

# 毛细管 X 光会聚透镜在潜指纹提取中的应用

孙天希<sup>1,2,3</sup> 刘志国<sup>1,2,3</sup> 李玉德<sup>1,3</sup> 林晓燕<sup>1,3</sup> 罗萍<sup>1,3</sup>

潘秋丽<sup>1,3</sup> 杨科<sup>1,3</sup> 袁灏<sup>1,3</sup> 丁训良<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>北京师范大学核科学与技术学院, 北京 100875  
<sup>2</sup>中国政法大学证据科学教育部重点实验室, 北京 100088  
<sup>3</sup>北京市辐射中心, 北京 100875

**摘要** 提出了利用毛细管 X 光会聚透镜(CFXRL)提取潜指纹的方法——特征 X 射线成像法。为了利用该法提取潜指纹,设计了基于 CFXRL 和实验室普通 X 射线光源的微束 X 射线荧光光谱仪,CFXRL 的焦斑直径和放大倍数分别为 32.2  $\mu\text{m}$  和 2940。这便于在高空间分辨下测量潜指纹中化学元素对应的特征 X 射线,从而实现快速获取潜指纹的目的。另外,特征 X 射线成像法还可以判断指纹所有者在留下指纹前接触过的物质种类,这对刑侦鉴别也具有重要的应用价值。实验证明,CFXRL 在潜指纹提取中存在着潜在的应用价值。

**关键词** X 射线光学;毛细管 X 光会聚透镜;微束 X 射线荧光成像;潜指纹

**中图分类号** O434.19; TH744.15 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201131.0434001

## Application of Capillary Focusing X-Ray Lens in Obtaining Latent Fingerprint

Sun Tianxi<sup>1,2,3</sup> Liu Zhiguo<sup>1,2,3</sup> Li Yude<sup>1,3</sup> Lin Xiaoyan<sup>1,3</sup> Luo Ping<sup>1,3</sup>

Pan Qiuli<sup>1,3</sup> Yang Ke<sup>1,3</sup> Yuan Hao<sup>1,3</sup> Ding Xunliang<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>College of Nuclear Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China  
<sup>2</sup>Key Laboratory of Evidence Science, Ministry of Education, China University of Political Science and Law, Beijing 100088, China  
<sup>3</sup>Beijing Radiation Center, Beijing 100875, China

**Abstract** The characteristic X-ray imaging technology is proposed to obtain the latent fingerprint. To obtain the latent fingerprint, the X-ray fluorescence spectrometer based on the capillary focusing X-ray lens (CFXRL) and the laboratory X-ray source is designed. The focal spot diameter of CFXRL and the gain of CFXRL are 32.2  $\mu\text{m}$  and 2940 respectively. This is helpful in detecting the characteristic X-rays of the elements in latent fingerprint efficiently, with high spatial resolution. Characteristic X-ray imaging technology can judge the substance contacted by the fingerprint owner before leaving it. This is also useful in forensic sciences. It is proved that the CFXRL has potential applications in obtaining the latent fingerprint.

**Key words** X-ray optics; capillary focusing X-ray lens; micro-X-ray-fluorescence imaging; latent fingerprint

**OCIS codes** 340.7460; 300.6560; 340.7440

## 1 引 言

随着指纹提取技术的不断提高,指纹在刑侦领

域的作用越来越大。如果指纹是留在金属、塑料、玻璃或磁砖等非吸水性物品的表面,对指纹的提取比

**收稿日期**: 2010-08-12; **收到修改稿日期**: 2010-11-17

**基金项目**: 国家自然科学基金(11075017)、证据科学教育部重点实验室开放基金(2010KFKT01)、北京市自然科学基金(1092013)、高等学校博士学科点专项科研基金(200800271021)、教育部科学技术研究重点项目基金(108125)和北京市优秀人才培养资助项目(2010C009012000005)资助课题。

**作者简介**: 孙天希(1969—),男,博士,副研究员,主要从事 X 射线分析技术、毛细管 X 射线光学器件和 X 射线会聚技术等方面的研究。E-mail: stxbeijing@163.com

较容易,通常可以用粉末法和磁粉法等。如果指纹留在纸张、卡片、皮革和木头等吸水性物品的表面,必须经过化学处理才能使指纹显形,常用的化学法有碘熏法、硝酸银法和荧光试剂法等<sup>[1~6]</sup>。对潜指纹(凭肉眼无法分辨)的提取,上述方法操作繁琐,精度不高,所以如何快速、无损和高精度地提取潜指纹在刑侦领域倍受关注。

