

Development and Application of Portable Deep Ultraviolet Light Emitting Diode Source for Latent Evidence Detection

Xuejun Zhao¹, Yun Zou¹, Nengbin Cai², Xiaochun Huang², Wenbin Liu^{1*}

¹Shanghai Key Laboratory of Crime Scene Evidence, Shanghai Research Institute of Criminal Science and Technology, Shanghai

²Shanghai Key Laboratory of Crime Scene Evidence, Public Security Bureau, Shanghai Institute of Forensic Science, Shanghai

Email: xjzhao1201@163.com, *wbliu1981@163.com

Received: Feb. 24th, 2018; accepted: Mar. 10th, 2018; published: Mar. 16th, 2018

Abstract

A portable deep ultraviolet light emitting diode (LED) source based on sapphire substrate is fabricated for evidence detection. Crime scene detection is the prime step of criminal investigation, and is also crucial in solving case. Latent fingerprints of people are unique and the absorption of remnant trace from latent fingerprint is around 279 nm. The visualized effect comparison between the deep ultraviolet source and 266 nm laser source is presented. Experimental results show that the deep ultraviolet source exhibits advantages over 266 nm laser in terms of portability, band match and low cost. Furthermore, quality of the source is optimized by designing each system, and it would be a valuable and portable device for crime scene detection in forensic science.

Keywords

Semiconductor, Light Emitting Diode, Ultraviolet Source, Latent Fingerprint, Evidence Detection

便携式深紫外280 nm半导体物证探测光源的研制及应用

赵雪珺¹, 邹芸¹, 蔡能斌², 黄晓春², 刘文斌^{1*}

¹上海市刑事科学技术研究院, 上海市现场物证重点实验室, 上海

²上海市公安局物证鉴定中心, 上海市现场物证重点实验室, 上海

*通讯作者。

Email: xjzhao1201@163.com, wblu1981@163.com

收稿日期: 2018年2月24日; 录用日期: 2018年3月10日; 发布日期: 2018年3月16日

摘要

人的指印各不同且具有唯一性, 其吸收峰主要在279 nm左右。针对潜在指印的显现, 我们设计了一种基于蓝宝石衬底的便携式深紫外280 nm半导体物证探测光源并应用于痕检。将便携式深紫外280 nm物证探测光源和266 nm激光器用于不同客体背景下指印的显现并进行对比。实验结果表明, 便携式深紫外280 nm光源探照潜在指印的显现效果优于266 nm激光器。该光源具有便携、波段优、造价低等优点。此外, 通过设计该光源的芯片阵列、控制系统、准直系统、散热系统等, 优化了光束质量, 为现场物证的发现和提取提供了一种便携式设备, 在刑事科学技术领域具有很好的应用前景。

关键词

半导体, 发光二极管, 深紫外光源, 潜在指印, 物证探测

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

现场勘查所获取的物证信息是案件破获的关键, 而潜在物证的发现和提取一直是法庭科学领域研究的重点。1977年, 在《法庭科学杂志》中, Menzel等人首次报道了激光在潜在痕迹显现中的研究[1], 利用物质本身的固有荧光, 通过氩离子激光器照射显现潜在痕迹是早期的研究重点。之后, 涌现许多方法, 例如刷发光粉末[2][3]、荧光染料染色[4]和化学反应[5][6]等方法处理痕迹残留物。这些方法使得在固有荧光检测失败的情况下, 仍然可用激光对潜在痕迹进行检测。同时随着DNA技术的发展[7], DNA分型对于明确案件性质以及查明嫌疑人(当事人或受害者)起着关键作用。在对现场潜在物证进行提取时, 这就要求利用无损的方法先进行显现, 方可进一步对检材进行DNA检测。光学显现方法具有非接触无损等特点, 在这一方面就体现出了明显优势。在光学显现方法中, 主要采用的光源有激光[8][9]和LED光源[10][11][12]。国内在激光显现潜在指印方面取得了一系列的研究成果[13]-[18]。然而, 大多数痕迹物证的显现都是在实验室环境下(痕迹物证提取全凭勘查人员经验), 而非案发现场。相比于激光光源, LED光源具有波段涵盖范围广、寿命长、便携等优点, 并且LED在光束的准直性及均匀性设计方面也在不断改善[19][20][21][22], 越来越多地应用于刑事科学技术领域。

