

指印光学显现系统液芯光纤光束传输特性研究

李红霞 钮洁青 陈敬蓉 黄云刚 曹静

上海海潮新技术研究所, 上海 200070

摘要 光学显现提取技术是无损检测潜在指印的重要技术手段,而照明激发光源的可用光功率及光斑光强分布的均匀性对指印的光学显现效果及检测率具有重要的影响。采用紫外传输液芯光纤作为指印光学显现系统照明激发光源的导光传输元件,实验测量了液芯光纤在紫外光波段的传输特性,得到了266 nm激光光束在液芯光纤中的传输效率及其随光纤弯曲半径的变化关系,实现了光纤传输输出光束的均匀光强分布,可满足指印显现提取所需的高功率、均匀照明激发条件。研究结果为液芯光纤应用于指印光学显现系统照明激发光源的导光传输提供了实验依据,具有实际应用价值。

关键词 光纤光学; 指印认证; 液芯光纤; 全反射; 耦合

中图分类号 TN252 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/LOP51.010603

Study on Beam Transmission Characteristics in Liquid Core Fiber of Fingerprints Optical Detection System

Li Hongxia Niu Jieqing Chen Jingrong Huang Yungang Cao Jing

Shanghai Haichao Institute for New Technologies, Shanghai 200070, China

Abstract The optical imaging and detecting system is important for noninvasive detection of latent fingerprints, in which the power utilization and intensity distribution uniformity of illuminating and exciting light source have great influences on the revealing effect and the detection ratio. Using the ultraviolet (UV) transmitting liquid core fiber as the optical guiding and transmitting element for the illuminating and exciting light source, the transmission characteristics of liquid core fiber in UV range are experimentally investigated. The transmission efficiency of 266 nm laser in the liquid core fiber and the relationship between the transmission efficiency and the fiber curve radius are obtained, and the intensity distribution of output beam transmitted in the liquid core fiber is measured with the uniform intensity distribution. Using the liquid core fiber as the optical guiding and transmitting element for the light source in the fingerprints optical detecting system can improve the light utilization and realize the uniform illumination condition required, and the results have application values.

Key words fiber optics; fingerprint identification; liquid core fiber; total reflection; coupling

OCIS codes 060.2300; 060.2310; 060.2400; 300.2530; 300.6540

1 引言

指印检验作为一种传统而基础的人身识别方法,已经成为揭露、证实犯罪和甄别犯罪嫌疑人的重要手段,并在案件侦查中发挥重要作用。依据各种光学检验原理与技术^[1-9]的指印光学显现系统,利用指印遗留物质成分在各种光源激发下具有的特殊吸收、反射、散射及荧光特性,减弱或消除指印背景上的图案和其他细节干扰,增加指印纹线与背景的亮度反差,从而实现潜在指印的快速、无损显现提取。其中,照明光路及其照明激发效果,特别是照明激发光源的可用光功率与光束光强分布的均匀性,对指印的光学显现效果及检测率具有重要的影响。

在指印光学显现系统中,多采用大功率多波段光源作为激发照明光源,利用滤光片或光栅实现所需激发照明波段光的选择输出^[7],但实际可以利用的单体光功率小,无法有效地满足微弱荧光物质成分所需的激

收稿日期: 2013-08-12; 收到修改稿日期: 2013-09-06; 网络出版日期: 2013-12-18

基金项目: 上海市科学技术委员会浦江人才计划(11PJ1431000)

作者简介: 李红霞(1978—),女,副研究员,主要从事有毒有害及痕量物证光学检测方面的研究。

E-mail: hxli2008@gmail.com

发及照明条件。也可采用单色性好的紫外固体激光器^[8-9],输出激光光束直接或经光学透镜组导光传输,实现被检指印检材的激发明照。在该技术手段中,针对实际应用中需不断变换光源照明角度与距离的要求,对光路调节技术要求高,操作复杂,且照明光束的光强分布不均匀,无法达到完整有效地增强或显现指印图像所需的照明条件,增加了实际观察取证的难度。

