

# 基于光学相干层析技术显现多层胶带粘面重叠指印的方法

吴迪<sup>1</sup>, 陆一帆<sup>1</sup>, 曾浩然<sup>1</sup>, 谢菲<sup>1</sup>, 王成铭<sup>3</sup>, 高树辉<sup>1\*</sup>, 张宁<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>中国人民公安大学侦查学院, 北京 100038;

<sup>2</sup>公安部物证鉴定中心, 北京 100038;

<sup>3</sup>清华大学低维量子物理国家重点实验室, 北京 100038

**摘要** 胶带是犯罪现场常见的作案工具, 胶带上留有的指印等物证有重要意义, 然而现场发现的胶带通常会相互重叠粘连或者粘附在其他客体上, 因此胶带粘面上指印的无损提取一直是刑事技术领域的难题之一。基于此, 提出了一种基于光学相干层析(OCT)技术显现胶带粘面潜在指印和分离多层胶带重叠指印的方法。采用自主搭建的频域 OCT 系统对 3 种情形下隐藏在胶带粘面的潜在指印进行检测, 通过可视化处理获取指印的二维截面图像、*en face* 横截面图像、三维渲染图像并分析其产生机理。结果表明, OCT 技术不但可以实现对单层胶带粘面上潜在指印的快速无损显现, 而且可对多层胶带上重叠指印进行分离, 同时能够消除多色背景图案的干扰, 指印细节特征的质量清晰、数量充足。通过 3D 渲染可以观察到汗孔等三级特征的分布信息, 为指印显现提供了新的技术和方法。

**关键词** 成像系统; 光学相干层析技术; 指印显现; 胶带粘面; 潜在指印; 重叠指印; 无损检验

中图分类号 O436

文献标志码 A

DOI: 10.3788/LOP213011

## Optical Coherence Tomography Based Method for Developing Overlapped Fingermarks on Multi-Layer Adhesive Tape

Wu Di<sup>1</sup>, Lu Yifan<sup>1</sup>, Zeng Haoran<sup>1</sup>, Xie Fei<sup>1</sup>, Wang Chengming<sup>3</sup>, Gao Shuhui<sup>1\*</sup>, Zhang Ning<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>*School of Investigation, People's Public Security University of China, Beijing 100038, China;*

<sup>2</sup>*Institute of Forensic Science, Ministry of Public Security, Beijing 100038, China;*

<sup>3</sup>*State Key Laboratory of Low-Dimensional Quantum Physics, Tsinghua University, Beijing 100038, China*

**Abstract** Adhesive tapes are common criminal tools used at crime scenes, and fingermarks and other physical evidence on tapes are crucial. However, the adhesive tapes found at crime scenes are usually overlapped, stuck to each other, or adhered to other objects; thus, the nondestructive extraction approach of fingermarks on the surface of the adhesive tapes has always been one of the most challenging problems in the field of forensic science. In this study, a new approach based on optical coherence tomography (OCT) is proposed to develop the latent fingermarks on the surface of the adhesive tapes and separate the overlapped fingermarks of many layers of adhesive tapes. A self-built OCT system in the frequency domain was used to detect the latent fingermarks hidden on the adhesive tape's surface under three conditions. Two-dimensional cross-section images, *en face* transversal images, and three-dimensional (3D) rendering images of fingermarks were obtained using the visual processing approach, which was used to examine their mechanisms. The results revealed that OCT technology could not only quickly and nondestructively develop latent fingermarks on the single-layer adhesive tape surface and separate the overlapped fingermarks on multi-layer adhesive tapes but also eliminate the interference of multi-color background patterns at the same time. The quality of the images was high and the details were clear; the distributed information of the third level characteristic, such as sweat pores, can be observed through 3D rendering as well. This offers a new technique and approach for developing fingermarks.

**Key words** imaging systems; optical coherence tomography; fingermarks development; adhesive tape surface; latent fingermark; overlapped fingermark; nondestructive examination

收稿日期: 2021-11-22; 修回日期: 2021-12-29; 录用日期: 2022-01-17; 网络首发日期: 2022-01-27

通信作者: \*gaoshuhui@ppsuc.edu.cn

## 1 引言

胶带常出现在某些特定犯罪现场,例如:在绑架案件中用于捆扎绑架对象;在爆炸现场捆绑爆炸装置;在碎尸案件包裹隐藏尸块、包装包裹内的毒品等<sup>[1]</sup>。由于胶带粘面的黏性特点,作案人在进行违法犯罪活动的过程中常将指纹遗留在胶带粘面上,因此胶带粘面上指印的显现、提取和检验一直是刑事技术人员研究的重要问题。

