



无机纳米发光材料研究展望：如何走出自己的舒适区？

陈学元，涂大涛，郑伟

引用本文：

陈学元, 涂大涛, 郑伟. 无机纳米发光材料研究展望:如何走出自己的舒适区?[J]. *发光学报*, 2020, 41(5): 498–501.

CHEN Xue-yuan, TU Da-tao, ZHENG Wei. Perspectives for Researchers in Inorganic Luminescent Nanomaterials:How to Move Out of Current Comfort Zones?[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2020, 41(5): 498–501.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/fgxb20204105.0498>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于稀土上转换纳米荧光探针的肿瘤标志物体外检测

Lanthanide-doped Upconversion Nano-bioprobes for In-vitro Detection of Tumor Markers

发光学报. 2018, 39(1): 27–49 <https://doi.org/10.3788/fgxb20183901.0027>

稀土上转换荧光材料的发光性质调变及其应用

Luminescence Modification and Application of The Lanthanide Upconversion Fluorescence Materials

发光学报. 2018, 39(1): 92–106 <https://doi.org/10.3788/fgxb20183901.0092>

用于医学磁共振影像的稀土上转换发光纳米材料

Rare-earth Upconversion Nanomaterials for Medical Magnetic Resonance Imaging

发光学报. 2018, 39(1): 69–91 <https://doi.org/10.3788/fgxb20183901.0069>

稀土离子上转换发光中的局域电磁场调控

Manipulation of Local Electromagnetic Field in Upconversion Luminescence of Rare Earth Ions

发光学报. 2018, 39(1): 1–26 <https://doi.org/10.3788/fgxb20183901.0001>

GaN纳米柱发光特性

Luminescence Property of GaN Nanorod

发光学报. 2015(3): 279–282 <https://doi.org/10.3788/fgxb20153603.0279>

文章编号: 1000-7032(2020)05-0498-04

无机纳米发光材料研究展望:如何走出自己的舒适区?

陈学元^{1,2*}, 涂大涛^{1,2}, 郑 伟^{1,2}

- (1. 中国科学院 福建物质结构研究所, 中国科学院功能纳米结构设计与组装重点实验室, 福建省纳米材料重点实验室, 福建 福州 350002;
2. 中国福建光电信息科学与技术创新实验室(闽都创新实验室), 福建 福州 350108)

摘要: 无机纳米发光材料由于其独特的发光性质,具有广泛的应用前景。本文结合作者的科研经历,展望了无机纳米发光材料未来的发展机遇和挑战,聚焦该领域前沿“痛点”和“冷门”,探讨研究工作如何面向国家重大需求。倡议科学家应走出自己的研究舒适区,树立自己的标签性工作,共同推进无机纳米发光材料研究的可持续发展。

关键词: 发光材料; 纳米材料; 稀土; 光致发光; 纳米生物标记

中图分类号: O482.31 文献标识码: A DOI: 10.3788/fjxb20204105.0498

Perspectives for Researchers in Inorganic Luminescent Nanomaterials: How to Move Out of Current Comfort Zones?

CHEN Xue-yuan^{1,2*}, TU Da-tao^{1,2}, ZHENG Wei^{1,2}

- (1. CAS Key Laboratory of Design and Assembly of Functional Nanostructures, Fujian Key Laboratory of Nanomaterials, Fujian Institute of Research on The Structure of Matter, Chinese Academy of Sciences, Fuzhou 350002, China;
2. Fujian Science & Technology Innovation Laboratory for Optoelectronic Information of China, Fuzhou 350108, China.)

* Corresponding Author, E-mail: xchen@fjirsm.ac.cn

Abstract: Inorganic luminescent nanomaterials have shown great promise in various fields due to their unique optical properties. Base on the authors' research experience, we herein offer our perspectives for researchers in inorganic luminescent nanomaterials, including focusing on the frontiers of so-called “pain points” and “unpopular topics” of this field, and facing the national major demands. We encourage researchers in this field to move out of their own comfort zones and devote themselves to the distinctive areas, in an effort to promote the sustainable development of inorganic luminescent nanomaterials.