液芯光纤作为一种新型结构的特种光纤,具有数值孔径大、光谱传输波长范围宽、传输效率高、有效通光孔径大等光学性能,且具有良好的可挠性和较高的可靠性等优点,已在相关领域得到应用研究^[10-11]。相对传统的能量传输光纤,液芯光纤在紫外光波段具有良好的传光性能,利用其作为指印光学显现系统照明激发光源的导光传输元件,光源能量损耗小,利用率高,且输出光束光强分布均匀性较好,能够满足指印光学显现所需的高功率、均匀照明激发条件,有效地照明或激发遗留指印纹线物质成分荧光,且结构简单,操作使用方便灵活,从而更容易看清细节,减少误判、错判或遗漏,获得更有价值的物证。

本文针对指印光学显现系统照明光路光束传输所需的液芯光纤,通过实验测量 266 nm 激光光束在液芯光纤中的传输效率及其随光纤弯曲半径的变化关系,并获得了液芯光纤传输光束光斑能量分布。研究了该液芯光纤在紫外光波段的传输特性及影响液芯光纤传输效率与光斑能量分布的各种因素,从而为液芯光纤应用于指印光学显现系统照明激发光源的导光传输提供实验依据。

2 液芯光纤特性

液芯光纤作为一种新型结构的特种光纤,采用透明液体作为芯料,填充于折射率较低的透明皮层软管中,并通过硬质的透明光窗在软管的两侧密封,构成具有纤芯包层结构的光波导管。通过光窗入射的光线在芯液与包层界面发生多次全反射,并通过另一端光窗传出光纤。其结构如图 1 所示^[10]。

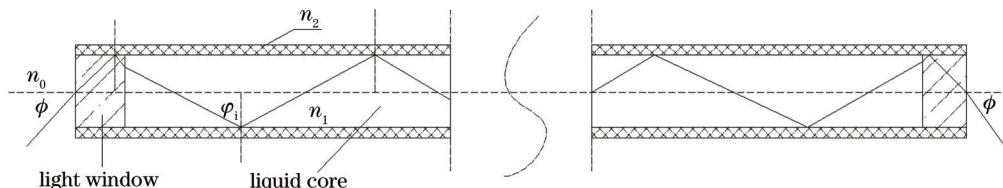


图 1 液芯光纤光束传输结构示意图

Fig.1 Beam propagation structure of liquid core optical fiber

液芯光纤的光束传输范围较宽,可根据不同的传输波长范围的要求,选择相应的液体材料体系,从而达到最佳的光束传输效率。由于液芯光纤纤芯为流动的溶液体系,导热性好,对光能量的吸收少,从而可以应用于传输大功率的光能量而避免光纤损坏。另外,相对传统的传能光纤,液芯光纤的数值孔径通常较高,光束耦合效率高,且其有效通光截面为一个整体,不存在常规光纤束因填充率而引起的传输损耗,因此具有较高的传光效率。

在该实验研究中,所采用的紫外传输液芯光纤纤芯直径 3 mm,数值孔径 0.42,长度 1 m,导光传输照明激发光源为固体激光器输出的 266 nm 紫外激光。

3 液芯光纤紫外激光传输效率实验测量

3.1 方法与装置

实验中所测量的紫外传输液芯光纤为折射率阶跃分布的大芯径多模光纤,纤芯直径 3 mm,数值孔径 0.42。光束在光纤内传输遵循光的全反射原理,光纤数值孔径角范围内的入射激光光束,在液芯光纤纤芯与包层界面多次全反射后传输出射。而当光纤发生弯曲后,光纤入射端面各点的孔径角发生变化,与光纤弯曲半径 R ,纤芯半径 r 及入射光线位置有关^[12],导致光纤数值孔径减小,集光本领减弱,从而引起弯曲损耗,降低光纤光束的传输效率。

实验中液芯光纤 266 nm 紫外激光光束传输效率及其随光纤弯曲半径变化关系的测量装置如图 2 所示。266 nm 固体激光器输出光束经耦合透镜聚焦扩束,垂直入射并充满液芯光纤纤芯端面,经液芯光纤耦合传输。在出射端面对传输输出光束功率进行监控测量。

在该测量装置的光纤光束耦合部分中,激光器输出端、耦合透镜及液芯光纤入射端面通过光学镜筒机械

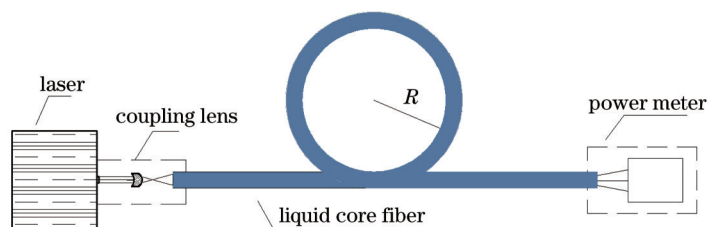


图2 液芯光纤光束传输效率测量装置结构示意图

Fig.2 Schematic of the measurement setup of liquid core fiber transmission efficiency

