

新型荧光纳米显影剂的制备 及其在指纹显影方面的应用*

王晨, 刘帅, 陈艳

蚌埠医学院化学教研室, 安徽 蚌埠 233000

摘要: 通过不同配比的三聚氰酸和三聚氰胺的一步聚合作用制备得到新型氮化碳纳米荧光显影剂, 并采用粉末喷洒法详细研究了其不同条件下的指纹显影效果。结果表明: 该材料光学性能稳定, 优于传统方法制备得到的材料; 当三聚氰酸与三聚氰胺配比为 1:5 时, 荧光强度最强, 不仅在暗室下能够显现指纹清晰的乳突线和细节特征, 在日光下显影效果同样良好, 并适用于大部分常见的载体, 此外, 该材料还可以在 365 nm 紫外灯连续照射 240 min 内保持较为理想的显影效果, 甚至可以很好地显现留存 20 d 的指纹。

关键词: 潜指纹显影; 氮化碳; 显影剂

中图分类号: O611.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137(2022)05-0117-09

Preparation of new fluorescent nano-developer and its application in latent fingerprint identification

WANG Chen, LIU Shuai, CHEN Yan

Department of Chemistry, Bengbu Medical College, Bengbu 233000, China

Abstract: The new carbon nitride fluorescent developer material can be prepared by the polymerization of cyanuric acid and melamine in different proportions. The powder spraying method was used to study the fingerprint development effect under different conditions in detail. The results show that the optical performance of the resulted sample is stable and strong, which is better than those prepared by traditional methods. Notably, when the raw material ratio is 1:5, the fluorescence intensity is the strongest. For its property of fingerprint identification, papillary lines and detailed features of fingerprint can be clearly displayed in darkroom and also in daylight, and its ability of fluorescent material is suitable for most common objects. Moreover, a relatively stable development effect of this fluorescent agent was maintained under a continuous irradiation with 365 nm UV lamps for 240 min, and this fluorescent agent can even show the fingerprints left for 20 days.

Key words: latent fingerprint identification; carbon nitride; developer

遗留在客体表面的潜指纹常常可以显示出犯罪嫌疑人的重要身份信息, 采用有效的方法提取案发现场的指纹并对其进行鉴定, 对刑事案件的侦破至关重要^[1]。近年来, 利用物理或者化学方

* 收稿日期: 2021-09-13

录用日期: 2021-10-13

网络首发日期: 2022-01-17

基金项目: 国家自然科学基金(21603005); 国家级大学生创新创业训练计划项目(202010367057); 高校优秀青年人才支持计划一般项目(gxyq2021187)

作者简介: 王晨(1997年生), 男; 研究方向: 纳米材料的制备与应用; E-mail: 20201007026@stu.bbmc.edu.cn

通信作者: 陈艳(1984年生), 女; 研究方向: 纳米材料的制备与应用; E-mail: 2014039@bbmc.edu.cn

法进行潜指纹的提取鉴定,已成为刑侦领域的研究热点^[2]。潜指纹中所含的物质是由内在成分和外来物质构成的。内在成分包括分布于全身的外分泌汗腺和皮脂腺分泌的无机离子、有机物(氨基酸、脂肪酸等)以及鲨烯等,而外来物质主要为各种在日常生活中接触到的污染物^[3-4]。并且年龄、性别的差异以及生活环境的不同等都会导致潜指纹的差异^[5]。针对潜指纹的唯一性和终身不变性,运用潜指纹识别技术来侦查案件已成为常见的刑侦手段。

指纹显现方法根据不同原理一般有物理吸附法、化学显现法、光学显现法等传统指纹显现方法^[6-8]。其中最常用的是物理吸附法中的粉末显现法,该方法是利用指纹中的汗液、油脂等残留物质对粉末进行机械吸附或静电吸附作用而进行指纹显影^[8-9]。指纹显影效果的好坏与粉末的成分、性质以及粉末所放置的指纹载体表面的性质有关^[10-11],所以应用于刑侦指纹的粉末应具备颗粒度适中、吸附力强、易保存等特点。粉末显现法常用的粉末有普通粉末(包括金属粉末、合成粉末等)、磁性粉末、植物花粉等,存在对比度低、敏感性差、易受背景干扰等缺点,极大地限制了其实际应用^[8]。近年来,一些课题组制备性能优良的荧光材料,如有机染料、共轭聚合物、量子点、稀土材料等,以实现指纹的显现和提取^[12-13]。早在2000年,Menzel等^[14]就已经合成出CdS量子点并将材料于易拉罐表面进行显影。王珂等^[15]以MPA为修饰剂合成了掺杂Cd的水溶性荧光ZnSe/MPA量子点,利用它显现水浸胶带及粘连胶带上的油汗指印,并在365 nm下拍照成像。辛娟^[16]通过简单的水相合成法以柠檬酸钠为络合剂得到了稳定性较好的YVO₄:Eu溶液,还通过三聚磷酸钠的水解合成了粒径较小且悬浮稳定的LaPO₄:Ce, Tb溶液,并将其用于不同客体表面指纹显影。近期,Park等^[17]采用溶胶凝胶法制备了新型荧光材料Ba₂LaSbO₆:Mn⁴⁺(BLSO:Mn⁴⁺),并用于潜在指纹的荧光成像;Suri等^[18]制备了二氧化硅纳米粒、铁纳米粒等一系列成本较低的荧光粉末,在玻片、塑料袋、铝箔等客体表面进行指纹显影。然而,大多荧光材料存在制备困难、发光不够稳定等问题。因此,发展制备简单、经济环保、颗粒度适中、吸附力强且具有优异指纹显影效果的纳米荧光材料势在必行。