Key words: luminescent materials; nanomaterial; rare earths; photoluminescence; nano-bioprobe

1 引 言

无机纳米发光材料包括稀土纳米晶、金属纳米晶、半导体量子点/纳米晶、金属有机框架化合

物和金属配合物纳米复合材料等。由于具有高光化学稳定性、长荧光寿命或可调谐激发/发射波长等优势,无机纳米发光材料在激光、光通讯、平板显示、荧光生物标记和纳米光电子器件等领域具

收稿日期: 2020-04-10; 修订日期: 2020-04-20

基金项目: 中国科学院创新国际团队项目; 国家自然科学基金(U1805252)资助项目

Supported by The CAS/SAFEA International Partnership Program for Creative Research Teams; National Natural Science Foundation of China(U1805252)

有广泛的应用前景^[1]。近年来,虽然国内外科学家已在无机纳米发光材料的控制合成、发光性能调控、表面修饰和应用等方面都取得了可喜的进步^[2-4],但还有很多问题亟待解决,例如,跟风式地追逐前沿热点,同质化研究非常普遍,特别是上转换发光材料和钙钛矿量子点/纳米晶等领域非常明显。关于纳米发光材料未来的发展方向,我们认为应该面向国际前沿,面向国家重大需求,面向发光领域的“痛点”和“冷门”,尤其是要立足于“顶天立地”的工作。

2 研究工作要“顶天”:聚焦前沿“痛点”和“冷门”

与体相材料相比,纳米材料由于表面效应、小尺寸效应和量子限域效应导致许多新颖的发光性能。具体而言,当材料尺度小至纳米维度时,其物理性质可发生显著改变,导致荧光寿命与量子产率改变、反常发射峰出现、谱线宽化以及能级(或能带)位移等。众所周知,材料的结构决定性能。无机纳米材料的光学性能主要取决于其局域电子结构和激发态动力学。近年来,研究人员观察到了局域对称性的改变对其发光强度和激发态荧光寿命的重要影响。例如,通过金属离子的掺杂改变材料的物相或晶胞参数进而调控材料的局域晶体场环境,是提高材料发光效率的有效途径之一^[5]。值得注意的是,虽然人们开发出了各种方法合成无机纳米发光材料,但对其电子结构与发光性能之间相关性的基础研究还较缺乏,国内外仅极少数课题组能持续性投入研究;一些关键问题如稀土离子的局域位置对称性、晶体场强度、激发态的辐射跃迁几率、多声子无辐射跃迁几率等影响材料发光的重要光谱参数变化规律等还有待阐明,对这些问题的认识不明确导致人们在进行材料的发光性能优化时缺乏针对性^[6-7]。例如,目前报道的稀土上转换纳米材料的绝对量子产率均低于10%,远低于其理论值,人们大多只能通过“炒菜式”的组分和合成条件改变来逐步调控,难以达到最理想的效果^[8]。因此,无论是从光谱基础理论还是实际应用角度,对纳米发光材料的基础电子结构和激发态动力学进行系统研究都具有十分重要的意义,有助于我们更有针对性地调控并设计光学性能更优异、更新颖的材料。