然而犯罪现场发现的胶带大多会出现相互粘连,或者胶带粘贴在其他客体上等复杂情况,使指印被覆盖在胶带下方或夹在两层胶带中间,有的指印在多层胶带相互粘连时出现重叠,使检测成为难题。因此,胶带粘面指印的显现和多层胶带上重叠指印的分离是目前刑事技术人员所面临的疑难问题之一。

目前胶带上潜在指印的显现方法主要有光学显现法和物理显现法。传统的光学显现方法借助指纹和胶带粘面的光学特性,可增强指印显现的视觉呈现效果,但是对于被覆盖的多层胶带重叠指印,观察范围仅限于表面指印,难以分离和检验夹层指印。物理检验法主要有 502 胶熏显法<sup>[2]</sup>、碳素墨水法<sup>[3]</sup>、氨基黑 10B 染色法<sup>[4]</sup>、荧光染料显现法<sup>[5]</sup>等。传统的显现方法需要先将胶带剥离,然后才能显现指印,但通过外力机械分离粘在一起的胶体会破坏胶带的原始状态和指纹痕迹物质的分布,并且由于需要其他试剂成分的掺入,此类有损检验方法势必会造成指印的污染和检材的损伤,一旦显现效果不好,往往无法修复,不利于保留证据的原始性和完整性。

光学相干层析技术(OCT)具有原位、非接触、无损、高分辨、真三维断层成像等特点。2006年,Cheng等<sup>[6]</sup>发现OCT可以应用于指纹的采集并进行了相关研究。2007年,Dubey等<sup>[7-8]</sup>利用OCT技术获得了非常规条件下潜在指印的OCT断层图像,提高了指纹提取的出检率。2011年,Leich等<sup>[9]</sup>利用OCT技术研究了不同客体表面上的潜在指印,并获取了指纹的三维(3D)高度场和反射数据等指标。至此,人们已经可以通过OCT对指纹进行更加深入的研究。2013年,Liu等<sup>[10]</sup>发现可以利用OCT技术检测其他的手部组织特征,甚至汗孔等三级特征,提升了OCT在指纹检验方面的鉴定能力。同年,Meissner等<sup>[11]</sup>利用OCT技术对指尖和伪造指尖的分层布置进行了断层成像,成功地区分了真实和伪造指纹,拓宽了OCT在指纹鉴定领域的作用。2018年,Zhang等<sup>[12]</sup>利用OCT系统对3种类型胶带下的指纹进行检测,并通过三维图像重现了隐藏于胶带下的潜在指纹。

本文在前期研究的基础上对原有OCT系统进行改进,自主搭建的平台式光纤频域OCT系统具备更密集的采样率,细节特征成像效果更好,同时优化了信噪比,提高了成像质量。对粘在客体上的胶带粘面指印

进行检测和可视化处理,实现了胶带粘面指印的二维截面高分辨成像、三维断层扫描重建及多层胶带上重叠指印分离和无损提取,为胶带粘面重叠指印提取和检验提供了技术补充。

## 2 方法

### 2.1 样品制备

随机选取市面上两种类型胶带,透明胶带(No. 30325,得力)和黄色封箱胶带(JH4810,齐心),并制备5类实验样本,即单层透明胶带粘面指印、单层黄色封箱胶带粘面指印、双层透明胶带粘面夹层指印、双层透明胶带粘面重叠指印、三层透明胶带粘面重叠指印。所有指印的痕迹物质均为志愿者在日常工作中自然遗留,并非刻意擦拭汗液油脂捺印,在遗留指印约3h后,利用OCT系统对样本进行检测。

#### 2.1.1 单层胶带粘面指印样本及显现方案

在单层胶带粘面指印显现实验中,志愿者将指纹遗留在透明胶带和黄色封箱胶带粘面上,然后将胶带粘贴在载玻片上待检,OCT系统宽带光源发出的检测光从胶带非粘面射入依次经过胶带基体、胶带粘面黏合剂和指纹遗留物质,具体方案如图1所示。

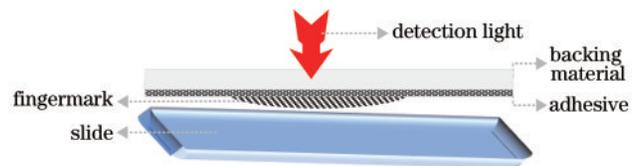


图1 单层胶带粘面指印实验示意图

Fig. 1 Schematic diagram of fingerprint experiment on adhesive surface of single-layer tape

#### 2.1.2 双层胶带粘面夹层指印样本及显现方案

在双层胶带粘面夹层指印的样本制备中,将透明胶带固定在载玻片上使其粘面朝上,待指纹物质遗留在胶带粘面后,另取透明胶带使粘面相对进行粘贴,指纹物质被夹在上下两片透明胶带粘面中间,利用OCT系统从上方胶带的非粘面进行检测,具体方案如图2所示。