指纹所有者在留下指纹前,常常会接触一些物质,例如护肤霜、洗涤剂、油、灰尘、炸药、有毒物质或毒品等,这些物质中不同元素对应着自己的特征 X 射线。所以,如果采用高功率密度的微束高能粒子对潜指纹所在区域进行二维扫描分析,可得到三维数据,其中一维数据是指纹中某元素对应的特征 X 射线的强度,另外二维数据是空间坐标,利用这些数据就可以对潜指纹进行计算机成像——特征 X 射线成像。通过特征 X 射线成像法提取指纹的重点是设计适合于指纹提取的微束分析设备,首先要保证照射在指纹上的高能粒子束的束斑尺寸要小于指纹的宽度,同时还要保证照射在某处的高能粒子束的强度足够强,只有这样才能在高空间分辨情况下激发指纹中元素对应的特征 X 射线。常见的激发元素特征 X 射线的微束分析设备有电镜+能谱(SEM-EDX)、微束质子诱导 X 射线荧光(Micro-PIXE)和微束同步辐射 X 射线荧光(Micro-SXRF)<sup>[7~9]</sup>。第一种方法的检测限较高,不便于获得低含量元素的特征 X 射线,第二和第三两种方法的检测限低于第一种方法,可以检测到百万分之一量级的微量元素,但第二和第三两种方法的设备庞大,运行费昂贵<sup>[10~13]</sup>。

为了克服上述三种获得特征 X 射线技术的弊端,本文设计了毛细管 X 光会聚透镜(CFXRL),建立了基于 CFXRL 和实验室普通 X 射线光源的微束 X 射线荧光(Micro-XRF)谱仪,该谱仪的检测限要优于 SEM-EDX,虽然该谱仪的检测限不如 Micro-PIXE 和 Micro-SXRF,但该谱仪可以设计成便携的,所以便于在犯罪现场提取指纹。这是因为每个 CFXRL 是由  $30 \sim 50 \times 10^4$  根单玻璃毛细管构成<sup>[14]</sup>,它可以将发散 X 射线光束会聚为直径在  $10 \mu\text{m}$  数量级的微焦斑,焦斑位置处的功率密度增益(放大倍数)在  $10^3$  数量级<sup>[15~17]</sup>,这提高了激发指纹中元素特征 X 射线的能力。

本文研究了 CFXRL 在指纹提取中的应用特点,为进一步开展基于 CFXRL 的指纹提取技术提供了依据。

## 2 实 验

### 2.1 实验仪器

图 1 是基于 CFXRL 和转靶 X 射线光源的 Micro-XRF 谱仪的示意图。光源是日本理学 12 kW 转靶 X 射线源,所用 Mo 靶光源的斑点为  $300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$ ,该光源发出的连续 X 射线谱经 CFXRL 会聚后得到微焦斑,利用该微焦斑照射样品。在 CFXRL 和样品之间放置了 Nb 吸收片,通过 Nb 吸收片过滤后的激发光束是接近于 Mo-K<sub>α</sub> 特征线的准单色光,利用该准单色光照射样品,不仅可以提高该谱仪的信噪比,还能防止对有机或生物样品造成破坏。探测器是德国产的 XFlash Detector 2001,该探测器在 5.9 keV 的能量分辨率为 140 eV。在 17.4 keV 能量点,CFXRL 的焦斑直径为  $32.2 \mu\text{m}$ ,CFXRL 焦斑处的功率密度增益为 2940。CFXRL 的其它参量如表 1 所示。

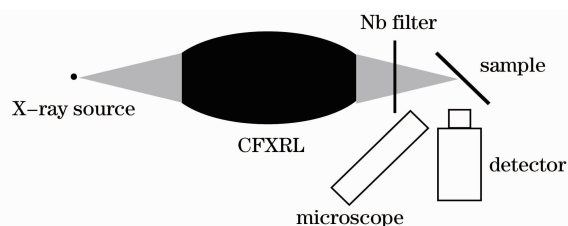


图 1 基于 CFXRL 的 Micro-XRF 谱仪示意图

Fig. 1 Scheme of Micro-XRF spectrometer based on CFXRL

表 1 CFXRL 的性能参量

Table 1 Parameters of CFXRL

Parameter	Value
Length /mm	79.3
Input diameter /mm	5.1
Output diameter /mm	3.5
Input focal distance /mm	70.2
Output focal distance /mm	15.3
Number of the capillary /ca	289000