纳米荧光材料是兼具纳米尺寸与光致发光性

能双重功效的一类荧光材料。在浅指纹识别工作中,指纹中残留物质与这一类材料结合后,在紫外灯照射下即可显现清晰的指纹图像,是一种可以解决普通指纹提取过程中存在的粉末荧光不稳定、提取效果差、提取过程艰难的有效手段。霍宇飞^[9]采用水相合成法合成了CdTe和CdTe@CdS量子点,将其应用于玻璃、铝片等客体表面的浅指纹显现,并对量子点进行了适当的表面修饰,进而提高显影效果。李白玉^[19]合成出的NaYF₄:Yb,Er,Gd上转换荧光纳米棒(UCNRs),可以显现非渗透性客体(包括大理石、瓷砖、玻璃、硬币、铝箔和不锈钢板)和渗透性客体(包括杂志封面和火车票)表面上的血潜指纹,利用980 nm近红外光能量低以及上转换荧光纳米粒子特殊的发光强度高、密度大、与背景形成极大反差等特殊的发光机制,获得了相应的指纹荧光图像,从中清晰地识别出指纹的各级特征。然而,传统荧光材料往往合成途径复杂、原料昂贵,并不适合大规模生产来广泛用于刑侦工作或其他行业中。

在众多纳米材料中,石墨相氮化碳(CN, g-C₃N₄)是不含金属元素、无毒、合成原料简单且易制备得到的一种聚合物材料。其稳定的化学性质和荧光发光性能使其可以作为一种有效的显影剂在刑侦领域进行推广使用。鞠伟^[20]制备了能在固体状态下发光的g-C₃N₄纳米带和一系列的碳量子点,并探索了它们在浅指纹检测领域的应用,在紫外灯的照射下,观察到它们在玻璃片、易拉罐等不同客体显现出蓝色荧光的指纹图谱。王俊^[21]利用CNQDs固态发光的性质,通过粉末刷显的方式将CNQDs与指纹物质结合,指纹在多波段光源(320~400 nm)的照射下发出明亮的蓝色荧光,从而获取指纹图像。Song等^[22]通过共聚法制备苯基掺杂g-C₃N₄(PDCN)粉末,并首次将PDCN粉末作为潜在指纹成像(LFPs)的固体传感平台进行了验证,结果表明,PDCN粉末在进行成像时显现出绿色荧光指纹图像。由此可见,氮化碳材料具有指纹识别的潜力,为刑侦工作提供技术帮助和支持,但目前的研究工作有待深入。

因此,为了使得氮化碳材料在刑侦案件处理中得到更广泛应用,有必要开发更多性能优异的氮化碳荧光材料,并对其在不同条件下的成像效果进行更深入的研究,为刑侦工作中不同环境下纳米荧光剂的选择提供更多的参考和指导。基于此,本文通过三聚氰酸和三聚氰胺的共同作用合

成一系列制备简单、性能优良的新型氮化碳材料, 探讨了不同的光照时间下样品的荧光稳定性, 以及不同光照时间、指纹留存时间、日光/暗室条件下指纹成像效果。结果表明, 本文合成出的材料不仅在荧光强度上有很大的提升, 长时间照射后荧光也更加稳定, 通过采用粉末喷洒法, 可以实现对案发现场潜指纹的有效识别和提取, 解决了普通粉末在应用于刑侦指纹识别时粉末堆积过多导致显影时指纹轮廓模糊的问题, 具有较好的应用前景。

1 实验部分

1.1 氮化碳的制备

MA_x-MCCN样品的制备: 称取1 g三聚氰酸, 不同量的三聚氰胺(1、2、3、4和5 g)混合研磨0.5 h后, 放于石英舟中, 将石英舟放于在N₂氛围下的管式炉正中心, 将目标温度设置为550 °C, 升温4 h, 保温2 h。待到自然降温后得到淡黄色块状样

品, 记作MA_x-MCCN ($x = 1, 2, 3, 4, 5$), 研磨成粉末备用。制备流程见图1所示。

MACN样品的制备: 称取5 g的三聚氰胺放于石英舟中, 置于N₂氛围下的管式炉正中心, 将目标温度设置为550 °C, 升温4 h, 保温2 h。待到自然降温后研磨成粉末备用。

1.2 识别指纹操作流程

实验人员将手指清洗干净, 在前额擦拭后, 将手指轻轻地在某一客体上按上指纹。将荧光粉末充分研磨后, 装于喷壶中, 喷洒在按好的指纹上, 再用刑侦指纹刷轻轻扫去多余的样品粉末。此时, 样品粉末便会与指纹作用, 附着在指纹表面, 用365 nm的紫外灯照射在样品上, 随后拍摄荧光显现的指纹进行提取识别, 操作流程见图2。