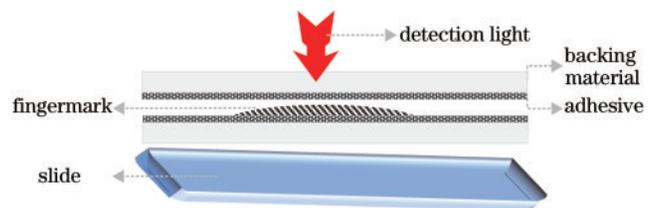


图2 双层胶带粘面夹层指印实验示意图

Fig. 2 Schematic diagram of fingerprint experiment on adhesive surface of double-layer tape

#### 2.1.3 重叠胶带粘面指印样本及显现方案

在重叠指印的显现和分离实验中,分别制备了2层和3层重叠指印样本,将粘面带有指纹物质的胶带

粘贴在载玻片上,再将第 2 段带有痕迹物质的胶带粘在上一层胶带的非粘面上,照此法依次粘贴,使指纹区域相互重叠,利用 OCT 系统从最外侧进行检测。图 3 和图 4 依次为 2 层和 3 层重叠指纹实验示意图。

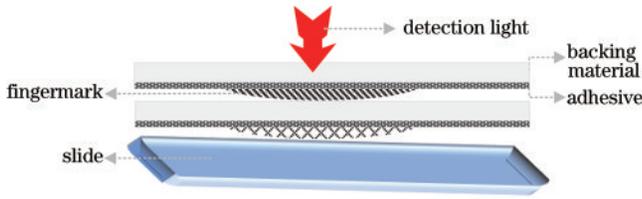


图 3 双层重叠指纹实验示意图

Fig. 3 Schematic diagram of double-layer overlapping fingerprint experiment

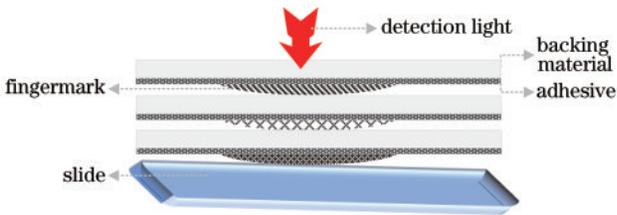


图 4 3 层重叠指纹实验示意图

Fig. 4 Schematic diagram of three-layer overlapping fingerprint experiment

## 2.2 设备与方法

研究所用设备为公安部物证鉴定中心自主搭建的一套光纤化频域 OCT 系统,与传统的时域 OCT 相比省去了参考镜在电机作用下的轴向平移过程,同时以光谱仪代替光电探测器作为信息采集单元的核心部件,机械装置的去除使得系统稳定性提高,同时测量速

度也大幅加快。此频域 OCT 系统采用一台中心波长为 832 nm、带宽(半峰全宽)为 60.4 nm 的超辐射发光二极管(SLD)作为照明光源,其电源输出功率为 13 mW,待测样品上的光功率约为 6 mW。

系统轴向分辨率和横向分辨率的表达式分别为

$$\delta z = \frac{2 \ln 2}{\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda}, \quad (1)$$

$$\delta x = \frac{\lambda^2}{\pi N_A}, \quad (2)$$

式中: $\lambda$ 为宽带光源的中心波长, $N_A$ 为聚焦透镜的数值孔径。由式(1)和式(2)可知,系统轴向分辨率约为 5  $\mu\text{m}$ ,横向分辨率约为 7.7  $\mu\text{m}$ 。当系统的曝光时间为 50  $\mu\text{s}$ 时,信噪比可达 100 dB,二维扫描成像区域为 7 mm  $\times$  7 mm。

OCT 的基本原理如图 5 所示,宽带光源发出的光经过 2  $\times$  2 耦合器一分为二后分别进入参考臂和样品臂,参考臂返回的光和样品臂返回的后向散射光发生干涉,在探测器端使用光谱仪,探测到的是同一时刻不同光谱成分的强度信息<sup>[13]</sup>。由线性 CCD 相机对干涉信号进行采集,最后经过傅里叶变换获取信号中携带的样品深度信息,实现样品在深度方向上的一线扫描(A-scan);样品的二维和三维成像是通过二维机械振镜组(TSH8310A/D,北京世纪桑尼)来实现的,包含一个快振镜和慢振镜,快振镜最大线扫描速率为 70 kHz,当其沿 X 方向横向扫描时就获得了样品横截面的二维图像(B-Scan),当扫描振镜组沿着 X、Y 方向同时扫描就获得了样品的三维图像。二维和三维图像均可以用伪彩或灰度显示,以描述物证内部结构。

