

## 中科院大连化物所“优秀青年博士人才”申请表

姓 名	杨斌	性 别	男	出生年月	1993.03	
出生地	江苏徐州	婚姻状况	未婚	政治面貌	党员	
毕业学校及专业	中国科学院大学 物理化学专业		学历/学位	博士		
工作单位及职务	中国科学院大连化学物理研究所					
联系方式						
<p><b>学习及工作经历：</b>            （从高中开始填起，内容包括时间、单位、学位、所学专业、从事专业、专业技术职务情况，时间段要连续，准确到月份，在职学习请注明）</p> <p><b>2007.09-2010.06</b> 江苏省邳州市官湖高级中学</p> <p><b>2010.09-2014.06</b> 中国石油大学（华东） 学士学位 应用物理学专业</p> <p><b>2014.09-2018.12</b> 中国科学院大连化学物理研究所 理学博士 物理化学专业</p>						

如内容较多，本栏目填不下时，可另纸接续（下同）。

## 主要学术成就、科技成果及创新点:

申请人主要从事新型光电材料及光电子器件应用中的载流子超快动力学研究,重点研究了钙钛矿微晶及纳米晶材料,揭示了其限制光电转换或发光过程的关键动力学机制,并以该机制为指导优化材料性能。近5年来申请人共发表SCI学术论文13篇,其中以第一作者发表研究论文8篇,包括 *Angew. Chem. Int. Ed.* (3篇), *J. Am. Chem. Soc.* (1篇), *Adv. Mater.* (1篇), *J. Phys. Chem. Lett.* (2篇), *ACS Appl. Mater. Interfaces* (1篇)。其中一篇 *Angew. Chem. Int. Ed.* 论文被选为“热点文章”(Hot Paper)。文章总计被他人引用150余次(Web of Science),其中包括 *JACS*, *Angew*, *Joule*, *Adv. Mater.*, *Nano Lett.*, *ACS Nano* 等权威期刊的多次正面引用。并被 *Chem. Rev.*, *Chem. Soc. Rev.*, *ACS Cent. Sci.*, *JMCA* 等期刊大篇幅综述介绍。具体研究工作如下:

### 1. 阐明钙钛矿微晶中载流子复合及扩散机制,并制备出具有超高灵敏度及快速响应时间的光电探测器。

同时具备高灵敏度和快速响应的光电探测器在信号处理、通讯、军事等不同领域中发挥重要的作用。目前对于全无机钙钛矿光电探测器而言,同时实现高灵敏度和快速响应成为一大挑战。主要原因是很难制备兼备低缺陷态密度、高载流子迁移率及高效电荷传输的光电子器件。为了解决这一难题,申请人改进了以往全无机钙钛矿单晶的结晶方法,在升温结晶的同时加入扰动来增加成核点,快速合成了具有较低缺陷态密度的  $\text{CsPbBr}_3$  微晶。研究其时间分辨荧光光谱发现其载流子存在快速扩散行为,并且载流子迁移率超过  $100 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ S}^{-1}$ ,通过构建  $\text{CsPbBr}_3$  微晶光电探测器可以实现高效的电荷传输。该微晶光电探测器展现出超高的响应度 ( $10^4 \text{ A/W}$ ),刷新了全无机钙钛矿光电探测器的最高值。此外该光电探测器具有较快响应时间 (1 ms)。该研究结果发表在 *Adv. Mater.* 2017, 29, 1703758。

在该工作的基础之上,申请人进一步采用高空间分辨 (1 微米) 光电流成像技术研究钙钛矿微晶光电探测器载流子扩散机制发现:在弱电场下,载流子输运为扩散机制 (diffusion);而在较强电场下,载流子输运为迁移机制 (drift)。研究还发现可以通过更好的控制单晶中的缺陷分布来进一步提升器件性能 (*J. Phys. Chem. Lett.* 2018, 9, 5017-5022.)。此外,申请人还研究了一种含铋 ( $\text{MA}_3\text{Sb}_2\text{I}_9$ ) 元素的钙钛矿微晶载流子动力学,发现该微晶具有较长的载流子扩散长度。利用该材料构建的微米尺度光电探测器能达到高效的电荷收集,可实现在弱光下的高灵敏 ( $40 \text{ A/W}$ ) 及快速响应 ( $<1\text{ms}$ ),表明 Sb 基钙钛矿在取代含铅钙钛矿方面具有较大优势 (*J. Phys. Chem. Lett.* 2018, 9, 3087-3092.)。

