應用在數種刑案微量證物鑑定的實例，以供參考。

二、微量證物分析原理

1. 電子成像

自掃描電子顯微鏡之電子槍 (electron gun) 發射出並經電場加速的電子束，經由電子透鏡 (electron lens) 聚焦後，在試片表面進行掃描。電子束與試片發生碰撞，產生多種可供檢測之訊號。其中最常用於分析微量證物的訊號包括：二次電子 (secondary electrons, SE)、背向散射電子 (backscattered electrons, BE) 與具元素特性的 X 射線 (characteristic X-ray)。

電子束掃描試片上一特定區域，產生的二次電子訊號經偵測器蒐集並經放大後，在陰極射線管上與試片掃描區域相對應的位置同步掃描，呈現由不同亮暗的像素所構成之放大影像。因此 SEM 的放大倍率取決於試片掃描區域的邊長，與電子透鏡中的物鏡無關，陰極射線管邊長除以試片掃描區邊長即為放大倍率。

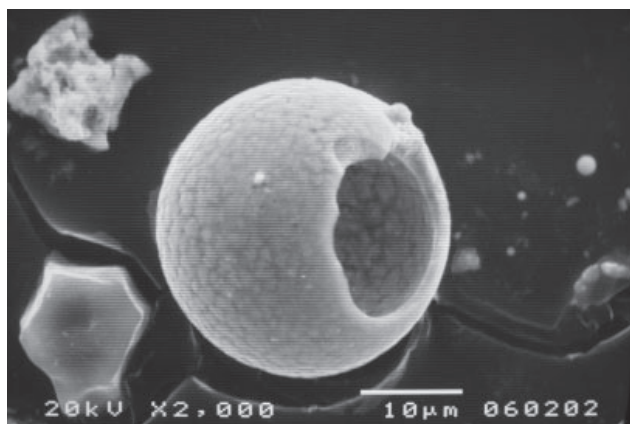


圖 1. 微米空心球因不同區域二次電子產率之差異而呈現立體影像。

分析標的二次電子影像之訊號主要來自 SE1 和 SE2 兩類二次電子。SE1 係入射電子束和試片作用，將試片成分傳導能帶之電子擊出，所產生之電子訊號；SE2 係由背向散射電子與試片之互動所產生之二次電子訊號。二次電子離開試片時所具之能量較背向散射電子低，雖然部分背向散射電子之能量與二次電子重疊，但習慣上將能量 ≤ 50 eV 的電子訊號都稱為二次電子。產生二次電子之試片深度 < 10 nm，由於僅試片表面極淺之一層可產生二次電子訊號，故二次電子影像可充分反應出試片之表面形貌。

試片之不同區域受電子束撞擊時，二次電子之產率亦有差異，產率較高處可得較明亮之影像，反之所得影像則較暗，不同區域的明暗對比可造成影像之立體感。試片表面低窪處之二次電子之產率小，且因背向偵測器之故，二次電子不易抵達偵測器，故影像較暗。試片高起部分之邊緣二次電子產率大，故其影像極為明亮，稱為邊緣效應 (edge effect)，圖 1 之微米空心球清楚顯示明亮邊緣、較暗之球形中心，及最暗之低窪處，使空心球展現立體感。此與可見光照射時，因背光面的陰影所造成之立體感截然不同。

入射電子束之大部分電子將所有能量消耗在試片內，少部分被試片碰撞而反彈出來，即為背向散射電子。背向散射電子訊號經位於試片上方的偵測器蒐集並處理後，也可同步掃描呈現於陰極射線管上，而呈現背向散射電子影像。背向散射電子的能量遠高於二次電子，其角度分布為餘弦 (cosine) 函數，電子束以法線方向撞擊試片時，在電子束入射方向可測得最多背向散射電子。

背向散射電子隨電子束掃描區域試片材料之原子序增加而增加，在背向散射電子影像中，由高原子序材料組成之區域較明亮，低原子序材料區域則較暗。背向散射電子電流與入射電子束電流之比值稱為背向散射係數 (backscattering coefficient, η)，當電子束由法線方向入射撞擊試片且電子束之能量為 20 keV 時， η 與原子序 Z 的關係可以下列多項式表示。