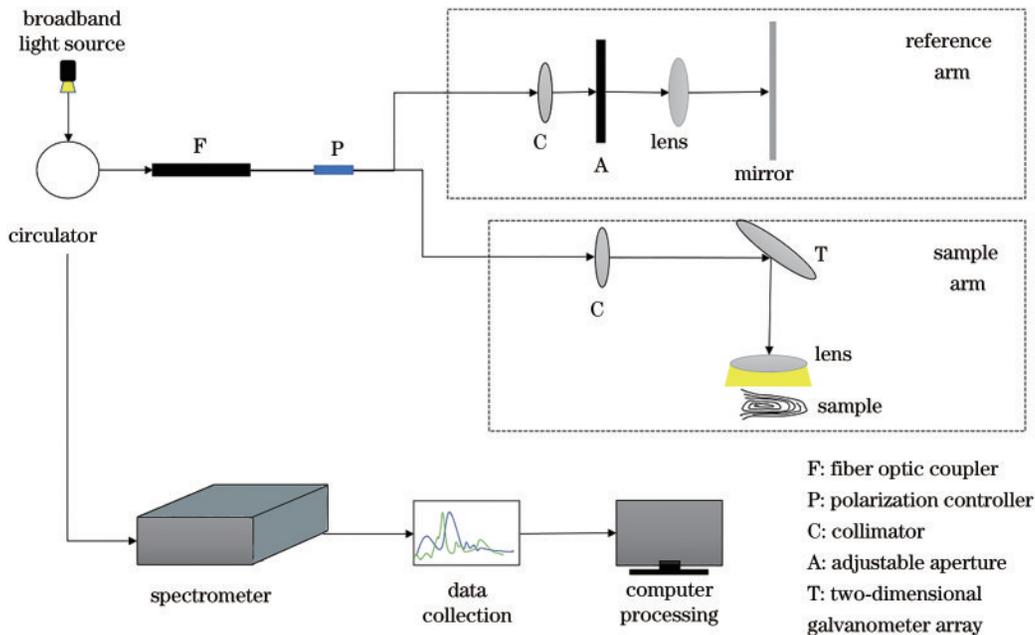


图 5 实验用频域 OCT 工作原理图

Fig. 5 Working principle diagram of frequency domain OCT for experiment

### 3 结果分析与讨论

#### 3.1 单层胶带粘面指印显现

宽带光源发出的检测光从胶带非粘面射入,经过胶带基体到达胶带粘面,在这一层面遗留指印的痕迹物质相较于胶带粘面黏合剂有较强的反射和散射,因此能利用 OCT 技术在不剥离黏合胶带的情况下通过断层扫描获取样本在不同深度返回的光信号强度数据,再通过可视化处理,获取样品不同深度的横切面图像。

在单层胶带粘面指印显现实验中:当检测光首先到达胶带非粘面时,由于胶带非粘面是光滑平整表面,对检测光具有较强的反射和散射作用,在图像中呈现出较亮的区域;而胶带粘面上附着的黏合剂和遗留指印的痕迹物质具有不同的反射和散射特性,因此在图像中呈现出明暗交替的特征区域。图 6(a)和图 7(a)分别为单层透明胶带和单层黄色封箱胶带的二维截面图像,图中信号区域的最上方白色亮线即代表胶带非粘面反射和散射的光信号,下方明暗相交带状区域即

为指纹物质和胶带粘面黏合剂的混合区。

由于近红外光穿透能力较强,容易穿过胶带,当检测光到达胶带粘面时,遗留指纹中的汗液、油脂、皮脂、杂质等物质对检测光的后向散射光强度大于胶带粘面黏合剂,因此在胶带粘面指印平面图中能够观察到浅色的指纹纹线,深色灰暗的背景,如图 6(b)和图 7(b)所示。三维立体图像有时能更好地呈现出痕迹物质的空间分布并且给人更好的视觉观感,图 6(c)和图 7(c)分别为单层透明胶带和单层黄色封箱胶带粘面指印三维渲染图。从图中可以明显看出潜在指印的纹线特征和细节特征,特征数量和成像质量均能达到指纹鉴定的要求,同时能观察到汗孔等部分三级特征,这得益于 OCT 系统的微米级高分辨率优势,能为以后深入研究提供多维度、多层面的相关信息。图像中的白色噪点是由于胶带基体物质分布不均匀和胶带中含有荧光物质等产生光学干扰的杂质所引起的非均匀噪声,且由于黄色封箱胶带基体中有色染料的加入,相较于透明胶带粘面指印,其背景噪声较多。