### 2. 揭示非铅钙钛矿纳米晶发光动力学机理;提出了光生载流子表面缺陷态钝化及载流子自捕获机制;并指导设计新型非铅钙钛矿纳米晶材料,提升发光效率100多倍。

钙钛矿纳米晶  $\text{CsPbX}_3$  (X: Cl, Br, I) 具有发光量子产率高、发光线宽窄、光谱易调谐等优点而受到广泛关注。其优异的发光性质使其在发光、显示等领域展现出巨大的潜在应用价值。但是人们也注意到钙钛矿纳米晶仍然存在两个致命缺点, 阻碍了其大规模产业化应用。一是最常用的钙钛矿材料中含著名毒素重金属铅, 对环境危害较大; 二是钙钛矿对水和空气极为敏感, 导致钙钛矿层在空气中容易降解。因此寻找非铅且稳定性好的钙钛矿很有必要。科研人员已经开始了一些寻找非铅钙钛矿材料的尝试, 但是目前非铅钙钛矿纳米晶发光效率远低于含铅钙钛矿材料。其中一个很重要的原因是缺乏对非铅钙钛矿中载流子动力学的深入研究。为此, 我们开发了一系列在空气中稳定的非铅钙钛矿纳米晶, 揭示其载流子动力学机理, 并指导材料改性, 将发光效率提升 100 多倍。该工作已取得系列进展, 在化学综合期刊发表论文 4 篇, 包括 *Angew. Chem. Int. Ed.* (3 篇), *J. Am. Chem. Soc.* (1 篇)。

**1) 报道了具有高稳定性的非铅全无机钙钛矿纳米晶, 揭示其表面缺陷态钝化机理, 并将其发光效率由 0.2% 提升至 4.5%。**

我们采用反溶剂结晶法合成了含 Bi 的钙钛矿 ( $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{Br}_9$ ) 纳米晶。分析其时间分辨发光光谱以及飞秒瞬态吸收光谱, 发现纳米晶的表面缺陷态对光生载流子存在超快的捕获过程 ( $<20$  ps), 缺陷态捕获载流子形成非辐射中心, 是限制其发光效率的主要原因之一。选取合适的表面活性剂 (例如油酸) 可以钝化其表面缺陷态, 进而可将发光效率提升 20 多倍 (由 0.2% 提升至 4.5%)。此外, 该材料在空气中具有较好的稳定性, 可以在湿润环境下存放超过 1 个月。这些性质表明含 Bi 钙钛矿具有很好的应用潜力。

**2) 报道了具有三维立方相钙钛矿结构的 Ag-Bi 双钙钛矿纳米晶, 载流子动力学研究表明其具有超快的热载流子冷却时间 ( $<1$ ps); 发光效率可提升至 6.7%。**

在上述  $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{Br}_9$  的基础上引入银离子 ( $\text{Ag}^+$ ), 新引入的银离子 ( $\text{Ag}^+$ ) 可以和铋 ( $\text{Bi}^{3+}$ ) 离子替换两个  $\text{Pb}^{2+}$  形成双钙钛矿结构 ( $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ )。  $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$  纳米晶维持了和  $\text{CsPbBr}_3$  相似的立方相钙钛矿结构和电子轨道排布。通过上述工作 (代表性工作 2) 提出的表面缺陷态钝化机理, 可将 Ag-Bi 双钙钛矿体系发光效率提升至 6.7%。此外, 研究还发现其热载流子的冷却时间小于 1ps, 和缺陷态捕获形成竞争机制, 表明双钙钛矿纳米晶在替代含铅钙钛矿方面具有较大优势。该研究结果以“热点文章” (Hot Paper) 的形式发表在 *Angew. Chem. Int. Ed.* 2018, 130, 5457 - 5461。