$$\eta = -0.0254 + 0.016 Z - 1.86 \times 10^{-4} Z^2 + 8.3 \times 10^{-7} Z^3$$

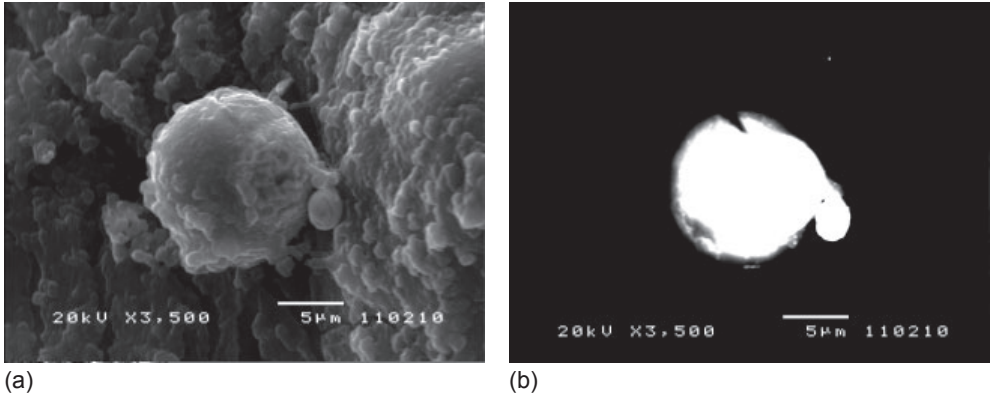


圖 2.
槍傷射入口的組織切片，
(a) 二次電子影像，(b)
背向散射電子影像，在
低原子序生物組織的暗
背景，可觀察到明亮的
高原子序射擊殘跡微粒。

在低原子序基質中的高原子序微量證物，即可藉由背向散射電子影像之亮度反差而被快速尋得。圖 2 為一個槍傷射入口的組織切片，左側為二次電子影像，不易辨識出射擊殘跡微粒之位置；右側為背向散射電子影像，在低原子序的生物體組織暗背景中，可觀察到高原子序無機射擊殘跡 (gunshot residues) 的明亮微粒，進一步鎖定明亮微粒，蒐集 X 射線訊號，進行元素分析，即可以確認射擊殘跡，並研判槍傷。

2. X 射線能譜分析

入射電子和試片進行非彈性碰撞可產生兩種 X 射線訊號，其中連續 X 射線 (X-ray continuum) 係因高速電子碰撞試片後，減速喪失之能量所產生，在 X 射線能譜中形成連續性之背景能譜 (background)。在相同的加速電壓下，相似基質試片得到的背景能譜曲線具有特定形態及特定訊號強度最高點，若電子束掃描區域與 X 射線能譜偵測器間受到遮蔽，則能量較低之 X 射線訊號可被遮

蔽物吸收，造成背景能譜訊號強度最高點向高能量方向移動，而改變背景能譜曲線之形態。此時低能量區域之特性 X 射線訊號亦可能遭遮蔽吸收而消失，導致元素分析不正確之結果。

由於微量物證分析之試片通常未經磨平拋光，試片表面凹凸不平，極易發生 X 射線訊號遭遮蔽之現象，變形的背景能譜有助於判知此一現象，以便改變分析條件，獲得完整之元素分析結果。圖 3 中 (a) 為背景能譜曲線正常之 X 射線能譜，其背景訊號最高點在 2–3 keV 之間，(b) 為遭遮蔽吸收之 X 射線能譜，其背景訊號最高點已位移到 7–8 keV 之間，能量較低之特性 X 射線訊號可能已被吸收而消失或降低其強度。

特性 X 射線訊號源自於入射電子將試片組成元素之內層軌域電子擊出，形成不穩定之離子，外層軌域電子補入時，即可發射出特性 X 射線量子。特性 X 射線之能量等於外層電子補入之緩解能 (de-excitation energy)，即為外層電子軌域和內層電子軌域之能階差，此能階差具備元素之特異

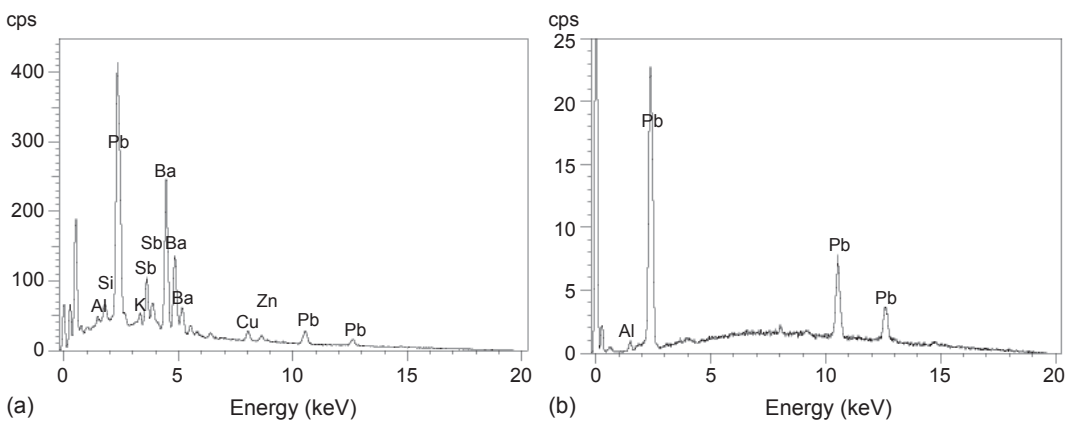


圖 3
(a) X 射線能譜之
背景曲線正常，
(b) X 射線能譜遭
遮蔽吸收導致背景
峰點向高能量處位
移。

性，故特性 X 射線可用來定性元素。由於內層軌域電子之能階狀態不受化學鍵結性質和鍵強度之明顯影響，即使補入電子來自價電子能階 (valence electron states)，其所造成的譜峰位置和形狀的改變也很小，故利用特性 X 射線進行元素分析可不必考慮元素化學狀態之影響。

特性 X 射線可依據被擊出電子所在的軌域層命名成不同系列，擊出 K 層電子所產生之特性 X 射線稱為 K 系列 (K lines)，餘此類推稱為 L 系列和 M 系列。根據補入電子之軌域層，又可將各系列以希臘字母和阿拉伯數字之下標表示，細分成特定特性 X 射線，例如 $K_{\alpha 1}$ 、 $K_{\alpha 2}$ 、 $K_{\beta 1}$ 等。