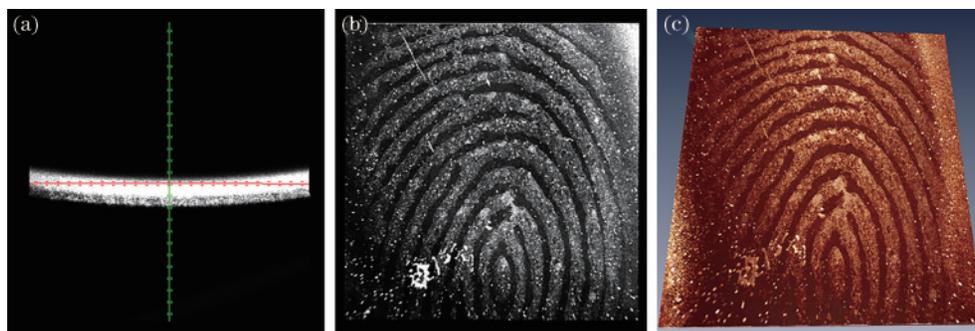


图 6 单层透明胶带粘面指印效果图。(a)单层透明胶带粘面指印样本二维截面图;(b)单层透明胶带粘面指印的 *en face* 横截面图像;(c)单层透明胶带粘面指印 3D 渲染图

Fig. 6 Effect drawing of fingerprint on adhesive surface of single-layer transparent tape. (a) Two dimensional cross-sectional view of single-layer transparent tape adhesive surface fingerprint sample; (b) *en face* transversal image of fingerprint on adhesive surface of single-layer transparent tape; (c) 3D rendering of single-layer transparent tape adhesive surface fingerprint

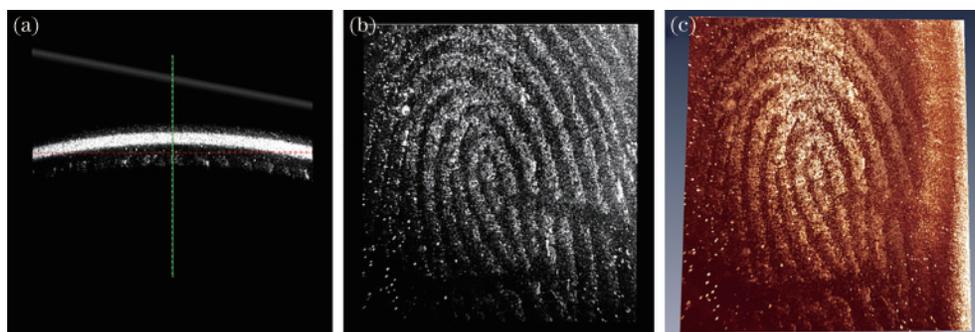


图 7 单层黄色封箱胶带粘面指印效果图。(a)单层黄色封箱胶带粘面指印样本二维截面图;(b)单层黄色封箱胶带粘面指印的 *en face* 横截面图像;(c)单层黄色封箱胶带粘面指印 3D 渲染图

Fig. 7 Effect drawing of fingerprint on adhesive surface of single-layer yellow sealing tape. (a) Two dimensional sectional view of single-layer yellow sealing tape adhesive surface fingerprint sample; (b) *en face* transversal image of fingerprint on adhesive surface of single-layer yellow sealing tape; (c) single-layer yellow sealing tape adhesive surface fingerprint 3D rendering

### 3.2 双层透明胶带粘面夹层指印显现

在双层透明胶带粘面夹层指印显现实验中,由于上下两层透明胶带的非粘面均为光滑平整表面,对检测光信号具有较大的反射和散射强度,在图像中表现为较亮的信号区域,图 8(a)为双层透明胶带粘面夹层指印样本的二维截面图像,其中二维截面图中信号区域上方和下方两条白色亮线各代表上下两层透明胶带非粘面反射和散射的光信号,而中间明

暗相交的带状区域即为指纹物质和胶带粘面黏合剂的混合区。由于指纹的痕迹遗留物质和胶带粘面黏合剂均位于双层透明胶带夹层,相比之下指纹痕迹物质对检测光有着更大的反射和散射强度,图像中呈现出浅色亮纹线,深灰暗背景的影调,如图 8(b)所示,图 8(c)为双层透明胶带粘面夹层指印 3D 渲染图,增大了指印和背景的对比度,可以提供更多指印细节和特征。

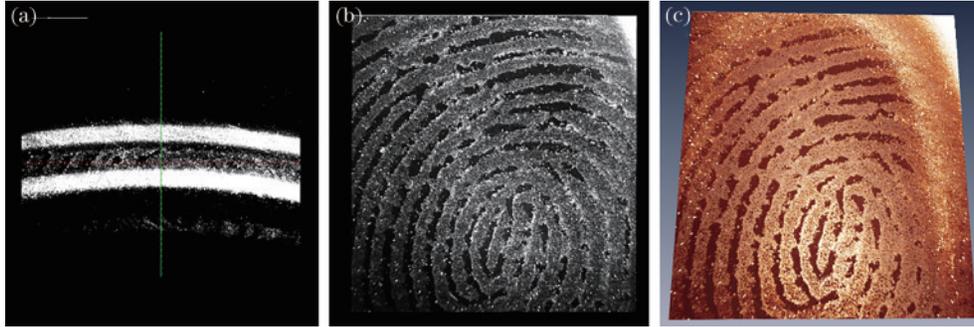


图 8 双层透明胶带粘面夹层指印效果图。(a)双层透明胶带粘面夹层指印样本二维截面图;(b)双层透明胶带粘面夹层指印的 *en face* 横截面图像;(c)双层透明胶带粘面夹层指印 3D 渲染图