**3) 提出非铅钙钛矿纳米晶缺陷态捕获新机制: 光诱导自陷态是限制非铅钙钛矿发光效率的关键因素。**

双钙钛矿纳米晶在结构及电子轨道排布方面均和含铅钙钛矿相似, 但是其发光效率仍

然远低于含铅钙钛矿。进一步深入研究双钛矿载流子动力学弛豫机制是提升发光效率的关键。飞秒瞬态吸收光谱研究发现，双钙钛矿中存在 1-2 ps 和 50-100 ps 两种时间尺度的“亚能隙态”。该“亚能隙态”可捕获载流子并占总弛豫过程的绝大部分 (>90%)。进一步研究表明，50-100 ps 组份对应表面缺陷，而 1-2 ps 超快过程对应光诱导自陷态。该材料的电子-声子的耦合系数达到 960 meV (比含铅钙钛矿高出一个数量级)，如此强烈的电子-声子耦合效应可导致晶格形变产生极化子进而可捕获自由激子，是限制其发光效率的关键因素。相应研究成果发表在 *Angew. Chem. Int. Ed.* 2019, 58, 2278-2283。

**4) 以缺陷态捕获机制为指导设计了具有直接带隙的非铅双钙钛矿纳米晶，紫光区域发光效率可提升至 36.6%，和含铅钙钛矿相当。**

含 Bi 钙钛矿存在强烈的电子-声子耦合效应而导致自陷态的存在，是导致其发光效率低的主要原因。我们推测非铅钙钛矿间接带隙引起的声子参与的吸收与发射过程是导致强烈电荷-声子耦合 (自陷态) 的物理本质。为了验证该结论，我们通过设计混合 Ag-In/Bi 双钙钛矿纳米晶实现了由间接带隙到直接带隙的转变。当 In 含量低于 75% 时，纳米晶为间接带隙，发光较弱；而当 In 含量高于 75%，纳米晶表现出直接带隙的特性，发光量子产率显著提升 (36.6%)，该荧光量子产率和含铅钙钛矿在紫光区域相当。飞秒瞬态吸收光谱在直接带隙纳米晶并未探测到“亚能隙态”存在，表明间接带隙纳米晶具有较少的缺陷态。该结果同时得到 DFT 计算的验证。相应研究成果发表在 *J. Am. Chem. Soc.* 2018, 140, 17001 - 17006。

### 主要论著目录:

(1. 论文作者、题目、期刊名称、年份、卷期、页、总引次数、他引次数、期刊影响因子; 2. 著作: 著者、书名、出版社、年份)

目录列表最后请注明论文总引次数、他引次数、期刊影响因子的查询截止时间和查询数据库。

1. **Bin Yang**, Junsheng Chen, Feng Hong, Xin Mao, Kaibo Zheng, Songqiu Yang, Yajuan Li, Tõnu Pullerits, Weiqiao Deng, Keli Han\*, Lead-Free, Air-Stable All-Inorganic Cesium Bismuth Halide Perovskite Nanocrystals. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56*, 12471-12475. 总引次数 40, 他引次数 35, 影响因子 12.102
2. **Bin Yang**, Junsheng Chen, Songqiu Yang, Feng Hong, Lei Sun, Peigeng Han, Tonu Pullerits, Weiqiao Deng, Keli Han\*, Lead-Free Silver-Bismuth Halide Double Perovskite Nanocrystals. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, *130*, 5457–5461. 总引次数 8, 他引次数 7, 影响因子 12.102
2. **Bin Yang**, Feng Hong, Junsheng Chen, Yuxuan Tang, Li Yang, Youbao Sang, Xusheng Xia, Jingwei Guo, Haixiang He, Songqiu Yang, Weiqiao Deng, \*Keli Han, Colloidal Synthesis and Charge-Carrier Dynamics of Cs<sub>2</sub>AgSb<sub>1-y</sub>Bi<sub>y</sub>X<sub>6</sub> (X: Br, Cl; 0 ≤ y ≤ 1) Double Perovskite Nanocrystals. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 2278–2283. 总引次数 0, 他引次数 0, 影响因子 12.102
4. **Bin Yang**, Fengying Zhang, Junsheng Chen, Songqiu Yang, Xusheng Xia, Tõnu Pullerits, Weiqiao Deng, and Keli Han\*, Ultrasensitive and Fast All-Inorganic Perovskite-Based Photodetector via Fast Carrier Diffusion. *Adv. Mater.* **2017**, *29*, 1703758. 总引次数 39, 他引次数 35, 影响因子 21.950
5. **Bin Yang**, Xin Mao, Feng Hong, Weiwei Meng, Yuxuan Tang, Xusheng Xia, Songqiu Yang, Weiqiao Deng, Keli Han\*, Lead-Free Direct Bandgap Double Perovskite Nanocrystals with Bright Dual-Color Emission. *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 17001–17006. 总引次数 1, 他引次数 0, 影响因子 14.357
6. **Bin Yang**, YaJuan Li, YuXuan Tang, Xin Mao, Cheng Luo, MeiShan Wang, WeiQiao Deng, KeLi Han\*, Constructing Sensitive and Fast Lead-Free Single-Crystalline Perovskite Photodetectors. *J. Phys. Chem. Lett.* **2018**, *9*, 3087–3092. 总引次数 5, 他引次数 4, 影响因子 8.709