在众多潜在痕迹中, 人的指痕各不同具有唯一性, 是证据之王。通过前期研究发现, 汗液的吸收光谱范围在250 nm~320 nm区间, 且吸收最高峰位于279 nm左右。深紫外LED既可实现波段(280 nm)的匹配性, 又具有便携、单色性好、亮度衰减周期长等特点。

目前, 市场上尚无针对潜在汗液指印的便携式深紫外LED光源, 该LED光源对提高现场物证显现及提取率有着重要意义。本文自主研制了便携式280 nm深紫外LED光源, 采用蓝宝石作为衬底, 对光束质量进行优化; 并且与266 nm激光器在显现潜在指痕方面进行对比。

2. 深紫外 280 nm 半导体光源的设计和研制

便携式深紫外 LED 光源(280 nm)的整体结构如图 1 所示, 主要包含光源、主体系统、准直系统、散热系统和控制系统。其中, 光源位于主体系统内且设于准直射系统和散热系统之间。

主体系统包括: 触电环及其触电环固定块、电池封盖、筒身和设置于筒身内部的电池。其中: 电池由驱动电源驱动且工作端与触电环相连, 筒身的一端与电池封盖相连, 另一端与触电环固定块相连, 触电环固定块与散热系统相连接。

为了提高便携式深紫外(280 nm)光源输出功率和光斑均匀等问题, 除采用芯片阵列排布和封装技术, 还设计了准直系统。准直射系统包括: 聚光调节外壳、石英玻璃固定盖、聚光限位环、石英镜片、聚光镜和光线平行加强筒。聚光镜位于聚光调节外壳内且两端分别与光源和光线平行加强筒相连, 光线平行加强筒的前端设有石英镜片且由石英玻璃固定盖固定。散热系统中采用的是铝散热鳍片, 通过导热管将热量疏导至散热鳍片上, 设计合理的灯壳外形, 利用空气对流加速散热。光源选择蓝宝石衬底作为 LED 光源芯片的衬底。

控制系统主要包括 LED 芯片、处理系统、驱动电源和控制按键。如图 2 所示为便携式深紫外 LED 光源控制系统的架构图。芯片是 LED 的核心部件, 选取化学稳定好的蓝宝石作为芯片衬底。LED 采用混联连接排成阵列结构, 即单个 LED 芯片 50 mw, 4 个并联封装, 2×2 排成阵列, 达到将近 200 mw 的输出功率, 满足现场物证光源的要求。采用高指向性 LED 封装技术, 尖头环氧封装, 且不加散射剂, 半值角为 $5^\circ \sim 20^\circ$, 使光线达到汇聚的作用, 从而实现高功率和远距离的探照。在高铝组氮化物深紫外线发光二极管(LED)表面覆盖一层超薄铝膜, 能有效破解“光抽取效率”, 减少深紫外光线的衰减。

因 LED 是一个半导体二极管, 伏安特性随温度而变化, 正向电压的微小变化会引起正向电流的很大变化。光源的驱动电源须为恒流驱动, 1W 大功率 LED 如果正向电压变化 10% (从 8 V 降低到 5 V), 会引起正向电流变化。故内设恒流源芯片, 电流过高时暂停供电, 待降低后重新启动, 恒流源芯片输入电压为交流 85 V~240 V, 输出为预设的恒定电流; 电池为可充电锂电池, 恒流源芯片镶嵌于电池底部。

处理系统包含数字信号处理(DSP)和现场可编程门阵列(FPGA)处理器, 与电池底部的恒流源芯片相连接, 实现按键控制和输出光功率的选择。

控制按键位于筒身侧面。通过控制按键, 控制输出电流大小, 完成固定照射和阶梯型照射。固定照射是在恒定电流功率下, 实现最强的 280 nm 深紫外光源输出。阶梯型照射是通过恒流源芯片调整输出电流, 实现不同光功率的输出。

采用荧光光谱仪(Horiba Aqualog)测量汗液在 200~800 nm 波段的吸收曲线, 深紫外 LED 光源的辐照度出射曲线由光生物安全监测系统(IDR300)测定。图 3 为汗液的吸收曲线(蓝色)及便携式深紫外 LED (280 nm)光源的辐照度曲线(红色), 光源在 280 nm 处的辐照度为 $90 \text{ mW/m}^2/\text{nm}$ 。从图中可以看出, 汗液有两个吸收峰, 最高吸收峰位于 279 nm 处, 另一个吸收峰位于 302 nm, 吸收峰代表汗液对该峰值处的光吸收强。汗液的最高吸收峰位于汗液的最高吸收峰与光源的输出波长匹配度高, 适用于汗液潜在指纹的显现。