为了更好地对指纹显影细节进行对比, 我们将同一实验人员的同一手指清洗干净, 将手指轻轻地在黑色墨水印板上蘸取印油并将指纹印染在白纸上作为显影细节对比图。

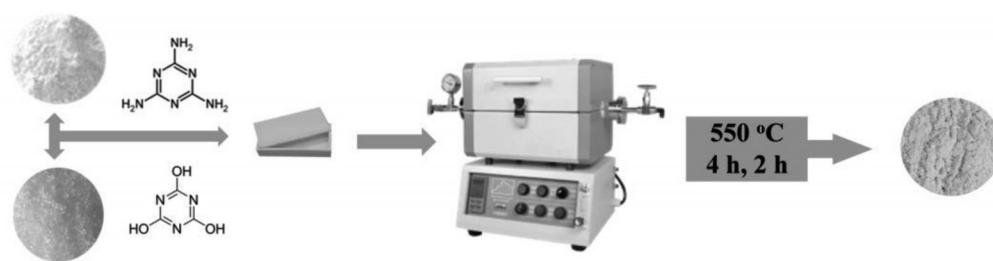


图1 MA_x-MCCN的制备流程图

Fig. 1 Preparation flow chart of MA_x-MCCN

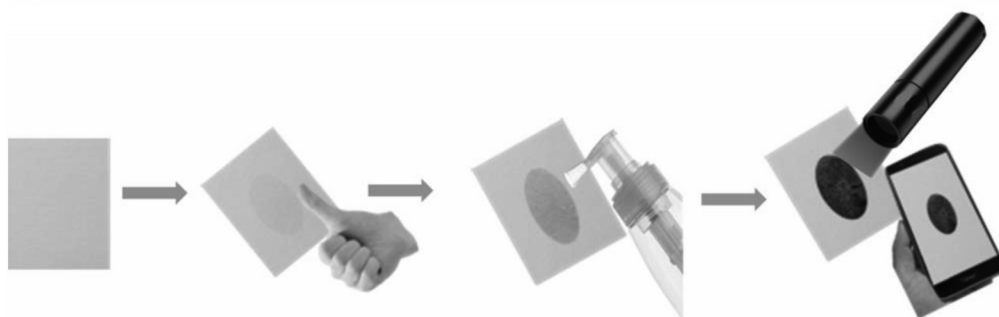


图2 指纹显影识别流程

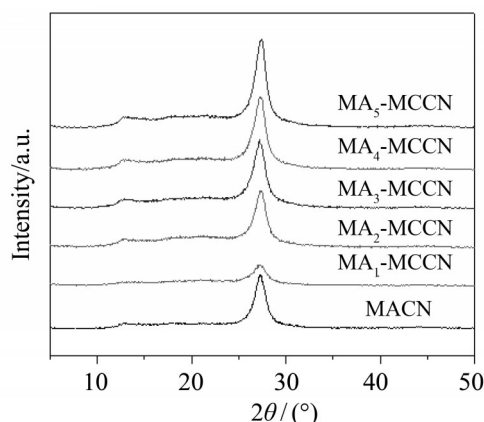
Fig. 2 Fingerprint development identification process

2 结果与讨论

2.1 实验表征

2.1.1 X射线粉末衍射(XRD)表征 图3为MA_x-MCCN系列样品的X射线粉末衍射图。众所周知, g-C₃N₄为类石墨层状堆积结构, 面内以七嗪环为基

本结构单元不断拓展, 形成一个类似于苯环的大π键, 组成一个高度离域的共轭体系^[23-25]。在XRD谱图中, 三聚氰酸与三聚氰胺在不同配比下制得的样品在 $2\theta = 13.05^\circ$ 和 27.3° 处均有一个明显的衍射峰, 与单独使用三聚氰胺为反应单体制备得到的MACN一致, 分别对应于g-C₃N₄的(100)和

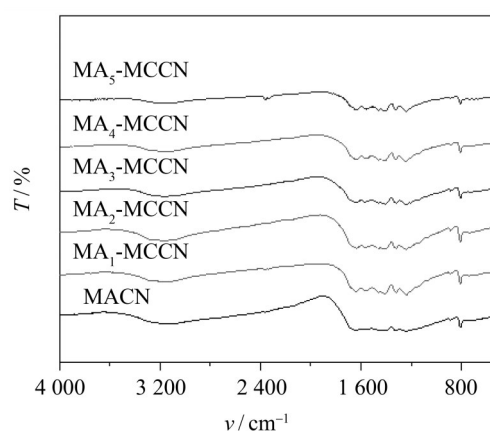
图3 MA_x-MCCN系列样品的X射线衍射图(XRD)Fig. 3 XRD patterns of MA_x-MCCN samples

(002)晶面特征峰,为面内七嗪环的重复单元峰和共轭芳香环的层间堆积峰^[26]。而单独使用三聚氰酸为反应单体,在相同条件下,则合成不出样品(无产物生成)。表明三聚氰酸在三聚氰胺的共同作用下,可以成功制备出具有相同层状结构的氮化碳。随着三聚氰酸与三聚氰胺的配比从1:1提高至1:5,(100)和(002)晶面的衍射峰强度均逐渐增加,可见聚合物随着配比的增大,面内七嗪结构单元排列的有序性和层间堆积的紧实程度逐渐提高,由此,样品在光激发下的荧光强度也将增大。

2.1.2 红外(FTIR)表征 图4为MA_x-MCCN系列样品的FTIR谱图。与传统MACN相比,样品的化学键特征吸收与其一致,说明本合成方法制得的MA_x-MCCN仍然是以七嗪环为基本结构单元。其中,1 200~1 600 cm⁻¹间吸收带主要由七嗪环结构中的C—N和C=N伸缩振动引起的,而指纹区810 cm⁻¹吸收则对应七嗪环的呼吸振动。在3 180 cm⁻¹处的宽吸收峰主要由催化剂表面吸附的H₂O分子及热聚合不完全残留的胺基导致。结合XRD测试结果,通过本文的方法,可以成功合成出CN样品。

2.1.3 荧光表征 通过荧光测试对样品的光学性质进行考察。将合成好的不同配比的氮化碳粉末进行荧光光谱的测试,并以此选取荧光强度最佳的样品在紫外灯连续照射下进行荧光淬灭实验。

如图5(a),在385 nm光激发下,所制备MA_x-MCCN样品的发射波长为460 nm,显蓝紫色荧光。与传统方法制备的氮化碳MACN样品相比,在相同激发波长下,该发射峰的位置呈现出一定的蓝移(MACN的发射峰位置为475 nm),且除了MA₄-MCCN样品外,随着三聚氰酸与三聚氰胺配比逐渐增大,峰的位置逐渐红移。与此同时,随