特性 X 射線可以波長分散 (wavelength dispersion) 與能量分散 (energy dispersion) 兩種方式進行偵測分析。在波長分散 X 射線光譜儀 (wavelength-dispersive X-ray spectrometer, WDS) 中，特定波長的入射 X 射線，經由特定晶體，遵循布拉格定理 (Bragg's law) 反射後，以一定的角度反射到偵測器上。布拉格定理的公式如下：

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

其中， n 為整數， λ 為入射 X 射線的波長， d 為平行於晶體表面的晶格內的平面間距，而 θ 則為 X 射線入射角和反射角。因此，只要以一定的速度旋轉晶體以改變入射角，並以適當角速度轉動偵測器，即可掃描偵測特定波長範圍內的 X 射線波譜。

在能量分散 X 射線光譜儀 (energy-dispersive X-ray spectrometer, EDS，又稱「X 射線能譜分析儀」) 中，特定能量的 X 射線被半導體吸收後，經由光電效應 (photoelectric effect) 在半導體內產生電子-電洞對 (electron-hole pair)，電子-電洞對的電荷脈衝高和吸收的 X 射線的能量呈正比。由於特定能量 X 射線在半導體中產生之電子-電洞對數呈高斯分布 (Gaussian distribution)，加上雜訊高度之影響，單一能量 X 射線的能譜乃呈高斯譜峰 (Gaussian peak)，而非單一譜線，因而降低 X 射線能譜的解析度，一般以 5.894 keV 的 Mn K_{α} 特性 X 射線的譜峰半高寬來衡量 X 射線能譜分析儀的解析度。

WDS 的優點是解析度高於 EDS 達一個位數，可有效分離高原子序元素的 L 譜線和 M 譜線與低原子序元素 K 譜線，解決譜線重疊的問題。在 WDS 中連續 X 射線的訊號較低，相對地提高了靈敏度。但 EDS 最大的優點是可同時分析多元素，WDS 則需改變晶體以完成整個光譜的測定。由於進行微量證物分析時常需搜尋分析大量的標的，快速省時是優先考慮的因素，加上 EDS 使用之偵測設備有大幅度的改善⁽⁴⁾，不僅提升能譜解析度，且可在常溫工作，免除添加液態氮的困擾，因此絕大部分鑑識實驗室都採 EDS 作為微量證物的鑑識工具。

三、微量證物鑑識應用實例

1. 射擊殘跡微粒分析⁽⁵⁾

一顆完整的子彈含彈頭、彈殼、發射火藥和底火四個部分。射擊槍枝擊發子彈時，撞針撞擊並引爆子彈的底火，底火爆炸使底火皿內溫度遽升至約 2000 °C，壓力達 1400 psi，底火所含各無機成分因高熱而熔融、氣化。由於過飽和之故，氣化成分又凝結為球形液滴。高熱成分在極短之時間即由導火孔進入彈殼之火藥室，引燃發射火藥，使彈殼內溫度升至約 3600 °C，壓力達 40,000 psi，發射火藥所含的無機成分也熔融而與來自底火之液滴混合。

前述液滴在高溫高壓下，有些保持原大小，高速通過高溫高壓區進入槍管；有些則相互融合變大，速率較小而在高溫高壓區經歷沸騰、斷裂、磨蝕等中間階段才變成類球形液滴，因此其型態與原來之球形略有變化，內部亦可能形成氣泡或呈中空狀。此等液滴隨著高溫高壓火藥燃氣推動彈頭經過槍管時，部分彈頭成分因與槍管摩擦而脫落，低熔點成分因高溫而形成熔融液滴，少部分彈頭液滴與來自底火和發射火藥之金屬液滴混合或黏附其上；大部分彈頭微粒，則因與底火殘跡之化學狀態不同而單獨存在。

槍管內表面原先射擊殘留之射擊殘跡也因彈頭摩擦或高溫而逸出，與各種來源之液態殘跡混合。射擊殘跡液滴隨著彈頭從槍口或隨著彈殼從拋殼窗或其他槍枝結構縫隙噴射而出，溫度驟降，金屬液

滴以表面能量最低之球體形態急速固化成微粒，即為無機射擊殘跡微粒，其直徑以 μm 計，大部分在 $0.5-10 \mu\text{m}$ 間，也有大到 $100 \mu\text{m}$ 者。過大之無機射擊殘跡，常因來不及冷卻即撞及槍枝附近物體，而形成片狀形態。典型現代子彈使用之底火多含史蒂芬酸鉛、硝酸鉍和硫化銻，彈頭內核均為鉛銻合金，因此典型的無機射擊殘跡微粒，具有鉛、銻、鉍之特異性元素組成。但仍可因底火、彈頭、發射火藥和槍管內早先射擊殘留元素組成之變異而不同^(6,7)，尤其是臺灣常見的土改造槍彈，射擊產生之射擊殘跡，其元素組成更有明顯的變化⁽⁸⁾。

掃描電子顯微/X射線能譜分析法應用於射擊殘跡分析時，可同時觀察其類球形之形態特徵、量測其直徑大小、分析所含之特異性金屬元素，是目前唯一可以確認射擊殘跡的分析方法，美國材料與試驗學會 (American Society for Testing and Materials, ASTM) 所頒布的射擊殘跡鑑識標準 E1588-08 也以 SEM/EDS 為標準方法⁽⁹⁾。射擊手槍時固然容易在射擊者身上沉積射擊殘跡，以連結嫌犯和槍擊事件之關連性，即使射擊不自動拋殼的長槍管散彈槍，