Fig. 8 Effect drawing of double-layer transparent tape adhesive interlayer fingerprint. (a) Two dimensional cross-sectional view of fingerprint sample of interlayer on adhesive surface of double-layer transparent tape; (b) *en face* transversal image of double-layer transparent tape adhesive surface interlayer fingerprint; (c) 3D rendering of double-layer transparent tape adhesive surface interlayer fingerprint

### 3.3 多层胶带重叠指印的显现和分离

多层在粘面带有指印的胶带相互重叠时,常规检验方法大都无法在保持样本的原始状态下进行重现,具有高分辨和强层析能力的 OCT 系统能够在不剥离黏合

胶带的情况下将多层胶带在不同轴向深度的信息提取出来,再通过可视化处理实现对多层胶带间重叠潜在指印进行无损分离和提取,图 9 和图 10 分别为双层透明胶带重叠指印和三层透明胶带重叠指印的效果图。

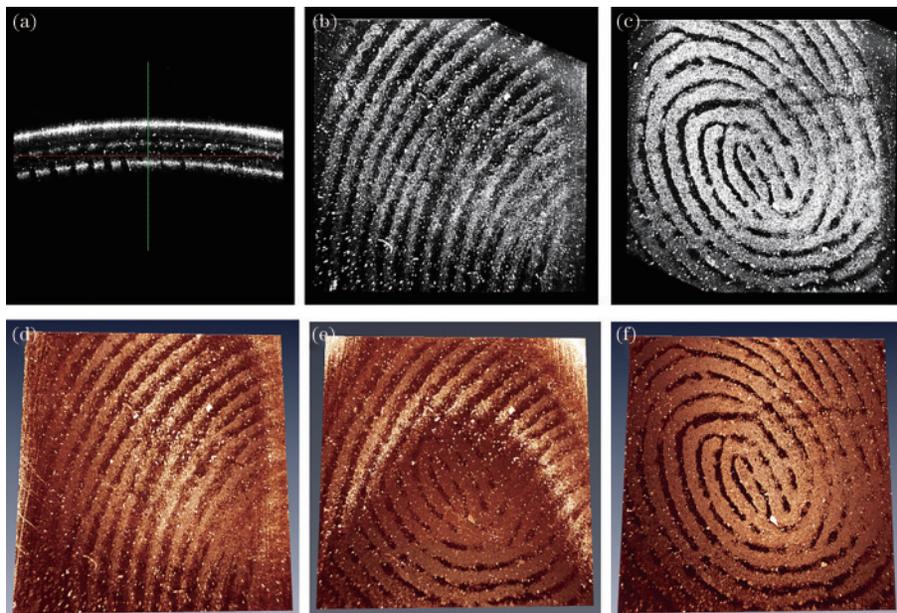


图 9 双层透明胶带重叠指印效果图。(a)双层透明胶带重叠指印样本二维截面图;(b)(c)双层重叠指印分离后单个指印的 *en face* 横截面图像;(d)(e)(f)双层透明胶带重叠指印 3D 渲染图

Fig. 9 Effect drawing of overlapping fingerprint with double-layer transparent tape. (a) Two dimensional cross-sectional view of overlapping fingerprint sample with double-layer transparent tape; (b) (c) *en face* transversal image of single fingerprint after separation of double-layer overlapping fingerprint. (d) (e) (f) 3D rendering of overlapping fingerprint with double-layer transparent tape