图4 MA_x-MCCN系列样品的红外谱图(FTIR)Fig. 4 FTIR spectra of MA_x-MCCN samples

着配比的提高,荧光强度逐渐增大,当配比达到1:5时,聚合物的荧光强度达到最大值。产生这一结果的原因可能为MA₅-MCCN面内七嗪结构排列的有序性提高,层状堆积程度提高,晶体缺陷减少有关,进而样品在光激发后产生的光生载流子复合率提高,荧光强度随之提高^[27-28]。

因此,采用识别指纹时使用的365 nm光源,对荧光强度最强的MA₅-MCCN样品,连续照射6 h,考察其在连续光照下的荧光淬灭情况,结果如图5(b)所示。三聚氰酸与三聚氰胺的配比为1:5的样品在连续照射180 min内,荧光强度稳定,基本无淬灭现象发生,但在照射180 min后,强度开始出现降低。这是由于在紫外光照射下,反复经历多次激发、发射过程后,造成分子内部结构发生不可逆的变化,不能吸收更多的光子而进一步发射荧光,同时,激发态分子也会与其他分子相互作用、引起碰撞,进而导致荧光淬灭。对比文献可知,大部分荧光材料荧光淬灭现象较为严重,张宇恒课题组所制备的荧光材料在120 min时荧光已大幅度下降,而本文所制备的MA₅-MCCN样品荧光在180 min内照射仍旧比较稳定,在180 min后降低幅度在10%以内,且在后文的指纹显影过程中,对显影的效果影响并不大,这将有利于刑侦工作中粉末样品的保存与使用^[29]。光激发下产生的光生载流子容易在缺陷位置分离,本文中MA₅-MCCN样品面内排列有序性更高,层间堆积更紧致,聚合度更高,缺陷相对较少。因此荧光稳定性相对于其他材料更好。

2.1.4 热重表征 使用同步热分析法考察MA₅-MCCN样品的热稳定情况,图6为MA₅-MCCN样品的热重分析图。从图6中可以看出,随着温度的

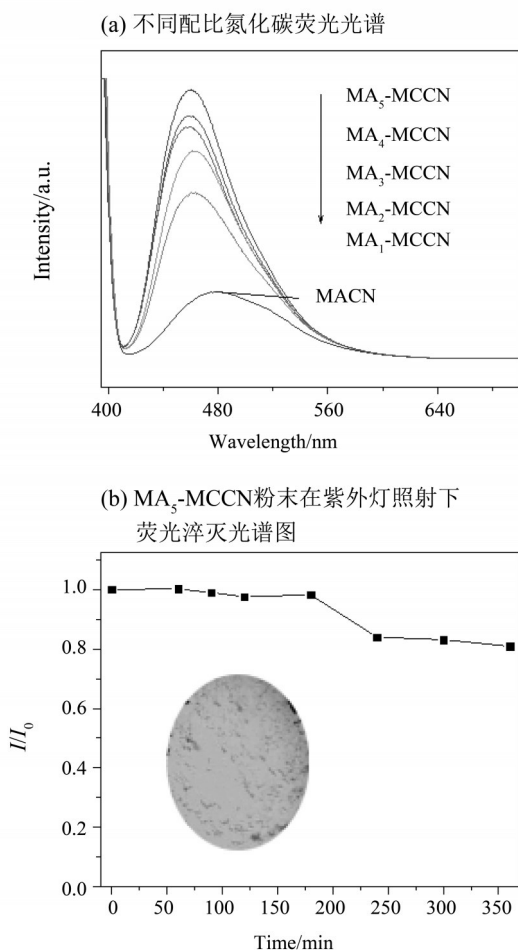


图 5 MA_x-MCCN 系列样品的光学性质表征
Fig. 5 The optical property of MA_x-MCCN samples

逐渐升高, 达到 100 °C 时, 样品的质量略有降低, 这为聚合物表面吸附的水和 CO₂ 等物质受热后脱除所致。当温度升高至 555 °C 时, 样品的质量急剧降低, 直至温度达到 750 °C 时, 样品基本分解殆尽。MA₅-MCCN 作为一种只含 C、N 元素的聚合物半导体, 会随着外界温度的升高而逐渐分解。测试结果表明, MA₅-MCCN 样品的热分解温度为 555 °C,

热稳定性良好, 为其在指纹显影过程中的存储和使用环境提供了保障。

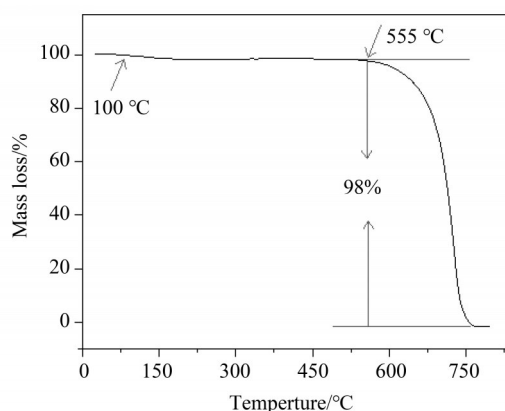


图 6 MA₅-MCCN 样品的热重图谱
Fig. 6 Thermogravimetry analysis of MA₅-MCCN samples

2.2 指纹显影应用

2.2.1 系列样品显影效果的筛选

1) 黑暗条件下。首先考察样品在暗室条件下、以玻璃为客体的显影效果。将在不同配比下合成出来的材料在同等条件下(包括实验时间、实验设备以及实验拍摄距离等), 在 365 nm 紫外灯照射下按照本文 1.2 节的指纹显影步骤进行指纹显影, 对三聚氰酸与三聚氰胺的不同配比下合成出来的材料进行筛选。由图 7 可以看出, 三聚氰酸与三聚氰胺样品配比从 1:1 增大至 1:4, 显影效果均一般, 仅能呈现出部分清晰的乳突线和细节特征, 少数区域指纹仍旧比较模糊, 细节特征不清晰, 不适用于刑侦指纹运用。而配比为 1:5 的 MA₅-MCCN 显影效果明显较好, 荧光强度较强, 与荧光光谱图数据一致, 指纹轮廓较为清晰, 乳突线连贯且明显, 在暗室下背景反差大, 细节特征容易辨识。