连接并可整体移动。在液芯光纤无弯曲条件下,调整耦合透镜与光纤入射端面之间的相对位置及角度,同时监测光纤输出光束功率,至光纤光束最佳耦合条件,并保持该最佳耦合条件下透镜与光纤的相对位置固定。测量用光功率计与光纤输出端面相连接且可整体移动,从而保证测量过程中光纤输出端面耦合条件不变。

实验过程中,激光器输出功率保持恒定。首先保持液芯光纤处于无弯曲直线状态,测量光纤入射端面光功率 P_m 及直光纤状态下光纤传输输出功率 P_0 ;之后保持端面耦合条件及激光器输出功率不变,调整改变液芯光纤弯曲半径,并测量记录相应弯曲半径 R 对应的光纤传输输出功率 P_R ,根据光纤弯曲传输效率计算公式^[12] $T_c = \frac{P_R}{P_0}$,得到光纤传输效率及其随弯曲半径的变化关系。

3.2 结果与分析

在紫外传输液芯光纤无弯曲直线状态下,实验测得入射端面光束入射功率 P_m 及经光纤传输输出射光功率 P_0 分别为15 mW及9.2 mW,光纤传输效率约61.3%。在液芯光纤无弯曲直线状态下,影响光纤传输效率的因素主要有光纤自身的传输损耗及透镜与光纤之间的耦合损耗。调整液芯光纤弯曲半径 R 并测量记录相应弯曲半径 R 对应的光纤传输输出射光功率 P_R ,所得到的光纤光束传输效率随弯曲半径的变化关系如图3所示。

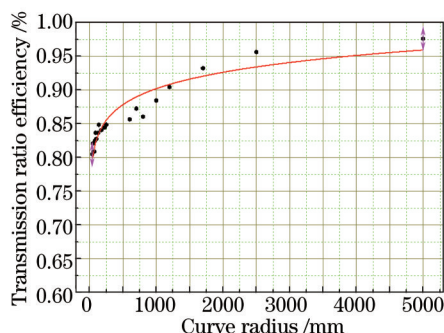


图3 液芯光纤光束传输效率随弯曲半径变化关系

Fig.3 Relationship between liquid core fiber transmission efficiency and curve radius

由图3可以看出,随着光纤开始逐渐弯曲,传输效率缓慢下降,且在一定弯曲半径范围内随着半径 R 的逐渐减小,传输效率受弯曲半径的影响较小,变化缓慢;随着弯曲半径 R 的继续减小,传输效率持续下降,且 R 越小,传输效率下降速度越快。对于该实验用液芯光纤,当弯曲半径 $R < 250$ mm时,光纤传输效率随 R 的减小而迅速下降。这主要是由于随着 R 的减小,光纤数值孔径减小,光纤集光本领减弱,从光纤弯曲部分外侧逸出的光线逐渐增多; R 越小,减弱越多。根据将光纤弯曲传输效率下降到90%时所对应的弯曲半径作为光纤的弯曲使用容限的定义^[11],该实验光纤的弯曲使用容限半径约为1000 mm,即在指印光学显现系统中应用该液芯光纤进行光束的导光传输时,光纤弯曲半径大于1000 mm时光纤的弯曲损耗对传输效率的影响较小。

4 液芯光纤传输光束能量分布测量

液芯光纤作为一种新型结构的大孔径多模光纤,采用透明液体为纤芯材料,有效通光截面是一个整体,相对于常规的传能光纤束,光束经液芯光纤传输输出为完整的光斑,且光强分布均匀性要优于普通的传能光纤束。数值孔径角范围内入射液芯光纤的光束,在光纤纤芯与包层界面不断发生全反射,向前传输,光束不同光强分布的部分经多次反射实现复合叠加,从而在光纤出射端口以光强能量分布相对均匀的近似点光源形式出射。

在该部分实验中,利用面阵 CCD 对液芯光纤输出端面的光斑图像进行采集,并利用 Matlab 分析处理,得到了出射光束光斑中心轴线的相对光强分布曲线及光斑图像的三维(3D)相对光强分布图,如图 4 所示。