### 2.2 Micro-XRF 谱仪的最小探测极限

采用薄膜标准样品(Micromatter, Seattle, WA, USA)测量了该谱仪对不同元素的最小探测极限(MDL)(表 2)。最小探测极限  $m_{\text{MDL}}$  由下式计算得到:

$$m_{\text{MDL}} = 3C_i N_{i,B}^{1/2} / N_{i,N},$$

式中  $C_i$  是 CFXRL 焦斑内元素  $i$  的浓度,  $N_{i,B}$  和  $N_{i,N}$  分别是元素  $i$  特征线峰对应的本底计数和纯峰计数。

如果想进一步提高基于 CFXRL 的 Micro-XRF 的性能,可以在探测器前添加一个毛细管准直器,让

CFXRL 的出口焦斑和毛细管准直器的入口焦斑处在共聚焦状态,这会进一步改善该谱仪的信噪比等性能<sup>[18]</sup>,从而进一步优化该谱仪的最小探测极限。

表 2 Micro-XRF 谱仪的最小探测极限  
(36 kV, 70 mA, 600 s)

Table 2 MDL of the Micro-XRF spectrometer  
(36 kV, 70 mA, 600 s)

Element	MDL / (ng/cm <sup>-2</sup> )	Element	MDL / (ng/cm <sup>-2</sup> )
Si	14.5	Ni	1.3
P	12.1	Cu	1.1
S	11.7	Zn	0.9
K	4.1	Ga	0.8
Ti	2.9	Se	0.6
Cr	2.1	Br	0.7
Fe	1.5	Pb	0.9

### 2.3 在潜指纹提取中的应用

用粘有化妆品的手在 A4 打印纸上留下指纹,然后利用特征 X 射线成像方法对该指纹进行提取,Mo 靶光源的电压和电流分别为 30 kV 和 50 mA,扫描时每步的停留时间为 40 s。指纹条纹缝隙处的 A4 纸对应的 X 射线荧光光谱如图 2 所示,指纹条纹处的 A4 纸对应的 X 射线荧光光谱如图 3 所示。由图 2 可知该种打印纸中含有 Cl、Ca、Fe 和 Cu 等元素,由图 3 和图 2 比较可知,该种化妆品中含有 Ti 元素,以 Ti 元素的 K $\alpha$  线对应的相对强度为引言中提及的三维数据中的强度数据进行特征 X 射线成像(图 4 中 B)。为了判断原指纹和通过特征 X 射线成像法得到的指纹吻合情况,将粘有黑色染料的手指按在玻璃上,然后利用数码相机拍照(图 4 中 A),由图 4 可知该特征 X 射线成像法得到的指纹与原指纹吻合得较好。

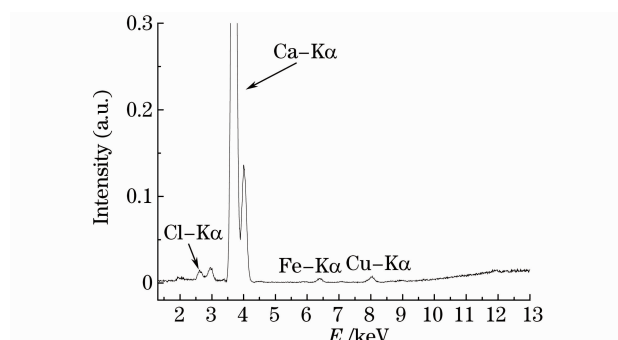


图 2 某种 A4 打印纸对应的 X 射线荧光光谱  
Fig. 2 XRF spectrum of a kind of paper

在利用特征 X 射线成像法提取指纹时,如果指纹载体中也含有指纹中的元素,载体中的指纹元素会影响特征 X 射线成像效果,这可以分为三类讨

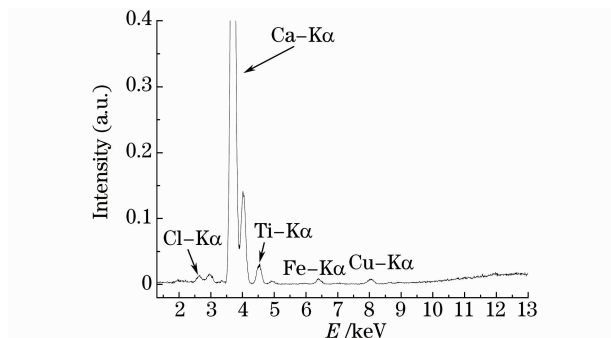


图 3 某种 A4 打印纸上有指纹处对应的 X 射线荧光光谱  
Fig. 3 XRF spectrum of a kind of paper with a part of fingerprint