也可在射擊者身上測得射擊殘跡⁽¹⁰⁾。圖 4 和圖 5 分別為射擊散彈槍時產生的類球形及中空多孔狀射擊殘跡的二次電子影像及其 X 射線能譜，兩者皆含特異性的鉛、銻、鉍元素組成。被射物表面的射擊殘跡則可用來確認彈孔和研判射擊距離，對於彈頭未留於體內之疑似槍傷，也可採取組織切片進行射擊殘跡分析，而作為研判槍傷之依據⁽¹¹⁾。

2. 火工品爆燃殘跡分析

除了槍擊過程可產生含各種金屬元素之微米顆粒外，爆竹煙火等火工品 (pyrotechnics) 所用之低爆藥 (low explosives, 又稱「火藥」)，因含金屬粉末還原劑和金屬鹽類氧化劑，且爆燃或燃燒 (deflagration) 時可達逾 $1,000^\circ\text{C}$ 以上之高溫，故亦可形成類球形之金屬微米顆粒。我國因制式炸藥和火藥取得不易，許多犯罪人使用煙火類火藥作為土製子彈之發射火藥或土製炸彈之主爆藥。基於鑑識實務的需求，使用 SEM/EDS，針對 20 種常見的爆竹煙火類火工品的原始成分和爆燃或燃燒後殘跡進行分析⁽¹²⁾。結果在爆燃殘跡中均可測得大量類球

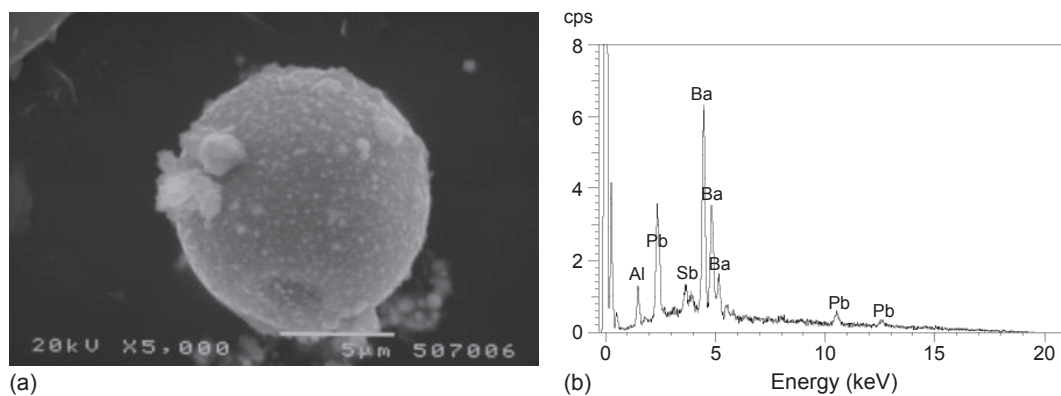


圖 4.
(a) 典型類球形射擊殘跡微粒的二次電子像及 (b) 其 X 射線能譜，測得特異性鉛、銻、鉍元素。

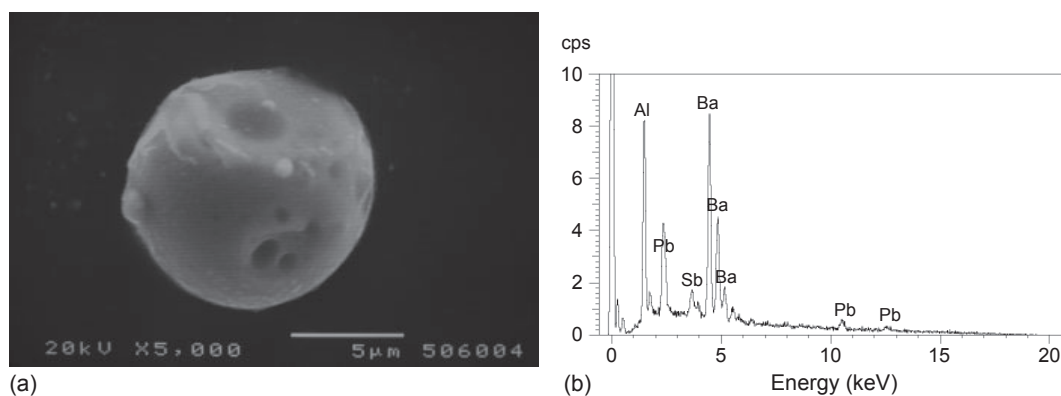
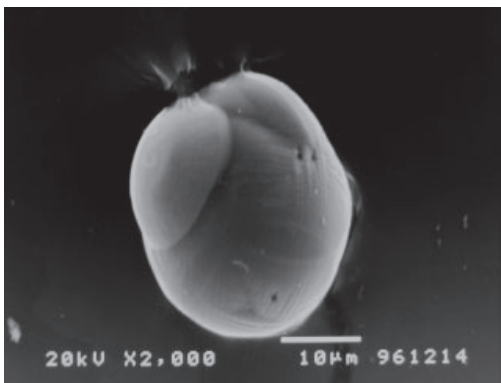


圖 5.
(a) 多孔狀射擊殘跡微粒的二次電子像及 (b) 其 X 射線能譜，測得特異性鉛、銻、鉍元素。



(a)