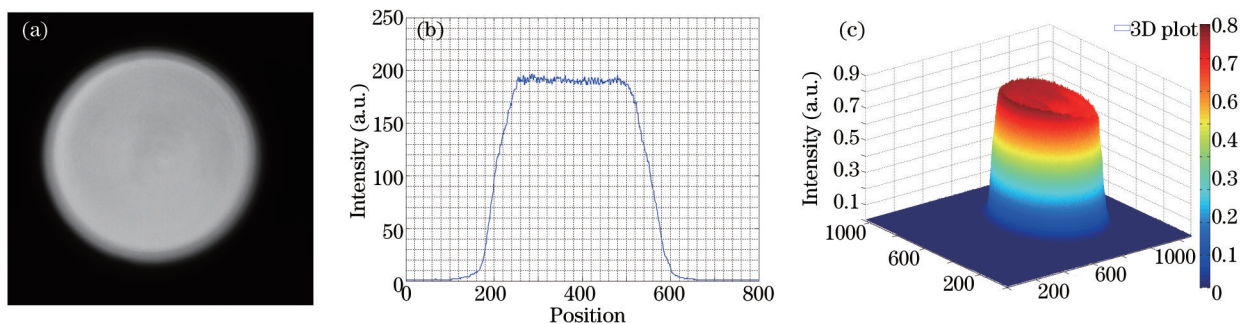


图 4 光纤输出光束(a)光斑图像,(b)光斑中心轴线相对光强分布曲线及(c)3D相对光强分布

Fig.4 (a) Transmission beam spot image, (b) relative intensity profile through the centroid and (c) 3D relative intensity profile

图 4 所示为通过调整耦合透镜与液芯光纤入射端面之间的相对位置与角度至最佳耦合条件,垂直入射光纤端面的光束经液芯光纤传输后出射端面处的光斑图像、光斑中心轴线相对能量分布曲线与 3D 相对能量分布图。由图 4 可以看出,大孔径液芯光纤可改善传输光束能量分布,实现传输光束的光强能量均匀分布。将该液芯光纤应用于指印光学显现系统中,经液芯光纤导光传输后光强均匀分布的 266 nm 光束照射于检材表面,经荧光成像系统提取的指印图像如图 5 所示。

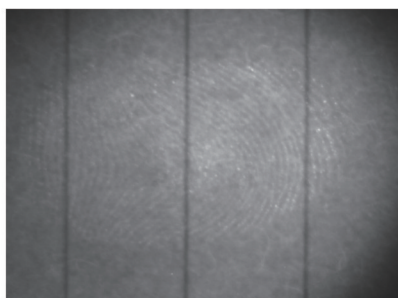


图 5 光强分布均匀光束激发指印荧光图像

Fig.5 Fingerprint fluorescence image excited by the beam with uniform intensity distribution

实验中发现,光束入射光纤的耦合状态将影响光束在光纤内的传输特性,从而影响光纤传输出射光束的能量分布情况。对于常规多模传能光纤,影响光纤传输光束能量分布的各种因素的分析已有相关报道^[13],通过改变光束入射角度利用液芯光纤产生空心光束的相关研究也已有介绍^[14],但对于液芯光纤传输光束能量分布影响的研究较少。此部分内容将在下一步工作中开展深入研究。

5 结 论

对 266 nm 激光光束在液芯光纤中的传输效率及其随光纤弯曲半径的变化关系、液芯光纤传输光束光斑能量分布情况进行了实验测量,得到了该实验用液芯光纤的紫外传输效率及弯曲使用容限半径,并在最佳耦合状态下,实现了对传输光束的光强分布均匀性改善。通过对液芯光纤在紫外光波段的传输特性研究,分析了使用液芯光纤作为指印光学显现系统照明激发光源导光传输元件的优势,为液芯光纤在指印光学显现系统中的应用提供了实验依据。将该液芯光纤应用于指印光学显现系统中,实现了指印显现提取所需的高功率、光强均匀分布的照明激发条件,具有实际应用价值。

参 考 文 献

- 1 Wang Guiqiang. Fingerprints Optical Manifestation and Photographic Technology[M]. Beijing: Qunzhong Press, 2001.
王桂强. 指印的光学显现和照相技术[M]. 北京: 群众出版社, 2001.
- 2 Li Xin, Wang Guiqiang. The development of latent fingerprint on mirror surface using polarization photography[J]. Forensic Science and Technology, 2007, (1): 7-8.
李 欣, 王桂强. 偏振光照相显现镜面客体上的潜在指印[J]. 刑事技术, 2007, (1): 7-8.