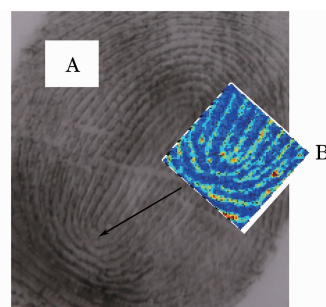


图 4 原指纹(A)和部分扫描指纹(B)  
Fig. 4 Original fingerprint (A) and a part of fingerprint obtained by scanning (B)

论。第一类是载体中的指纹元素分布均匀,对成像效果的影响很小,相当于在理想指纹像的基础上平均加了一个背底;第二类是载体中的指纹元素分布不均匀,但其含量远低于指纹中该指纹元素的含量,对成像效果的影响也不大,相当于在理想指纹像的基础上加了一个很弱的不均匀背底;第三类是载体中的指纹元素分布不均匀,并且其含量中高于指纹中该指纹元素的含量,特征 X 射线成像法不适合于此种情况下的指纹提取。所以在利用特征 X 射线成像法提取指纹时,一定要找到指纹中的特征元素,并且要比较一下该元素在指纹载体中的含量情况,然后才能进行扫描分析。

不同物质含有不同元素,不同元素对应着不同特征 X 射线,即不同的物质具有不同的 X 射线能谱,所以在利用特征 X 射线成像法获得指纹的过程中,可以判断指纹所有者在留下指纹前接触过的物质种类,有助于缩小侦查范围。

指纹往往含有指纹所有者的汗液等体内分泌物,该法有望实现通过检测指纹处汗液等体内分泌物中元素对应的特征 X 射线,达到提取指纹的目的,进一步的工作正在进行中。

## 3 结 论

CFXRL 具有较小的焦斑,足以分辨指纹。同时,由于该透镜焦斑处具有较高的功率密度增益,提高了照射在指纹处单位面积上激发 X 射线的光通量,所以基于 CFXRL 的 Micro-XRF 谱仪适合于对潜指纹进行特征 X 射线成像提取。基于 CFXRL 和普通实验室 X 射线光源的 Micro-XRF 谱仪与 Micro-SXRF 装置以及 Micro-PIXE 装置相比,前者便于便携式设计,从而扩大了其使用范围。