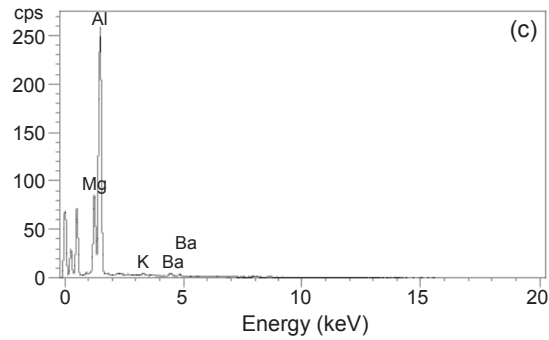
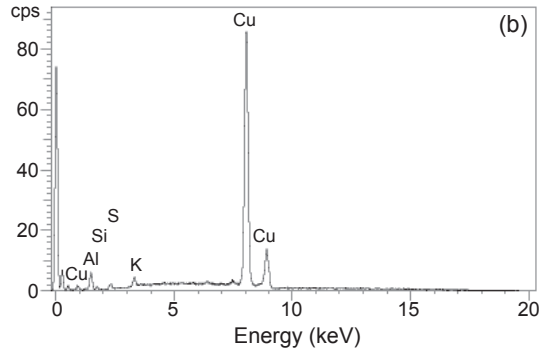


圖 6.

(a) 兩種不同元素組成微粒相互沾附之爆燃殘跡二次電子像，(b) 主體上方之兩片沾附物含銅，(c) 主體微粒含鎂和鋁。

形微粒，但因火工品爆燃或燃燒過程與射擊槍枝不同，反應並非在密閉空間發生，各種高熱之液態產物來不及混合即在空氣中冷卻形成類球形微粒，故殘跡之元素組成雖可反映火工品之化學成分，但不同成分之微粒常分別存在，或僅相互沾附而未均勻混合之特別形態。圖 6 的爆燃殘跡微粒由兩種不同

元素組成之微粒沾附相連而成，主體之主成分為鎂和鋁，主體上方之兩片沾附物則以銅為主，分別如相關之 X 射線能譜所示。另有爆燃殘跡微粒係由含銅的內核和含鈦外層所組成，其二次電子影像和 X 射線能譜分別如圖 7 所示。有些火工品爆燃殘跡雖個別含有鉛、銻或鋇元素之一種，但並無同時含



(a)

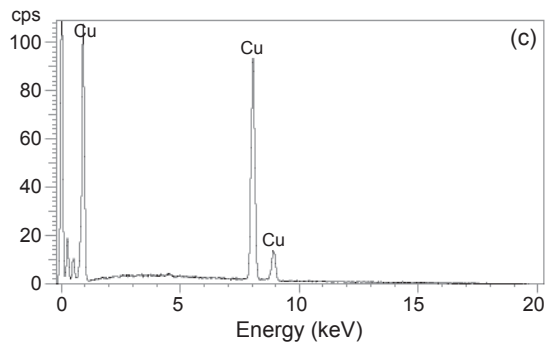
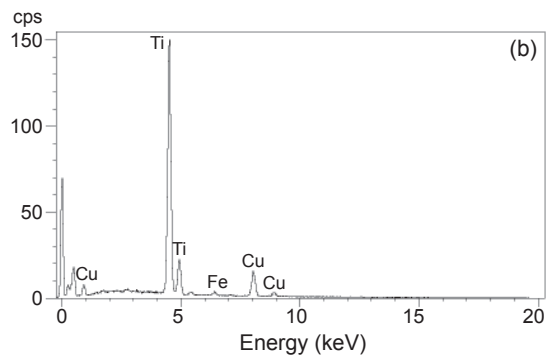


圖 7.

(a) 含銅內核和含鈦外層所組成之爆燃殘跡二次電子像，(b) 外層和 (c) 內核所含元素的 X 射線能譜。

有三種射擊殘跡特異性元素之微粒出現，顯示火工品爆燃殘跡之元素組成特徵可與射擊殘跡區隔，不至相互混淆。

3. 彈頭微物分析

槍擊案發生時，若彈頭先射穿中間被射物，或在中間被射物上跳彈，再擊中被害人或其他目標物，則在採獲之射擊後彈頭表面可發現轉移自中間被射物的微量物證，分析微量物證對於外彈道重建和案情研判均有助益。彈頭上之微物若具備特殊顯微形態特徵或元素組成特性，即可應用 SEM/EDS 進行鑑定分析，以確認中間被射物的種類⁽¹³⁾。槍擊車輛或住宅時，玻璃碎屑是常見的彈頭微物，但有時彈頭也可能擊中磁磚或聚合物材質的透明燈罩或遮板。目視或實體顯微 (stereo microscopy) 觀察時，前述三種材料之微物常不易區別及確認，SEM/EDS 則可藉由顯微特徵觀察和元素分析進行區別，甚至確認微物之來源。玻璃碎屑可觀察到光滑如鏡的斷裂面、平行的梳子狀和弧形的斷痕，並

測得大量的矽和少量的鈉、鎂、鈣、鉀、鋁等元素，若有特殊功能或具顏色的玻璃，則另含其他種類少量元素。圖 8 為彈頭擊中平板玻璃後所生玻璃碎屑的二次電子影像和 X 射線能譜，可觀察到前述特徵。