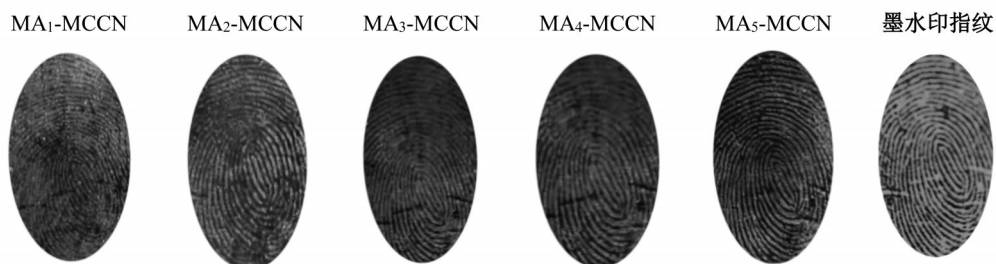


图 7 MA_x-MCCN 系列样品粉末于黑暗条件下在 365 nm 紫外灯照射下的显影效果图与黑色墨水印板印染指纹对比图
Fig.7 The developing effect picture of MA_x-MCCN series sample powder in dark under 365 nm ultraviolet lamp irradiation and the comparison picture of printing and dyeing fingerprint of black ink printing plate

为了更好地对 MA₅-MCCN 粉末的指纹显影效果以及指纹细节进行呈现和说明,我们将 MA₅-MCCN 的指纹荧光图像放大后,与预先印在纸上的黑色指纹进行对比。

图 8(a)为 MA₅-MCCN 样品在暗室下的荧光指纹图,图中标记的 1、2、3、4 为指纹的 4 处细节特征。图 8(b)为预先用指纹专用墨水将指纹印在纸上所呈现出的黑色指纹。对比图 8(a)和图 8(b)可知,MA₅-MCCN 荧光指纹细节与黑色指纹匹配度较高,即使是细节特征也可以清晰显现,乳突线清晰且流畅,背景反差大,纹路也较为清晰。由此表明,在暗室条件下,MA₅-MCCN 粉末可以作为优异的荧光指示剂对指纹进行显影识别。

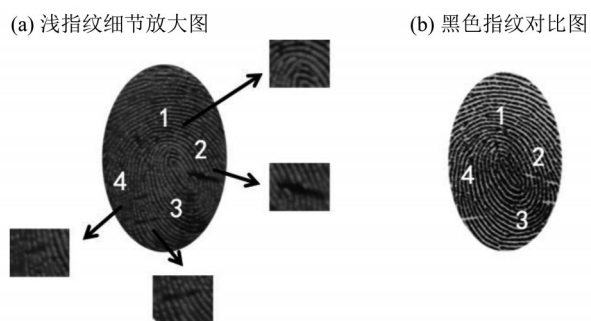


图 8 黑暗条件下 MA₅-MCCN 样品在 365 nm 紫外灯照射下在玻璃表面产生的浅指纹细节放大图 (a)与指纹专用黑色墨水印板印在纸上的黑色指纹对比图 (b)

Fig. 8 The magnified view of the light fingerprint details of the MA₅-MCCN sample on the glass surface under the 365 nm UV lamp in dark (a) and the black fingerprint printed on the paper with the special black ink printing plate for fingerprints (b)

2) 自然光条件下。MA_x-MCCN 系列样品在自然光条件下的显影效果见图 9。由图 9 可见,前 4 组样品只可提取到依稀可见、零散且模糊的指纹轮廓,细节不清晰,显影与背景反差不大,对指纹几乎无法有效显影,无应用于指纹识别的意义。

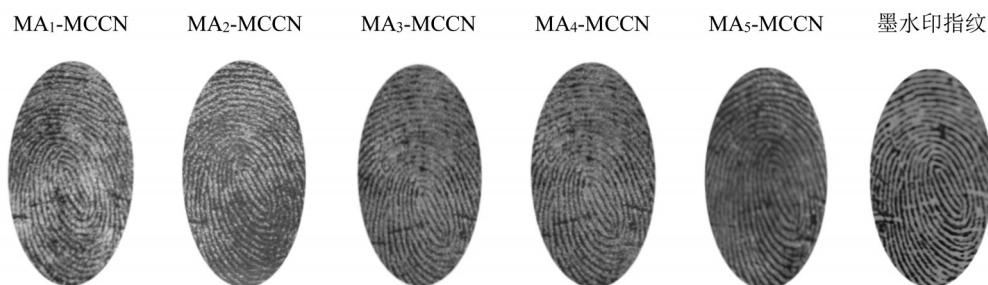


图 9 MA_x-MCCN 系列样品粉末于自然光条件下在 365 nm 紫外灯照射下的显影效果图与黑色墨水印板印染指纹对比图
Fig.9 The development effect of MA_x-MCCN samples in natural light under 365 nm ultraviolet lamp irradiation and the comparison of the fingerprints of black ink printing plate printing and dyeing