- 3 Li Hongxia, Niu Jieqing, Huang Yungang, *et al.*. Noninvasive detection of latent fingerprints using ultraviolet laser[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2011, 48(9): 092501.
李红霞, 钮洁青, 黄云刚, 等. 紫外激光无损检测潜在指印技术研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2011, 48(9): 092501.
- 4 Payne G A. A further study to investigate the detection and enhancement of latent fingerprints using visible absorption and luminescence chemical imaging[J]. *Forensic Science International*, 2005, 150(1): 33-51.
- 5 Crane N J. Infrared spectroscopic imaging for noninvasive detection of latent fingerprints[J]. *J Forensic Science*, 2007, 52(1): 48-53.
- 6 Tahtouh M. The application of infrared chemical imaging to the detection and enhancement of latent fingerprints: method optimization and further findings[J]. *J Forensic Science*, 2007, 52 (5): 1082-1096.
- 7 Ma Rongliang, Chang Bainian. Development of fingerprint by inherent fluorescence[J]. *Forensic Science and Technology*, 2001, (6): 17-18.
马荣梁, 常柏年. 手印固有荧光的检测[J]. *刑事技术*, 2001, 6: 17-18.
- 8 Zhen Gong, Jianhong Ge, Zhigang Zhao, *et al.*. 1.9 W flash-lamp-pumped solid-state 266-nm ultraviolet laser[J]. *Chin Opt Lett*, 2009, 7(6): 502-504.
巩 震, 葛剑虹, 赵智刚, 等. 1.9 W 闪光灯抽运固体 266 nm 紫外固体激光器[J]. *中国光学快报*, 2009, 7(6): 502-504.
- 9 Pan Sunqiang, Liu Chong, Zhao Zhigang, *et al.*. Fourth harmonic generation ultraviolet laser output characteristics from laser diode side-pumped two Nd:YAG rods in resonator[J]. *Chinese J Lasers*, 2010, 37(11): 2790-2794.
潘孙强, 刘 崇, 赵智刚, 等. 激光二极管侧面抽运双棒串接 Nd:YAG 四倍频紫外激光的输出特性[J]. *中国激光*, 2010, 37 (11): 2790-2794.
- 10 Hong Xiaoqin, Zhao Zhimin, Li Peng, *et al.*. Performance of liquid-core optical fiber based on light-curing[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part A (Physical Testing)*, 2009, 45 (2): 74-76.
洪小芹, 赵志敏, 李 鹏, 等. 基于光固化的液芯光纤及其性能[J]. *理化检验-物理分册*, 2009, 45(2): 74-76.
- 11 Ma Honglei, Jin Haipeng, Yang Rui. External fluorescence seeding enhanced stimulated Raman scattering in liquid-core optical fiber[J]. *Chinese J Lasers*, 2013, 40(1): 0115001.
马宏磊, 金海鹏, 杨 睿. 外部荧光种子植入法增强液芯光纤的受激拉曼散射[J]. *中国激光*, 2013, 40(1): 0115001.
- 12 Xu Shixiang, Li Xishan, Zhang Guoxuan. The effects of bending on the transmission properties of pure silica optical fibers [J]. *Chinese J Lasers*, 1994, 21(7): 571-575.
徐世祥, 李锡善, 张国轩. 纯石英光纤的弯曲传输特性实验研究[J]. *中国激光*, 1994, 21(7): 571-575.
- 13 Zhao Xinghai, Cao Yang. Effect of injection misalignment on multimode fiber power delivery characteristics[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, 37(9): 1842-1847.
赵兴海, 高 杨. 激光注入误差对多模光纤传能特性影响分析[J]. *光子学报*, 2008, 37(9): 1842-1847.
- 14 Hu Xiaobo, Liu Shengnan, Cao Wei, *et al.*. Generation of a hollow laser beam by a liquid core optical fiber[J]. *Chinese J Lasers*, 2012, 39(11): 1105002.
胡晓博, 刘胜男, 高 玮, 等. 利用液芯光纤产生空心光束[J]. *中国激光*, 2012, 39(11): 1105002.