在 SEM 底下，磁磚碎屑常可發現大量孔洞，這些孔洞係因燒成過程高溫燒失大量雜質所造成，磁磚碎屑可測得大量的矽和鋁元素，及少量的鈉、鎂、鈣、鉀、鈦和鐵等元素，不論形態或元素組成均與玻璃碎屑不同，圖 9 為彈頭擊中磁磚所生碎屑的二次電子影像和 X 射線能譜。

彈頭擊中透明壓克力板時，在彈頭直接撞擊處，摩擦熱可使其產生熔融形態特徵之碎屑，但離撞擊點較遠之處僅能產生有不規則斷裂痕之碎屑。彈頭撞擊玻璃和磁磚產生之碎屑，均未觀察到熔融狀特徵。由於壓克力板為有機聚合物，元素分析時無法測得任何無機元素組成，可輕易與玻璃和磁磚碎屑區別，圖 10 為彈頭擊中透明壓克力板所生碎屑的二次電子影像。

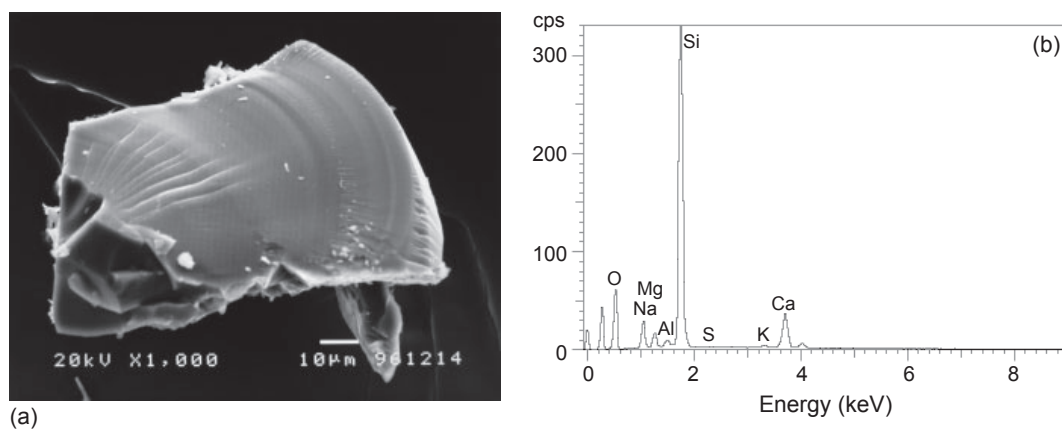


圖 8. (a) 射擊後彈頭上平板玻璃碎屑的二次電子像和 (b) X 射線能譜。

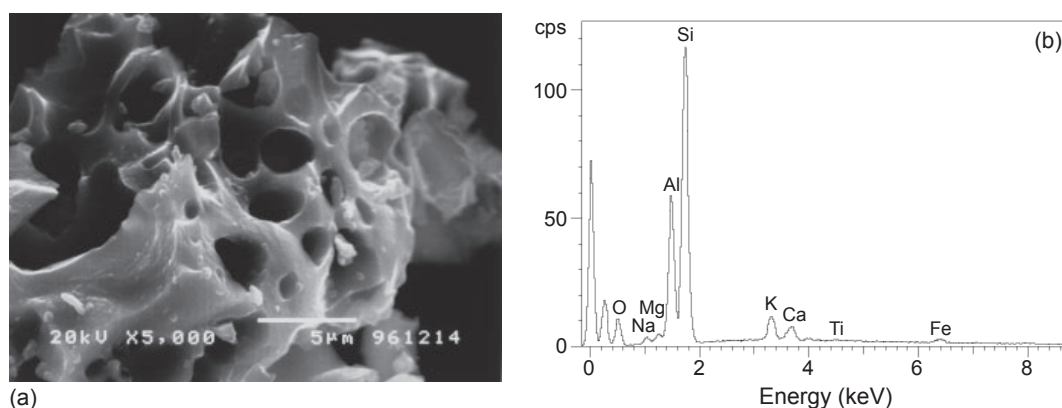


圖 9. (a) 彈頭擊中磁磚所生碎屑的二次電子像和 (b) X 射線能譜。



圖 10. 彈頭擊中透明壓克力板所生具熔融狀特徵的碎屑。

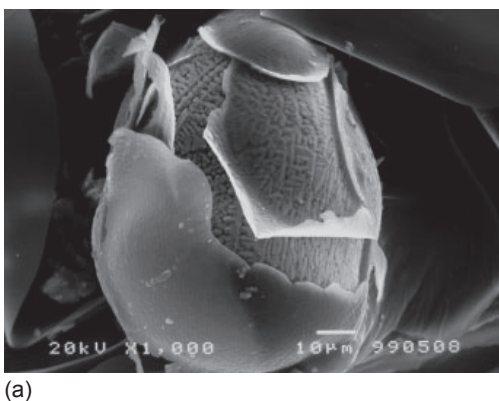
4. 電焊殘跡分析

電焊技術可用來切割金屬防盜門窗或改造槍枝，電焊過程因高溫之故，也可產生類球形的金屬焊珠，焊條外層的焊料殘留則包覆焊珠形成外殼。焊珠為微量證物，可因接觸而轉移，在切割門窗之竊盜或強盜案現場及犯罪人之衣物均可能採得焊珠，可經鑑識而連結兩者之關連性。以電焊手法改造槍枝時，可在焊接部位接縫或轉折處採