MA₅-MCCN 显影的指纹轮廓清晰,在对其成像细节放大后,如图 10 所示,MA₅-MCCN 样品细节特征突出,可以清晰地看见细节特征与乳突线等特征,背景反差较暗室下荧光显影差距不大,且与黑色墨水印板印染指纹对比指纹特征匹配度较高,说明样品粉末显影真实度较高。这一结果与暗室条件下得出的结论一致,也进一步证明了 MA₅-MCCN 样品优异的荧光性能。这使得刑侦工作中指纹的显影与识别在日光条件下也可进行,对实际刑侦工作具有重要意义。

2.2.2 长时间照射下成像效果考察 结合前面的测试结果,选择 MA₅-MCCN 样品,对其在不同条件下的显影效果进行进一步的分析。

首先,对 MA₅-MCCN 样品粉末连续照射一段时间后,考察不同时间段的成像效果。取适量的样品粉末,尽可能大面积地摊开,在紫外灯的连续照射下,分别取在 365 nm 紫外灯照射 60、120、180、240、300 以及 360 min 后的粉末进行荧光显影识别实验,结果见图 11。由图 11 可知,在照射 240 min 内,指纹显影效果基本无变化,但在照射 240 min 后,MA₅-MCCN 样品的指纹显影的细节特征相较未长时间照射时对比度略有降低,这可能与其在长时间照射后荧光强度呈现出降低的趋势有关,与前文荧光淬灭实验结果基本一致。

2.2.3 不同留存时间的指纹显影效果 为更贴近刑侦案件真实性,我们制作了不同留存时间的指纹玻璃片样本,分别为距离实验 0、3、5、10、12、15 和 20 d,采用本文 1.2 节的方法,使用 MA₅-MCCN 粉末在对不同留存时间的指纹进行指纹提取效果的实验,结果如图 12 所示。对比不同样本显影效果,可观察到样品粉末对于长时间留存的指纹也能发挥较好的指纹显影效果,说明样品粉末应用广泛,可运用于不同留存时间的指纹,

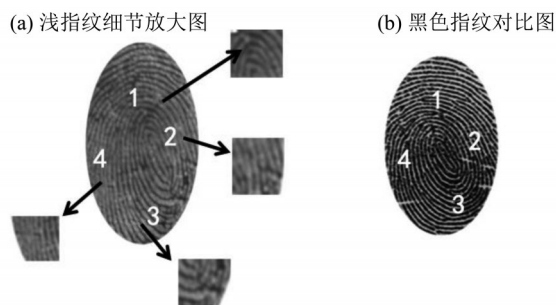


图10 日光下 MA_5 -MCCN样品在365 nm紫外灯照射下在玻璃表面产生的浅指纹细节放大图(a)与指纹专用黑色墨水印板印在纸上的黑色指纹对比图(b)

Fig. 10 The magnified view of the light fingerprint details of the MA_5 -MCCN sample on the glass surface under the 365 nm UV lamp in natural light (a) and the black fingerprint printed on the paper with the special black ink printing plate for fingerprints (b)

为刑侦工作带来极大的便利。

2.2.4 不同载体荧光效果 真实案件中, 指纹的存在之处繁而复杂, 想要找到完整的可进行人身鉴定的指纹较为困难, 随着社会的发展, 犯罪嫌疑人的作案手段逐渐复杂, 嫌疑人通常会将案

发现场的指纹抹去, 但仍然存在肉眼无法识别出的潜指纹, 为模拟真实的案发现场可能存在指纹的载体, 本文将 MA_5 -MCCN粉末用于日常生活用品以及常见刑侦事件指纹留存载体的指纹显影识别, 按照1.2节的指纹显影步骤, 观察比较粉末用于不同类型、不同颜色背景载体的显影效果, 旨在该材料可以在刑侦识别领域发挥其最优作用。

针对以上, 本文分别选用了玻璃、不锈钢、绿皮书本、黑皮书本、可乐瓶、笔记本电脑、鼠标、罐装牛奶金属瓶、计算器外壳、充电器、培养皿、塑料盒等日常生活中常见的物品作为模拟载体, 采用1.2节的指纹显影步骤对其进行指纹显影。

由图13可知, 受不同客体材质和背景颜色的影响, 客体上指纹显现的颜色会有所差异, 但细节特征均较为明显, 轮廓较为清晰, 乳突线易辨识, 可得到较为完善的指纹鉴定信息, 可见 MA_5 -MCCN荧光剂可以对日常生活中的大多数载体上的指纹进行有效成像, 可以广泛应用于刑侦指纹识别工作中。

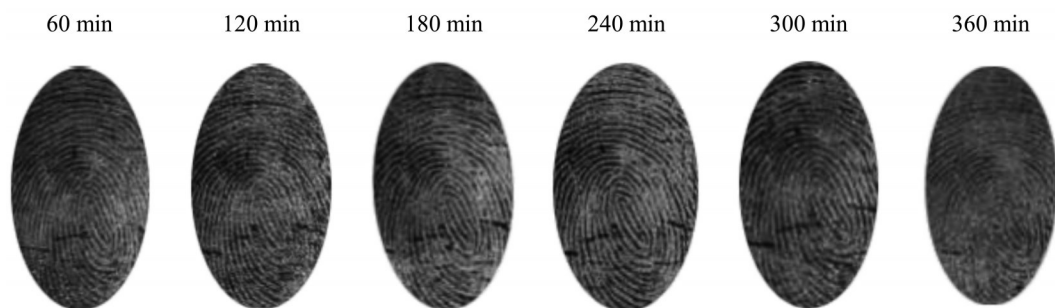


图11 在365 nm紫外灯照射不同时间后的 MA_5 -MCCN样品粉末进行指纹显影效果图

Fig. 11 The effect of fingerprint development of MA_5 -MCCN samples after irradiation with 365 nm UV lamp for different time