3. 实验结果

在潜在汗液指印显现实验中, 利用 266 nm (200 mW)激光器和自主研发的便携式深紫外 LED (280 nm)光源进行显现效果对比。对不同客体上的潜在汗液进行显现, 装置如图 4 所示, 分别采用不同光源对潜在汗液指印进行照射, 通过紫外镜头相机纪录显现结果。

图 5~11 分别给出了利用 266 nm 激光器(a)和自主研制的便携式深紫外 LED (280 nm)光源(b)在 A4 纸、POS 单、火车票、快递单、牛皮纸、塑料和照片不同客体上的潜在汗液指印的显现结果。

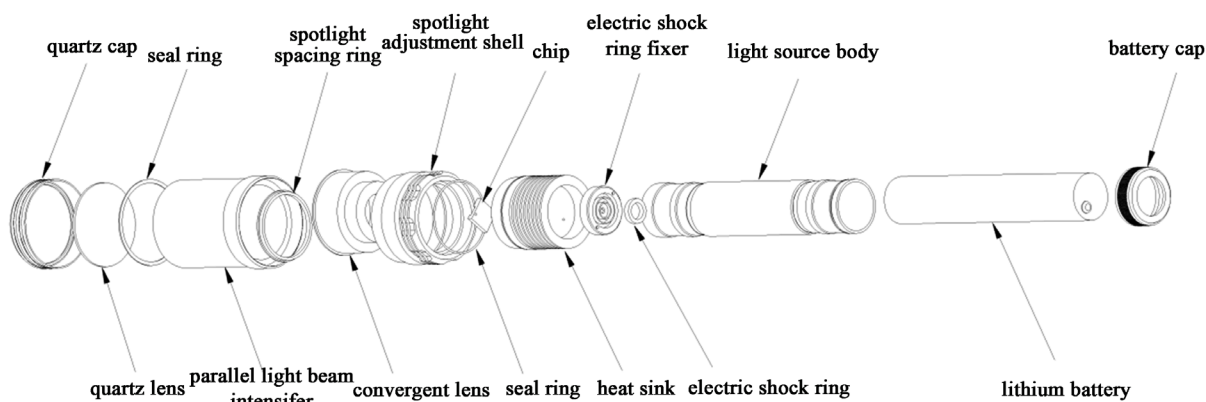


Figure 1. Framework of portable deep ultraviolet light emitting diode source

图 1. 便携式深紫外 LED 光源(280 nm)整体结构图

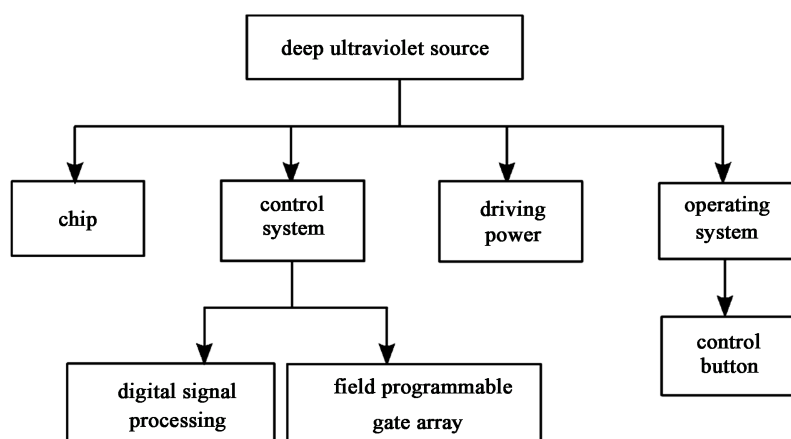


Figure 2. Schematic of control system for portable deep ultraviolet LED source

图 2. 深紫外 LED 便携式光源控制系统架构

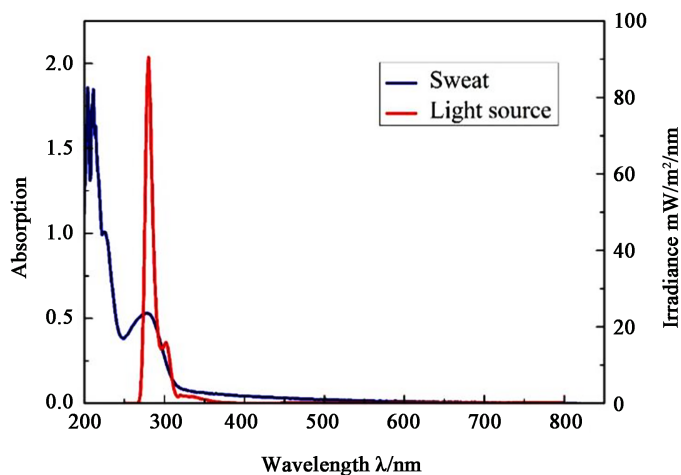


Figure 3. Absorption curve of sweat (blue) and irradiance curve (red) of portable deep ultraviolet LED source