得焊珠，經鑑定而證明改造槍枝的犯罪行為⁽¹⁴⁾。此外，焊接過程產生之高溫焊珠於接觸易燃物時，也可能導致火災，焊珠鑑定也可應用至火場鑑識。由於 SEM/EDS 可同時進行微物之形態觀察和元素分析，故也極適用於用在焊珠和焊料殘留的鑑析。在一件改造槍枝鑑定案中，槍管焊接處之採樣，經以 SEM/EDS 進行分析，結果測得具外殼和內核結構之類球形焊珠，在焊珠內核測得鐵和錳，外殼則測得大量之鐵、錳、鈦、鈣矽和少量之鉀、鋁、鎂等與焊料相同之元素，焊珠之二次電子影像和 X 射線能譜如圖 11 所示。

5. 砂輪機殘跡分析

手提砂輪機可用於切割鎖具和防盜門窗，若淪為犯罪工具，對治安將有重大危害。由於切割時可因高速摩擦而產生高熱，熔融切割過程產生之金屬碎屑，冷卻後形成類球形金屬微粒，沉積於刑案現場和行為人身上，可用於連結嫌犯、刑案現場和犯罪行為之關連性。在一個使用手提砂輪機切割汽車排檔桿防盜鎖之實驗中，在現場採得大量之類球形金屬微粒，以 SEM/EDS 分析發現，微粒之元素組成與鎖具材料相同，一顆砂輪機切割殘留微粒之二次電子影像和 X 射線能譜如圖 12 所示。



(a)

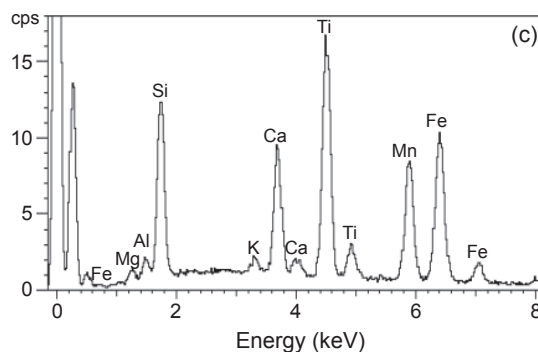
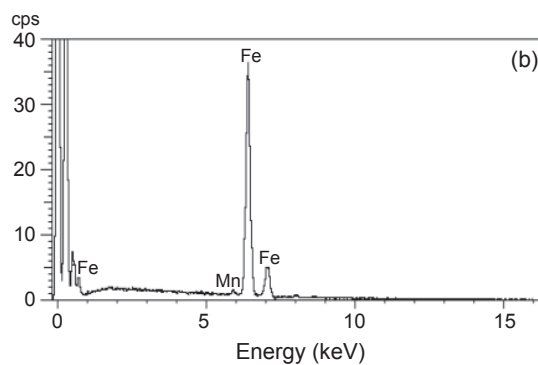


圖 11. (a) 改造槍枝焊接處測得焊珠之二次電子像和 (b) 焊珠內核及 (c) 外殼之 X 射線能譜。

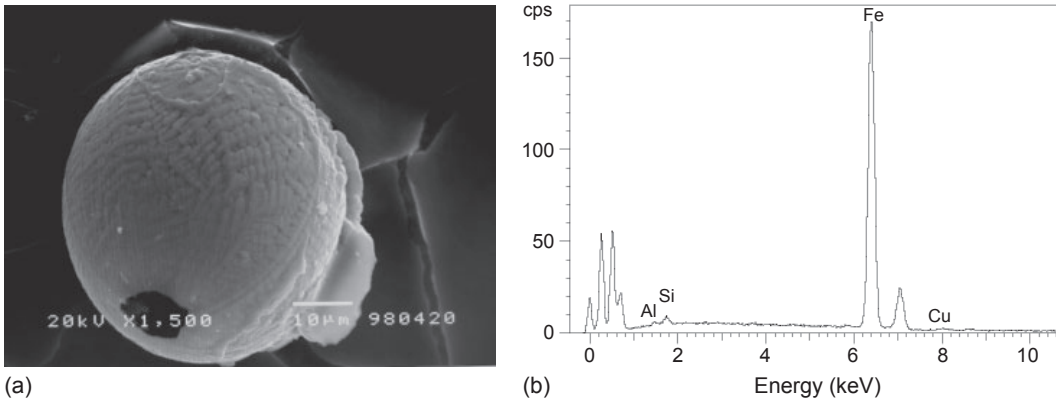


圖 12.
(a) 砂輪機切割殘留微粒之二次電子像和 (b) X 射線能譜。

6. 打火機殘跡分析

打火機是日常生活之必需品，雖有不同廠牌型式及價格區隔，但絕大部分都應用「摩擦點火」原理點燃火焰。使用時以拇指轉動鋼鐵材質的滾輪，使其粗糙表面與一圓柱狀「打火石」摩擦，產生「火花」，點燃噴氣口噴出之丁烷燃料氣體，產生火焰。現代打火機使用之「打火石」並非天然「燧石」，而是含有稀土金屬元素的人造材料，常用者為鐳和鈾兩種元素。因鐳和鈾不耐摩擦，打火石內常添加鐵和銅以增加硬度。