图12 MA_5 -MCCN粉末用于自然条件下留存不同时间的指纹显影效果图

Fig. 12 The fingerprint development effect of MA_5 -MCCN powder for different time remained under natural conditions

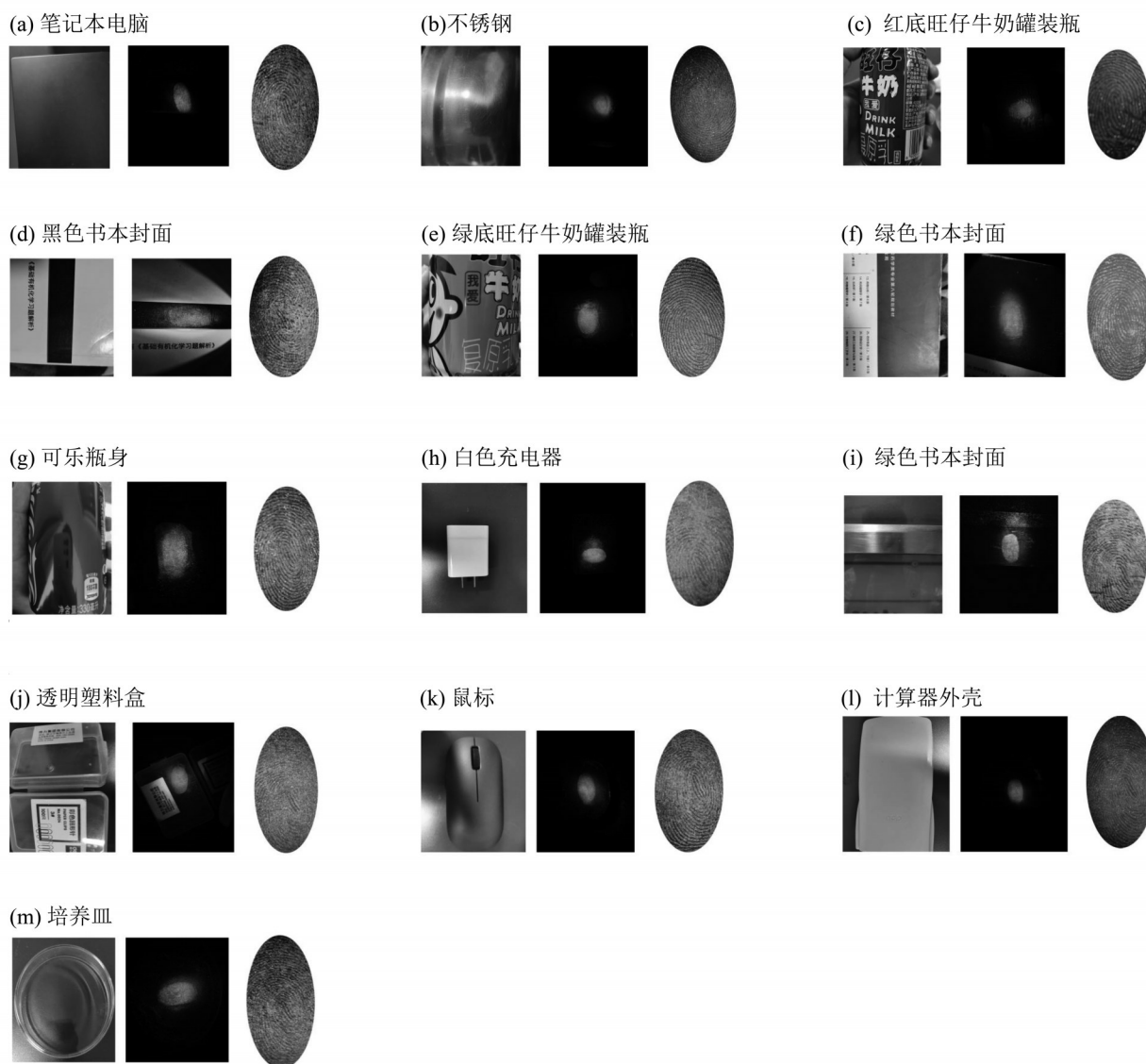


图 13 MA_5 -MCCN 粉末用于日常生活用品以及常见刑侦事件指纹留存载客体的指纹显影效果图

Fig. 13 The fingerprint development effect of MA_5 -MCCN powder used in daily necessities and common criminal investigation incidents

3 结论

本文通过调控三聚氰酸与三聚氰胺的配比, 得到一系列荧光强度更强的氮化碳纳米荧光材料, 并通过粉末喷洒法, 用于指纹的显影识别, 着重对其在不同条件下的成像效果进行了考察, 以期为刑侦工作中不同环境下纳米荧光剂的选择提供更多的参考和指导。与传统氮化碳相比, 本文所合成材料层状结构更完整, 热稳定性更佳, 荧光发光性质也更稳定。通过荧光测试结果和不同条件下指纹显影效果对比, 最终确定三聚氰酸与三聚氰胺的配比为 1:5 所合成出来的材料成像效果最

佳, 与指纹专用黑色墨水印板印在纸上的黑色指纹一致, 且在自然光下也可以捕捉到清晰的指纹显影图。针对刑侦事件的特殊性, 本文还选取了大量日常生活中常见的载客体来模拟刑侦案件中指纹的留存体, 并模拟样品粉末对留存不同天数的指纹进行显影效果考察, 证明本文制备的纳米荧光显影材料可以实现对案发现场不同载客体和留存时间的潜指纹进行有效识别和提取, 解决了普通指纹提取粉末荧光不稳定、提取效果差、提取过程艰难的问题。且结合 CN 样品材料具有绿色无污染、原料便宜易得、合成简单等特性, 表明该材料可以大规模生产并推广显影方面的应用。