图 3. 汗液的吸收曲线(蓝色)及便携式深紫外 LED (280 nm)光源的辐照度曲线(红色)

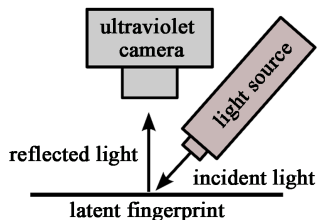


Figure 4. Setup of latent fingerprint visualization

图 4. 潜在汗液指印显现装置示意图

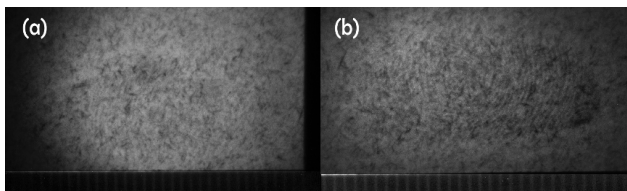


Figure 5. Visualized results of latent fingerprint on A4 paper by (a) 266 nm laser; (b) LED light source

图 5. A4 纸张客体上潜在汗液指印的显现。(a) 266 nm 激光器; (b) LED (280 nm)光源

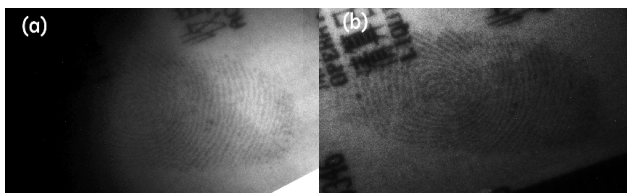


Figure 6. Visualized results of latent fingerprint on print slip by (a) 266 nm laser; (b) LED light source

图 6. POS 单客体上潜在汗液指印的显现。(a) 266 nm 激光器; (b) LED (280 nm)光源

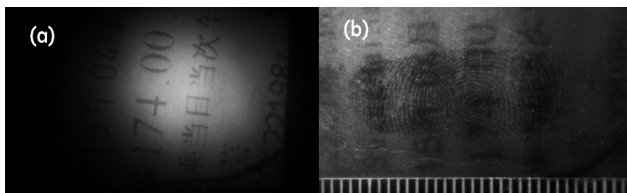


Figure 7. Visualized results of latent fingerprint on train ticket by (a) 266 nm laser; (b) LED light source

图 7. 火车票客体上潜在汗液指印的显现。(a) 266 nm 激光器; (b) LED (280 nm)光源

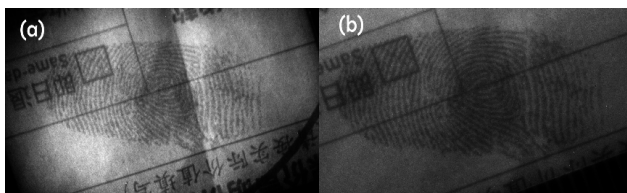


Figure 8. Visualized results of latent fingerprint on express bill by (a) 266 nm laser; (b) LED light source

图 8. 快递单客体上潜在汗液指印的显现。(a) 266 nm 激光器; (b) LED (280 nm)光源

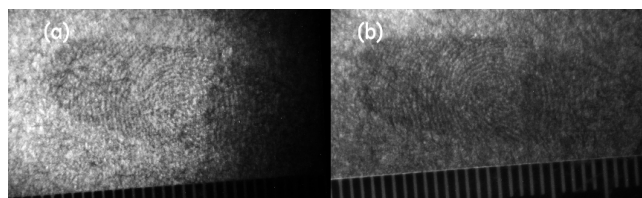


Figure 9. Visualized results of latent fingerprint on kraft paper by (a) 266 nm laser; (b) LED light source