此外,正如诺贝尔奖得主 Richard Feynman 所

说“*There's plenty of room at the bottom*”,随着纳米科技和表征技术的巨大进步,使得纳米尺度单颗粒的光学研究成为可能。一般来说,即使是同一批次合成出的纳米材料,每个颗粒在大小、形貌、组成和表面性质方面都不尽相同,这些是与材料学、物理学和界面化学等相关的基础研究核心问题,对于材料的可重复性、性能优化和应用至关重要。电子显微镜可以观察单个纳米颗粒的结构与形貌特征,但它几乎无法分析其光学性质;常规的荧光光谱测试只能研究纳米颗粒聚集体的平均光学特性,例如整体荧光谱峰的强弱、展宽和荧光衰减的快慢等。单颗粒光谱法是一种近年来快速发展的技术,能够识别单个颗粒的各个特征,从而提供有关不同颗粒异质性的直接信息^[9-10]。通过测量单个颗粒的光学特性,可以分析特定尺寸、形状、电荷、表面性质和局部环境的影响。虽然材料合成方法的进步提高了新型纳米颗粒的质量及其光学性质的均一性,但是我们越追求纳米颗粒设计的完美,面临的挑战就越大。随着材料体系的日益复杂和表征技术的不断完善,发光纳米材料的未来进展将建立在材料科学、光学成像和光谱学的跨学科整合之上,超越衍射极限,实现更精细的光谱分析和发光调控。

3 研究工作要“立地”:面向国家重大需求

21世纪是生物的世纪,随着生活水平的提高,人们对自身的健康日益关注。今年初突发的新型冠状病毒肺炎现在已肆虐世界各地,成为全球性公共卫生危机。由于疾病发生过程中会代谢产生某些特定物质如激素、酶以及抗原等,通过发展高灵敏度的发光纳米探针技术,对这些重大疾病标志物进行即时检测和分析,可以对高危人群进行快速筛查,也有利于及早介入治疗并对其效果和预后进行监控。无机纳米探针是目前普遍看好的新一代荧光生物标记材料,有望替代分子探针在重大疾病和突发传染病的早期诊疗和靶向示踪等生物医学领域发挥重要作用^[11]。作为新型生物探针,无机纳米发光材料应满足尺寸形貌可控、发光强、水溶性好、易于生物连接等要求。与传统有机染料等分子荧光探针相比,时间分辨/上转换荧光纳米探针在重要疾病标志物体外检测方面的实用化研究国际上尚处于起步阶段即“婴儿

期”,国内外仅少数研究组投入长期研究^[12-15]。究其原因,该领域对纳米发光材料科学家而言,需要充分介入生物医学前沿,跨度较大,走出他们的“舒适区”有些难度和压力,而且往往是迈入交叉领域的前几年可能都出不了好文章,需要耐得住寂寞,敢于坐冷板凳。

特别地,稀土是我国的战略资源,实现稀土资源的高值利用一直是我国稀土产业长期发展的战略目标。目前,国内稀土发光材料的应用开发绝大部分仅限于照明和显示领域,与此形成鲜明反差的是绝大多数稀土生物标记试剂都依赖进口。基于稀土时间分辨和上转换发光的独特技术优势,新一代纳米生物标记材料的一个最有前途的应用出口在于作为检测试剂用于疾病的体外检测和体内示踪^[16]。由于涉及材料合成、光物理、生物偶联和体外检测等新设计、新方法和新工艺,许多关键技术难题亟待解决。例如,发展通用的稀土纳米探针表面修饰和生物偶联策略,提高临床样本重大疾病和突发传染病的标志物检测灵敏度

和特异性,以及建立基于时间分辨/上转换荧光探针的异相/均相体外检测和靶向生物成像的国际标准等。此外,通过对纳米颗粒进行表面和结构设计,可以负载高效的药物分子,同时结合材料的光热和光动力治疗特性,实现诊疗一体化的靶向纳米探针的构建,充分发挥无机纳米发光材料在生物医学领域的应用潜力^[17-18]。

4 展 望

综上,科学研究不仅要满足科学家的好奇心即“把钱变成纸”,还要面向国家重大需求和“卡脖子”的痛点力求实现自己的论文成果可实用即“把纸变成钱”,二者缺一不可。只有敢于啃硬骨头,敢于坐冷板凳,敢于走出我们每个人在自己所擅长领域的舒适区,把研究工作做细、做扎实,勇于与其他学科进行交叉融合,才能拓展研究的深度和维度,树立自己的标签性工作,从而不断推进无机纳米发光材料的研究可持续发展。个人当见,抛砖引玉,与青年发光学者共勉。