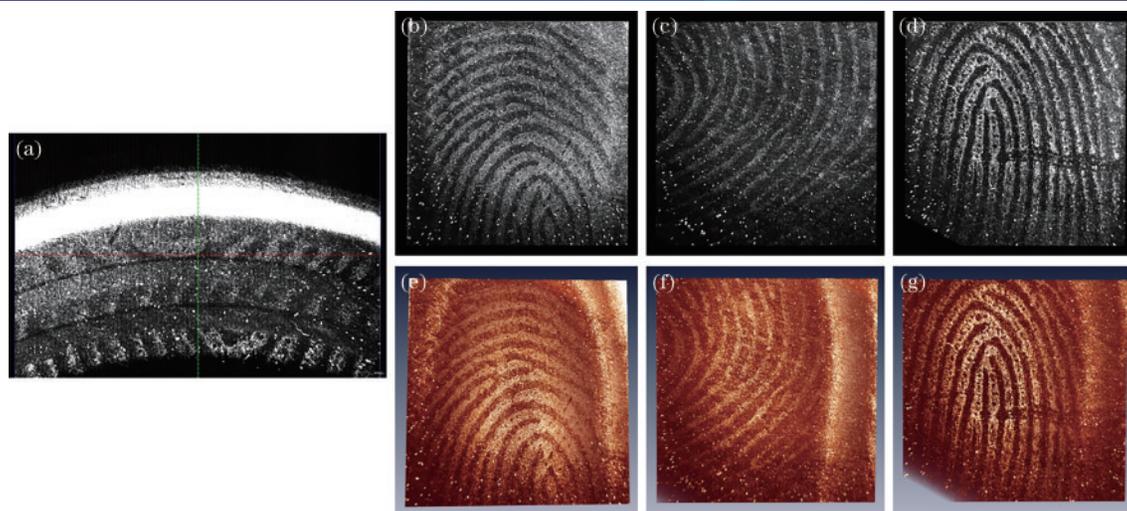


图 10 三层透明胶带重叠指印效果图。(a)三层透明胶带重叠指印样本二维截面图;(b)(c)(d)三层透明胶带重叠指印分离后单个指印的 *en face* 横截面图像;(e)(f)(g)三层透明胶带重叠指印 3D 渲染图

Fig. 10 Effect drawing of overlapping fingerprint of three layers of transparent tape. (a) Two dimensional cross section of three layers of transparent tape overlapping fingerprint sample; (b) (c) (d) *en face* transversal images of single fingerprint after separation of three-layer overlapping fingerprint; (e) (f) (g) 3D rendering of overlapping fingerprint with three layers of transparent tape

图 9(a)和图 10(a)分别为双层和三层透明胶带重叠指印的纵向二维截面图像。在双层透明胶带重叠指印分离实验中,其纵向二维截面图像呈现“三亮夹两暗”的信号特征,3条亮线由上至下依次为上层胶带非粘面和上下两层重叠指印的光散射信号,而相邻两条亮线所夹的带状暗区域即为透明胶带的厚度。在3层透明胶带重叠指印的纵向二维截面图像中可以清晰看到,最上方的白色亮线即为最外层胶带的非粘面反射和散射产生的光信号,下方3层明暗相间的纹理区域即为3层重叠指印在图像中表现的光信号特征。

值得一提的是,当多层粘面带有指印的透明胶带相互重叠时,只有最外侧胶带的非粘面有较强的光反射和散射信号,在二维截面图中呈现为最上方的白色亮线,而其他位于下方被覆盖的透明胶带却没有这样强烈的信号特征。究其原因有两点:1)检测光从最外侧胶带的非粘面射入,经过胶带基体、粘面黏合剂、指纹痕迹物质的过程中,由于光信号会被各部分吸收、反射、散射,其强度会随深度增加而逐渐衰减,因此图像中位于下方的胶带非粘面信号强度逐渐减弱;2)图中最外侧胶带的非粘面是空气与胶带基体两种介质的分界面,其表面光滑平整,反射和散射的光信号强度较大,而位于下方被覆盖的其他胶带,由于多层胶带层层叠加,上一层胶带粘面和下一层胶带非粘面紧密贴合,胶带的非粘面由于上一层胶带粘面黏合剂的加入丧失了原本的光滑平整表面的特性。综合以上两点原因,二维截面图中下方胶带非粘面没有呈现出像最外侧胶带非粘面那样强烈的光信号特征。

多层胶带重叠指印样本在深度方向上具有清晰的结构层次,OCT系统具有微米级的轴向分辨率和层析能力,因此通过可视化处理后重叠指印得以显现和分

离。图 9(b)、(c)为双层透明胶带重叠指印分离后的平面效果图,图 10(b)、(c)、(d)为三层透明胶带重叠指印分离后的平面效果图,从不同深度提取的潜在指印断层图像中可以清晰地观察到潜在指印的纹线特征和细节特征,位于重叠区域的潜在指印在分离之后,相互之间不存在纹线的干扰和细节特征的混淆,具有显著的分层效果,分离后的单枚指印特征数量和成像质量均能达到指纹鉴定的要求。传统的光学方法只能基于获取指纹的平面二维图像进行形态学检验,而OCT系统由于其强层析和高分辨特点可以获取指纹样本更多维度的信息,这是传统光学方法所无法实现的。图 9(d)、(e)、(f)展示了双层透明胶带重叠指印分离后单个指印的3D渲染及其过程图,图 10(e)、(f)、(g)展示了三层透明胶带重叠指印分离后单个指印的3D渲染图,3D渲染及过程图展现了OCT系统断层切片剥离和可视化处理的过程,同时通过3D渲染图可以观察到汗孔分布和形态等部分三级特征,以期为进一步研究提供借鉴和补充。