参考文献:

- [1] 王宏志,朱凤桂. 指纹痕迹检验技术在公安侦查破案中的应用[J]. 科学技术创新,2019(7):120-121.
- [2] 周静丹. 荧光探针在显影潜指纹方面的应用[D]. 无锡:江南大学,2017.
- [3] DRAPPEL V, BECUE A, CHAMPOD C, et al. Identification of promising antigenic components in latent fingerprint residues[J]. Forensic Science International, 2009, 184(1/2/3):47-53.
- [4] HAZARIKA P, JICKELLS S M, WOLFF K, et al. Imaging of latent fingerprints through the detection of drugs and metabolites[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2008, 47(52):10167-10170.
- [5] WORLEY C G, WILTSHIRE S S, MILLER T C, et al. Detection of visible and latent fingerprints using micro-x-ray fluorescence elemental imaging [J]. Journal of Forensic Sciences, 2006, 51(1):57-63.
- [6] 崔小虎. 荧光纳米材料的合成及其在潜在指纹显现中的应用研究[D]. 兰州:甘肃政法大学,2021.
- [7] 王仲来,张露露,张静静,等. 金纳米粒子在潜指纹显现中的应用[J]. 刑事技术,2020,45(3):289-294.
- [8] 赵科,赵韬. 粉末法在指纹显现中的运用[J]. 湖南公安高等专科学校学报,2008(1):94-98.
- [9] 霍宇飞. 量子点的表面修饰与指纹检测应用[D]. 临汾:陕西师范大学,2010.
- [10] THOMAS G L. The physics of fingerprints and their detection[J]. Journal of Physics E: Scientific Instruments, 1978, 11(8):722.
- [11] WILTSHIRE B. Advances in fingerprint detection[J]. Endeavour, 1996, 20(1):12-15.
- [12] 高杨晨,王猛,张晓梅,等. 量子点荧光纳米材料的化学合成及其在潜手印显现中的应用[J]. 合成材料老化与应用,2013,42(2):40-46.
- [13] 赵莹莹. 新型纳米材料显现潜指纹的研究进展[J]. 云南化工,2020,47(10):9-14.
- [14] MENZEL E R, SAVOY S M, ULVICK S J, et al. Photoluminescent semiconductor nanocrystals for fingerprint detection[J]. Journal of Forensic Science, 2000, 45(3):545-551.
- [15] 王珂,杨瑞琴,夏彬彬,等. 掺杂 Cd 的水溶性荧光 ZnSe/MPA 量子点显现胶带手印方法[J]. 中国司法鉴定,2011(3):36-39.
- [16] 辛娟. 稀土复合纳米荧光粒子的合成及其在指纹显现中的应用[D]. 北京:北京化工大学,2010.
- [17] PARK J Y, JANG K W, YANG H K. Development of red-emitting Ba₂LaSbO₆: Mn⁴⁺ phosphors for latent fingerprint detection [J]. Ceramics International, 2021, 47(14): 19496-19504.
- [18] SURI G S, AL-SUWAIDI M. Synthesis testing and on-field of novel low-cost latent fingerprint development powders [J]. Journal of Forensic Research, 2021, 12(6):1-9.
- [19] 李白玉. 稀土上转换荧光纳米棒在血潜指纹显现中的应用研究[D]. 长春:东北师范大学,2017.
- [20] 鞠伟. 碳基荧光纳米材料的合成及应用[D]. 郑州:郑州大学,2016.
- [21] 王俊. 荧光氮化碳量子点在离子检测、生物成像和指纹显影中的应用研究[D]. 扬州:扬州大学,2019.
- [22] SONG Z, LI Z, LIN L, et al. Phenyl-doped graphitic carbon nitride: Photoluminescence mechanism and latent fingerprint imaging [J]. Nanoscale, 2017, 9(45):17737-17742.
- [23] WANG Y, WANG X, ANTONIETTI M. Polymeric graphitic carbon nitride as a heterogeneous organocatalyst: From photochemistry to multipurpose catalysis to sustainable chemistry [J]. Angewandte Chemie International Edition, 2012, 51(1):68-89.
- [24] THOMAS A, FISCHER A, GOETTMANN F, et al. Graphitic carbon nitride materials: Variation of structure and morphology and their use as metal-free catalysts [J]. Journal of Materials Chemistry, 2008, 18(41):4893-4908.
- [25] ZHENG Y, LIU J, LIANG J, et al. Graphitic carbon nitride materials: Controllable synthesis and applications in fuel cells and photocatalysis [J]. Energy & Environmental Science, 2012, 5(5):6717-6731.
- [26] MAEDA K, WANG X, NISHIHARA Y, et al. Photocatalytic activities of graphitic carbon nitride powder for water reduction and oxidation under visible light [J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2009, 113(12):4940-4947.
- [27] YANG S, GONG Y, ZHANG J, et al. Exfoliated graphitic carbon nitride nanosheets as efficient catalysts for hydrogen evolution under visible light [J]. Advanced Materials, 2013, 25(17):2452-2456.
- [28] CHEN Y, WANG B, LIN S, et al. Activation of n→π* transitions in two-dimensional conjugated polymers for visible light photocatalysis [J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2014, 118(51): 29981-29989.
- [29] 张宇恒,李永琪,杨照宇,等. 微波辅助法快速制备荧光碳点并用于指纹识别[J]. 广东化工,2019,46(11):19-22+24.