图 9. 牛皮纸客体上潜在汗液指印的显现。(a) 266 nm 激光器；(b) LED (280 nm)光源

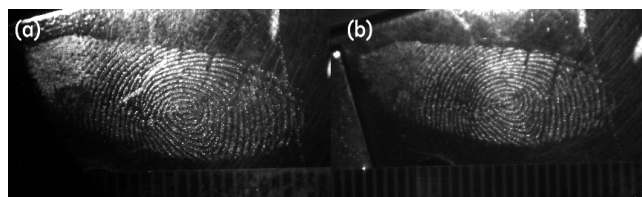


Figure 10. Visualized results of latent fingerprint on plastic paper by (a) 266 nm laser; (b) LED light source

图 10. 塑料客体上潜在汗液指印的显现。(a) 266 nm 激光器；(b) LED (280 nm)光源

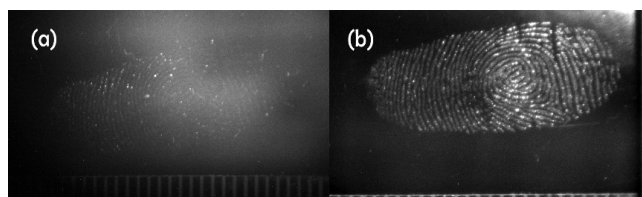


Figure 11. Visualized results of latent fingerprint on picture by (a) 266 nm laser; (b) LED light source

图 11. 照片客体上潜在汗液指印的显现。(a) 266 nm 激光器；(b) LED (280 nm)光源

便携式深紫外 280 nm 半导体物证探测光源在各类背景客体上的指纹显现率达 78%，充电后单次使用时间长达 6 个小时。

4. 分析与讨论

通过紫外反射照相记录不同客体表面的潜在指印，入射光线在指纹纹线上发生漫反射的光线进入石英镜头相机中，故能有效提取光滑客体表面的潜在指印。总体看来，自主研发的深紫外 LED (280 nm)光源显现效果优于 266 nm 激光器，主要原因是汗液指印吸收峰与 280 nm 光源更加匹配。另外，从 A4 纸张、POS 单、火车票、快递单和牛皮纸客体上的显现结果对比，图(b)相较于图(a)中的指印纹线颜色更暗，说明上述客体上的潜在指印对 280 nm 波段的光吸收更强。此外，客体背景较亮，是因为纸张中掺有荧光剂等，在深紫外光线照射下出现荧光。而在照片和塑料上的潜在指印纹线和客体背景形成强烈反差。背景暗，纹线亮是由于客体背景对深紫外区光线的吸收强于潜在汗液指印而产生的。虽然都是非渗透性客体表面，但火车票和照片客体上指印显现不同于塑料，火车票和照片表面具有特殊涂层处理，在 266 nm 光高功率的照射下，显现效果弱于便携式深紫外 LED 光源。

266 nm 激光器和便携式深紫外 LED (280 nm)光源在使用条件方面，266 nm 激光器需有外接电压，而便携式 LED 深紫外光源可在户外使用，并且电池续航 5~6 小时。便携式深紫外 LED 光源在显现渗透

性客体表面的潜在指印效果和 266 nm 激光器相当;而对于表面有特殊涂层处理的火车票和照片等非渗透性客体表面的潜在指印,便携式 LED 光源的显现效果远超 266 nm 激光器。

5. 结论

本文从现场物证检验实战需求出发,通过对潜在生物物证的光谱分析发现,279 nm 为汗潜生物痕迹的吸收峰,锁定这一特定波段进行便携式光源的研制及应用,研制了深紫外 LED (280 nm)光源。通过实验对比发现,便携式深紫外 LED (280 nm)光源在不同客体的潜在汗液指印显现上优于 266 nm 激光器,因为潜在汗液指印的主吸收峰位于 279 nm 附近,与便携式深紫外 LED 光源的发射主峰更匹配。

该便携式光源设计简单、成本低、显现效果更佳等特点。此外,与传统的 266 nm 激光器相比,具备能便携至现场的优点,有利于提高现场勘验潜在痕迹的发现和提取率。减少了由于现勘人员经验差异而导致的痕迹物证灭失的概率,提高物证提取能力,为侦查破案提供技术支撑。