## 4 结 论

提出了一种基于光学相干层析技术显现胶带粘面潜在指印和分离多层胶带重叠指印的方法。制备了5类实验样本来模拟不同情形下的显现效果,即单层胶带粘面指印的显现、双层胶带粘面夹层指印的显现、重叠指印的分离和显现,利用自主搭建的频域OCT系统获取样本数据,并经过可视化处理获得不同情形下指印的二维纵截面图像、*en face*横截面图像及3D渲染图像。实验结果表明,OCT技术可以实现对单层胶带粘面上潜在指印及多层胶带上重叠指印的快速无损显现和分离,能够消除多色背景图案的干扰,指纹细节特

征的质量和数量清晰,并且通过 3D 渲染可以观察到汗孔等三级特征的分布信息,为指纹鉴定的方法提供了补充和借鉴。

考虑现场上胶带粘面指印的复杂程度,所提方法有以下待改进的方面:1)对实验内容部分进行了多次重复实验,但样本制备过程中,采用的胶带类型和数量相对较少,在日后的研究中将对不同种类、不同品牌的胶带粘面指印显现进行差异性比对;2)实验使用自主搭建的 OCT 系统扫描区域为  $7\text{ mm} \times 7\text{ mm}$ ,需要在确定指印遗留位置的前提下进行指印显现和分离,后续考虑将系统与机械装置相结合增大扫描范围;3)指纹平面图像仍存在不均匀噪声,考虑在进一步的研究中引入图像处理算法,增强指纹的信号强度,削弱噪声干扰。

### 参 考 文 献

- [1] 罗瑞彪. 疑难手印显现[M]. 北京: 群众出版社, 2005.  
Luo R B. Development of difficult fingerprints[M]. Beijing: The mass Publishing House, 2005.
- [2] 高立华. 不透明胶带胶面汗潜手印的显现方法[J]. 刑事技术, 2002(3): 45-46.  
Gao L H. Method for showing sweat latent handprint on adhesive surface of opaque adhesive tape[J]. Forensic Science and Technology, 2002(3): 45-46.
- [3] 刘国华, 郭鸿, 孙钟玖. 用碳素墨水显现胶带粘面上的手印[J]. 刑事技术, 2000(4): 17.  
Liu G H, Guo H, Sun Z J. Using carbon ink to show fingerprints on adhesive surface of adhesive tape[J]. Forensic Science and Technology, 2000(4): 17.
- [4] 马荣梁, 常柏年. 胶带粘面上的手印显现[J]. 刑事技术, 2000, (3): 25-27.  
Ma R L, Chang B N. Development of fingerprints on the sticky side of adhesive tape[J]. Forensic Science and Technology, 2000(3): 25-27.
- [5] Barros H L, Stefani V. A new methodology for the visualization of latent fingerprints on the sticky side of adhesive tapes using novel fluorescent dyes[J]. Forensic Science International, 2016, 263: 83-91.
- [6] Cheng Y Z, Larin K V. Artificial fingerprint recognition by using optical coherence tomography with autocorrelation analysis[J]. Applied Optics, 2006, 45(36): 9238-9245.
- [7] Dubey S K, Anna T, Shakher C, et al. Fingerprint detection using full-field swept-source optical coherence tomography[J]. Applied Physics Letters, 2007, 91(18): 181106.
- [8] Dubey S K, Mehta D S, Anand A, et al. Simultaneous topography and tomography of latent fingerprints using full-field swept-source optical coherence tomography[J]. Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, 2008, 10 (1): 015307.
- [9] Leich M, Kiltz S, Dittmann J, et al. Non-destructive forensic latent fingerprint acquisition with chromatic white light sensors[J]. Proceedings of SPIE, 2011, 7880: 289-299.
- [10] Liu G J, Chen Z P. Capturing the vital vascular fingerprint with optical coherence tomography[J]. Applied Optics, 2013, 52(22): 5473-5477.
- [11] Meissner S, Breithaupt R, Koch E. Fingerprint fake detection by optical coherence tomography[J]. Proceedings of SPIE, 2013, 8571: 85713L.
- [12] Zhang N, Wang C M, Sun Z W, et al. Detection of latent fingerprint hidden beneath adhesive tape by optical coherence tomography[J]. Forensic Science International, 2018, 287: 81-87.
- [13] 王成铭. OCT 超高速成像方法研究及在临床和法庭科学中的应用[D]. 北京: 清华大学, 2018.  
Wang C M. Ultrahigh speed OCT and its applications in clinical and forensic study[D]. Beijing: Tsinghua University, 2018.