参 考 文 献:

- [1] HUANG P, ZHENG W, GONG Z L, *et al.* . Rare earth ion-and transition metal ion-doped inorganic luminescent nanocrystals: from fundamentals to biodetection [J]. *Mater. Today Nano*, 2019, 5: 100031.
- [2] WANG F, LIU X G. Recent advances in the chemistry of lanthanide-doped upconversion nanocrystals [J]. *Chem. Soc. Rev.*, 2009, 38(4): 976-989.
- [3] BORISOV S M, WOLFBEIS O S. Optical biosensors [J]. *Chem. Rev.*, 2008, 108(2): 423-461.
- [4] ZHONG Y T, MA Z R, WANG F F, *et al.* . *In vivo* molecular imaging for immunotherapy using ultra-bright near-infrared-IIb rare-earth nanoparticles [J]. *Nat. Biotechnol.*, 2019, 37(11): 1322-1331.
- [5] TU D T, ZHENG W, HUANG P, *et al.* . Europium-activated luminescent nanoprobes: from fundamentals to bioapplications [J]. *Coord. Chem. Rev.*, 2019, 378: 104-120.
- [6] 郑伟, 涂大涛, 刘永升, 等. 稀土无机发光材料: 电子结构、光学性能和生物应用 [J]. *中国科学: 化学*, 2014, 44(2): 168-179.
ZHENG W, TU D T, LIU Y S, *et al.* . Lanthanide-doped luminescent materials: electronic structures, optical properties, and bioapplications [J]. *Sci. China Chem.*, 2014, 44(2): 168-179. (in Chinese)
- [7] TANNER P A, ZHOU L, DUAN C K, *et al.* . Misconceptions in electronic energy transfer: bridging the gap between chemistry and physics [J]. *Chem. Soc. Rev.*, 2018, 47(14): 5234-5265.
- [8] ZHENG W, HUANG P, TU D T, *et al.* . Lanthanide-doped upconversion nano-bioprobes: electronic structures, optical properties, and biodetection [J]. *Chem. Soc. Rev.*, 2015, 44(6): 1379-1415.
- [9] ZHOU J, CHIZHIK A I, CHU S, *et al.* . Single-particle spectroscopy for functional nanomaterials [J]. *Nature*, 2020, 579(7797): 41-50.
- [10] PARK Y S, MALKO A V, VELA J, *et al.* . Near-unity quantum yields of biexciton emission from CdSe/CdS nanocrystals measured using single-particle spectroscopy [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 2011, 106(18): 4.
- [11] ZHENG W, ZHOU S Y, XU J, *et al.* . Ultrasensitive luminescent *in vitro* detection for tumor markers based on inorganic lanthanide nano-bioprobes [J]. *Adv. Sci.*, 2016, 3(11): 13.

- [12] ZHANG F, SHI Q H, ZHANG Y C, *et al.*. Fluorescence upconversion microbarcodes for multiplexed biological detection: nucleic acid encoding [J]. *Adv. Mater.*, 2011, 23(33):3775-3779.
- [13] ZHOU J, LIU Q, FENG W, *et al.*. Upconversion luminescent materials: advances and applications [J]. *Chem. Rev.*, 2015, 115(1):395-465.
- [14] GAI S L, LI C X, YANG P P, *et al.*. Recent progress in rare earth micro/nanocrystals: soft chemical synthesis, luminescent properties, and biomedical applications [J]. *Chem. Rev.*, 2014, 114(4):2343-2389.
- [15] LIU J N, BU W B, SHI J L. Chemical design and synthesis of functionalized probes for imaging and treating tumor hypoxia [J]. *Chem. Rev.*, 2017, 117(9):6160-6224.
- [16] DONG H, DU S R, ZHENG X Y, *et al.*. Lanthanide nanoparticles: from design toward bioimaging and therapy [J]. *Chem. Rev.*, 2015, 115(19):10725-10815.
- [17] LUCKY S S, SOO K C, ZHANG Y. Nanoparticles in photodynamic therapy [J]. *Chem. Rev.*, 2015, 115(4):1990-2042.
- [18] CHENG L, WANG C, FENG L Z, *et al.*. Functional nanomaterials for phototherapies of cancer [J]. *Chem. Rev.*, 2014, 114(21):10869-10939.