基金项目

国家自然科学基金(61405117)、国家重点研发计划(2017YFC0803806)、上海市公安局科研项目(2016015)。

参考文献

- [1] Dalrymple, B.E., Duff, J.M., Menzel, E.R., *et al.* (1977) Inherent Fingerprint Luminescence—Detection by Laser. *Journal of Forensic Science*, **22**, 106-115. <https://doi.org/10.1520/JFS10373J>
- [2] Scott, J., *et al.* (2013) Exploring the Potential of Phosphorescent Fingerprint Powder. *Journal of Forensic Identification*, **63**, 175-187.
- [3] Choi, M.J., Mcbean, K.E., Ng, P.H.R., *et al.* (2008) An Evaluation of Nanostructured Zinc Oxide as a Fluorescent Powder for Fingerprint Detection. *Journal of Materials Science*, **43**, 732-737. <https://doi.org/10.1007/s10853-007-2178-5>
- [4] Thornton, J.I., *et al.* (1978) Modification of Fingerprint Powder with Coumarin 6 Laser Dye. *Journal of Forensic Sciences*, **23**, 536-538. <https://doi.org/10.1520/JFS10704J>
- [5] Almog, J., Hirshfeld, A., Klug, J.T., *et al.* (1982) Reagents for the Chemical Development of Latent Fingerprints: Synthesis and Properties of Some Ninhydrinanalogs. *Journal of Forensic Sciences*, **27**, 912-917. <https://doi.org/10.1520/JFS12209J>
- [6] Exline, D.L., Wallace, C., Roux, C., *et al.* (2003) Forensic Applications of Chemical Imaging: Latent Fingerprint Detection Using Visible Absorption and Luminescence. *Journal of Forensic Sciences*, **48**, 1-7. <https://doi.org/10.1520/JFS2002333>
- [7] Andersen, J., Bramble, S., *et al.* (1997) The Effects of Fingerprint Enhancement Light Sources on Subsequent PCR-STR DNA Analysis of Fresh Bloodstains. *Journal of Forensic Sciences*, **42**, 303-306. <https://doi.org/10.1520/JFS14116J>
- [8] Menael, E.R., *et al.* (1989) Pretreatment of Latent Prints for Laser Development. *Forensic Science Review*, **1**, 43-66.
- [9] Cai, N.B., Zou, Y., Almog, J., *et al.* (2017) Inherent Fluorescence Detection of Latent Fingerprints by Homemade Shortwave Ultraviolet Laser. *Journal of Forensic Sciences*, **62**, 209-211. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13239>
- [10] Masahisa, T., Osamu, S., Kyoko, O., *et al.* (2008) Detection of Pretreated Fingerprint Fluorescence Using an LED-Based Excitation System. *Journal of Forensic Sciences*, **53**, 823-827. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00773.x>
- [11] Dalrymple, B., Almog, J., *et al.* (2012) Comparison of Latent Print Detection Using Semiconductor Laser and LED Light Sources with Three Chemical Reagents. *Journal of Forensic Identification*, **62**, 14-27.
- [12] Wang, L.J., Tao, D.Q., Yin, Z.Y., *et al.* (2012) Multiband Techniques of LED and UV Materials on Visualization of Needle Marks. *Advanced Materials Research*, **463**, 1382-1386. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.1382>
- [13] 杨晟, 裴浩, 张明辉, 等. 532 nm 激光在痕迹显现上的应用研究[J]. 激光杂志, 2011, 32(5): 44-45.
- [14] 靳贵平, 庞其昌. 紫外指纹检测仪的研制[J]. 光学精密工程, 2003, 11(2): 198-202.

- [15] 台治强. 利用激光的时间分辨发光成像技术显现潜指纹[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版), 2004, 10(4): 31-33.
- [16] 蔡能斌, 徐宝桢, 孙文鼎, 等. 紫外激光成像装置显现潜指印的研究与应用[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版), 2011, 17(3): 1-4.
- [17] 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): 129-133.
- [18] 黄晓春, 温思博, 蔡能斌. 紫外反射成像技术显现弧面客体上的潜在指印[J]. 影像技术, 2013, 25(4): 25-27.
- [19] Wang, G., Wang, L., Li, F., *et al.* (2012) Collimating Lens for Light-Emitting-Diode Light Source Based on Non-Imaging Optics. *Applied Optics*, **51**, 1654-1659.
- [20] 万运佳, 刘杰, 林浩博, 等. 一般 LED 光源均匀配光的自由曲面菲涅耳透镜[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(6): 062201.
- [21] 王子仪, 张荣君, 徐蔚, 等. 基于全反射的发光二极管-照明光纤耦合器的设计与研制[J]. 光学学报, 2012, 32(9): 0922007.
- [22] 赵欢, 李长庚, 陈志涛, 等. 基于双自由曲面的 LED 均匀照明准直透镜设计[J]. 光学学报, 2017, 37(4): 0422001.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5450, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: oe@hanspub.org