使用打火機時產生之火花，是摩擦產生之具傳導熱能功能的熔融金屬液滴。此等液滴含有來自打火石的稀土元素，冷卻後以類球形之形態沉積於打火機表面、使用者手部及身體和點火地點附近物體表面，分析打火機殘跡在縱火或其他特定類型之刑案中，具有重建犯罪行為之價值⁽¹⁵⁾。除了冶金、玻璃製造、石化、光學儀器等工業外，稀土元素在日常生活上並不易接觸到，故打火機殘跡的元素組成具有相當程度之特異性。圖 13 為一類球形打火機殘跡微粒之二次電子影像和 X 射線能譜。

四、結語

掃描電子顯微/X 射線能譜分析法可同時觀察微量證物之顯微特徵並進行多元素分析，特別適用於刑案物證之鑑定分析。其絕對靈敏度雖較低，但因可高倍率放大分析標的，再以電子束進行點元素分析，其相對靈敏度實較許多濕式微量元素分析方法為高。分析前不需複雜前處理和非破壞性分析，更使 SEM/EDS 在物證鑑識的應用上具有極大的發展潛力。目前鑑識科學領域雖已將 SEM/EDS 應用於常見物證類型的鑑定，但一些特殊性物證的鑑定仍可依個案需求，開發新的鑑定程序和方法，以有效發揮 SEM/EDS 的優點。

誌謝

本文感謝行政院國家科學委員會專案研究計畫 (NSC 95-2414-H-015-005 及 NSC 99-2410-H-015-007-MY2) 和內政部政府科技計畫 (2006-2010 年，提升我國鑑識實務能力計畫) 之經費支持。中

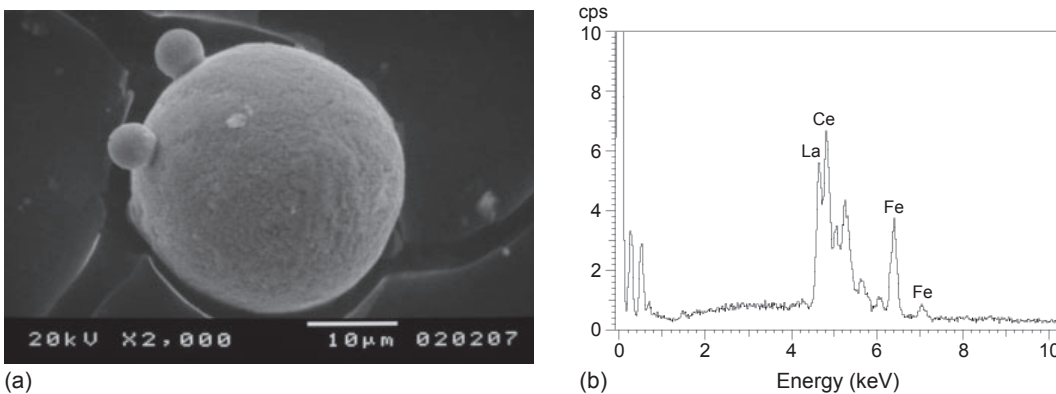


圖 13.
(a) 打火機類球形殘跡微粒之二次電子像和 (b) X 射線能譜。

央警察大學鑑識科學學系博士生李協昌，碩士生黃金榮、尤文南、張尊評、左育慎和吳冠宇，大學專題生林俊宏和方聖允等，在計畫執行和實驗操作之協助，一併致謝。

參考文獻

1. 陳力俊等, 材料電子顯微鏡學, 新竹: 行政院國家科學委員會精密儀器發展中心 (1990).
2. L. Reimer, *Scanning Electron Microscopy- Physics of Image Formation and Microanalysis*, 2nd ed., Berlin: Springer, (1998).
3. P. White, *Crime Scene to Court—The Essentials of Forensic Science*, 3rd ed., Cambridge: RSC Publishing, 348 (2010).
4. 洪英傑, 郭育秀, 科儀新知, **32** (3), 25 (2010).
5. H. H. Meng and B. Caddy, *J. Forensic Sci.*, **42**, 553 (1997).
6. H. H. Meng and Y. L. Chen, *Forensic Sci. J.*, **5**, 21 (2006).
7. H. H. Meng and H. C. Lee, *Forensic Sci. J.*, **6** (1), 39 (2007).
8. H. C. Lee and H. H. Meng, *J. Forensic Sci.*, **57**, (2012), (accepted).
9. ASTM International, *Standard guide for gunshot residue*

analysis by scanning electron microscopy/energy-dispersive spectrometry, USA: ASTM International, (2008).

10. 孟憲輝, 吳冠宇, 方聖允, 警學叢刊, **42** (3), 99 (2011).
11. 黃金榮, 孟憲輝, 刑事科學, **64**, 35 (2008).
12. 張尊評, 我國常見火工產品殘跡之鑑識分析, 中央警察大學鑑識科學研究所碩士論文 (2008).
13. 尤文南, 孟憲輝, 刑事科學, **68**, 13 (2010).
14. 孟憲輝, 林茂雄, 刑事科學, **52**, 1 (2001).
15. H. H. Meng and C. H. Lin, *Forensic Sci. J.*, **7**, 37 (2008).



孟憲輝先生為英國史查克萊大學鑑識科學博士，現任中央警察大學鑑識科學學系教授。

Hsien-Hui Meng received his Ph.D. in forensic science from the University of Strathclyde, UK. He is currently a professor in the Department of Forensic Science at Central Police University.