陈学元(1970-),男,福建建瓯人,博士,中国科学院福建物质结构研究所研究员。1998年于中国科学院福建物质结构研究所获得物理化学专业理学博士学位,2001—2005年在美国阿贡国家实验室从事博士后研究。2013年获得国家杰出青年科学基金(结题优秀),入选科技部中青年科技创新领军人才,国家“万人计划”科技创新领军人才,国家百千万人才工程并被授予“有突出贡献中青年专家”称号。担任 *Journal of Luminescence* 主编, *Physics Open* 常任编辑, *Nano Research*, *Science China Materials*, *Journal of Rare Earths* 等期刊编委。致力于发光材料电子结构与性能研究,近年来在无机纳米发光材料控制合成、电子结构、光学性能及应用方面取得重要进展。已在 *Nat. Photonics*, *Nat. Commun.*, *J. Am. Chem. Soc.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, *Adv. Mater.* 等刊物发表SCI论文200多篇,被引用总次数>1.3万次,入选《德国应用化学》Author Profile 人物专栏和爱思唯尔化学领域中国高被引学者榜单。系列研究成果获2018年度中国稀土科学技术奖一等奖(基础研究类),2017年度福建省自然科学奖二等奖,入选年度“中国光学重要成果”(2010年,2011年,2013年,2014年,2016年)和“中国稀土十大科技新闻”(2011年,2014年,2015年,2016年,2018年,2019年)。

E-mail: xchen@fjirsm. ac. cn



涂大涛(1982-),男,湖北武汉人,博士,副研究员。2011年于中国科学院福建物质结构研究所获得材料物理与化学专业博士学位,毕业后留所工作至今。目前主要从事无机纳米发光材料的可控合成、光电子学及其生物应用等方面的研究。已在 *Coord. Chem. Rev.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, *Chem. Sci.* 等国际知名期刊上发表50多篇SCI论文,H指数29,其中第一/通讯作者论文15篇,合著英文专著/专章2部;申请国内外发明专利29项(授权17项)。发表论文被SCI他引4000多次,3篇第一作者论文入选化学领域ESI高被引频次论文(Top 1%)。入选2013年海西研究院“春苗计划”人才专项和2014年中科院青年创新促进会会员,获得2015年中科院卢嘉锡青年人才奖,2017年福建省自然科学奖二等奖和2018年度中国稀土科学技术奖一等奖(第三完成人)。

E-mail: dttu@fjirsm. ac. cn



郑伟(1985-),男,福建福州人,博士,研究员。2012年于中国科学院福建物质结构研究所获得凝聚态物理专业博士学位,毕业后加入陈学元团队工作至今。致力于稀土无机纳米发光材料的电子结构、光学性能和应用研究。在 *Chem. Soc. Rev.*, *Nat. Commun.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, *Adv. Sci.*, *Chem. Sci.* 等期刊发表第一/通讯作者SCI论文18篇,其中封面/内封面论文6篇,ESI高被引频次论文1篇,SCI他引2800多次;申请国内外发明专利25项(授权9项)。入选2015年度海西研究院“春苗计划”人才专项和2016年度中科院青年创新促进会会员,获得2017年度福建省自然科学奖二等奖(第五完成人)和2018年度中国稀土科学技术奖基础研究类一等奖(第四完成人)。

E-mail: zhengwei@fjirsm. ac. cn