## 参 考 文 献

- Williams D. K., Schwartz R. L., Bartick E. G.. Analysis of latent fingerprint deposits by infrared microspectroscopy [J]. *Appl. Spectrosc.*, 2004, **58**(3): 313~316
- Exline D. L., Wallace C., Roux C. *et al.*. Forensic applications of chemical imaging: latent fingerprint detection using visible absorption and luminescence[J]. *J. Forensic Sci.*, 2003, **48**(5): 1047~1053
- Jia Changming. Development of fingerprint on transparent film materials by using optical filtering method[J]. *Forensic Science and Technology*, 2009, **5**: 20~21  
贾常明. 利用光学滤波方法提取透明薄片上的指纹[J]. *刑侦技术*, 2009, **5**: 20~21
- Li Ying, Zhong Jingang, Zhang Yonglin. Fingerprint image acquisition based on surface plasmon resonance imaging [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(8): 1143~1147  
李 莹, 钟金钢, 张永林. 基于表面等离子体共振成像的指纹采集[J]. *中国激光*, 2006, **33**(8): 1143~1147
- Dong Yan, Zhang Chen, Gu Lihua *et al.*. PCR-based STR genotyping of sweat latent fingerprint samples involved in cases [J]. *Journal of Forensic Medicine*, 2005, **22**(1): 74~75  
董 研, 张 晨, 顾丽华等. 汗潜指印的 STR 分型检测在案件中的应用[J]. *法医学杂志*, 2005, **22**(1): 74~75
- Weng Ming, Xu Weijun, Zheng Hua. Study on new type of method for humans fingerprint acquisition [J]. *Vacuum Electronics*, 2001, **6**: 46~48  
翁 明, 徐伟军, 郑 华. 一种新型人体指纹提取方法[J]. *真空电子技术*, 2001, **6**: 46~48
- F. Zimmermann, M. Ebert, A. Worrigen *et al.*. Environmental scanning electron microscopy (ESEM) as a new technique to determine the ice nucleation capability of individual atmospheric aerosol particles [J]. *Atmos. Environ.*, 2007, **41**(37): 8219~8227
- F. Chiminello, D. Ceccato, P. Mittner. Micro-PIXE study of tropospheric aerosols in an Antarctic coastal environment[J]. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, 2004, **219~220**: 171~175
- M. Toyoda, K. Kaibuchi, M. Nagasono *et al.*. X-ray analysis of a single aerosol particle with combination of scanning electron microscope and synchrotron radiation X-ray microscope [J]. *Spectrochim. Acta Part B*, 2004, **59**(8): 1311~1315
- Zhou Hongjun, Zhong Pengfei, Huo Tonglin *et al.*. Cleaning of carbon contamination on Si wafer with activated oxygen by synchrotron radiation [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(3): 907~910  
周洪军, 钟鹏飞, 霍同林等. 同步辐射活化氧清洗碳污染的研究 [J]. *光学学报*, 2010, **30**(3): 907~910
- Li Yigui, Shan Shanjin. Fabrication of high aspect ratio sub-micron gratings on PMMA plate based on synchrony radiation lithography[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(5): 1451~1454  
李以贵, 杉山进. 用同步辐射光刻直接在有机玻璃板上制备高深宽比亚微米光栅[J]. *光学学报*, 2010, **30**(5): 1451~1454
- Cui Mingqi, Zhao Yidong, Zheng Lei *et al.*. Construction and applications of soft X-Ray experimental platform on synchrotron radiation [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(9): 2271~2277  
崔明启, 赵屹东, 郑 雷等. 同步辐射软 X 射线光学实验平台的建立及其应用[J]. *中国激光*, 2010, **37**(9): 2271~2277
- Meng Xianzhu, Ren Zhongmin, Wang Minghong. Analysis of high brightness laser synchrotron source based on super cavity technique [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(9): 2300~2304  
孟现柱, 任忠民, 王明红. 基于超腔技术的高亮度激光同步辐射分析[J]. *中国激光*, 2009, **36**(9): 2300~2304
- Teng Yuepeng, Sun Tianxi, Liu Zhiguo *et al.*. New type monocapillary X-ray optical device [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(2): 542~545  
滕玥鹏, 孙天希, 刘志国等. 一种新型单毛细管 X 光学器件 [J]. *光学学报*, 2010, **30**(2): 542~545
- Sun Tianxi, Xu Guangyu, Liu Zhiguo *et al.*. Application of monolithic capillary X-ray lens in analysis of single aerosol particles [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(9): 1833~1836  
孙天希, 徐光瑜, 刘志国等. 整体毛细管 X 光透镜在大气颗粒物单颗粒分析中的应用 [J]. *光学学报*, 2008, **28**(9): 1833~1836
- Teng Yuepeng, Sun Tianxi, Liu Zhiguo *et al.*. Application of slightly focusing X-ray lens in source apportionment of aerosol particles [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(5): 1527~1529  
滕玥鹏, 孙天希, 刘志国等. X 射线微会聚透镜在大气颗粒物源解析中的应用 [J]. *光学学报*, 2010, **30**(5): 1527~1529
- Sun Tianxi, Xie Yaning, Liu Zhiguo *et al.*. Application of monolithic polycapillary half Focusing X-ray lens in focusing the synchrotron radiation [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(4): 456~460  
孙天希, 谢亚宁, 刘志国等. 利用整体毛细管 X 光半会聚透镜会聚同步辐射 [J]. *中国激光*, 2006, **33**(4): 456~460
- Tianxi Sun, Xunliang Ding, Zhiguo Liu *et al.*. Characterization of a confocal 3D micro X-ray fluorescence facility based on polycapillary X-ray optics and Kirkpatrick-Baez mirrors [J]. *Spectrochimica Acta Part B*, 2008, **63**: 76~80