7. **Bin Yang**<sup>#</sup>, Junsheng Chen<sup>#</sup>, Qi Shi, Zhengjun Wang, Marina Gerhard, Alexander Dobrovolsky, Ivan G. Scheblykin, Khadga Jung Karki\*, Keli Han\*, Tõnu Pullerits\*, High Resolution Mapping of Two-Photon Excited Photocurrent in Perovskite Microplate Photodetector. *J. Phys. Chem. Lett.* **2018**, 9, 5017–5022. (<sup>#</sup> Co-first) 总引次数 1, 他引次数 0, 影响因子 8.709
8. **Bin Yang**, Xin Mao, Songqiu Yang, Yajuan Li, Yanqiu Wang, Meishan Wang, Weiqiao Deng, and Keli Han, Low Threshold Two-Photon-Pumped Amplified Spontaneous Emission in CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbBr<sub>3</sub> Microdisks. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2016**, 8, 19587–19592. 总引次数 26, 他引次数 22, 影响因子 8.097
9. Fengying Zhang, **Bin Yang**, Xin Mao, Ruixia Yang, Lei Jiang, Yajuan Li, Jian Xiong, Yang Yang, Rongxing He\*, Weiqiao Deng\*, and Keli Han\*, Perovskite CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3-x</sub>Br<sub>x</sub> Single Crystals with Charge-Carrier Lifetimes Exceeding 260 μs. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2017**, 9, 14827-14832. 总引次数 14, 他引次数 13, 影响因子 8.097
10. Fengying Zhang, **Bin Yang**, Yajuan Li, Weiqiao Deng\*, Rongxing He\*, Extra long electron-hole diffusion lengths in CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3-x</sub>Cl<sub>x</sub> perovskite single crystals, *J. Mater. Chem. C*, **2017**, 5, 8431-8435. 总引次数 5, 他引次数 4, 影响因子 5.976
11. Fengying Zhang, **Bin Yang**, Kaibo Zheng, Songqiu Yang, Yajuan Li, Weiqiao Deng\*, Rongxing He\*, Formamidinium Lead Bromide (FAPbBr<sub>3</sub>) Perovskite Microcrystals for Sensitive and Fast Photodetectors, *Nano-Micro Lett.* **2018**, 10, 43. 总引次数 3, 他引次数 2, 影响因子 7.381
12. Junsheng Chen, **Bin Yang**, Chuanshuai Li, Kaibo Zheng, Karel Židek\*, and Tõnu Pullerits\*, Photostability of the Oleic Acid-Encapsulated Water-Soluble Cd<sub>x</sub>Se<sub>y</sub>Zn<sub>1-x</sub>S<sub>1-y</sub> Gradient Core-Shell Quantum Dots, *ACS Omega* **2017**, 2, 1922-1929. 总引次数 3, 他引次数 2, 影响因子
13. Xuejie Zhu, Dong Yang, Ruixia Yang, **Bin Yang**, Zhou Yang, Xiaodong Ren, Jian Zhang, Jinzhi Niu, Jiangshan Feng, Shengzhong (Frank) Liu, Superior stability for perovskite solar cells with 20% efficiency using vacuum

co-evaporation, *Nanoscale*, **2017**, 9, 12316-12323. 总引次数 37, 他引次数 30, 影响因子 7.760

论文总引次数: 182

论文他引次数: 154

期刊影响因子的查询截止时间: 2019 年 3 月 7 日

查询数据库: Web of Science

**主持(参与)科研项目及申请专利:**

(项目来源、项目名称、经费、个人在其中的作用)

**获科技奖情况：**

（项目名称、奖项、获奖时间、本人在其中的作用及排名、获奖总人数）

**获各类荣誉奖情况：**

2018 年，中国科学院院长特别奖；

2018 年，渤海化工研究生奖学金一等奖；

2018 年，国家奖学金；

2018 年，卢嘉锡优秀研究生奖学金；

2017-2018 学年，中国科学院大学三好学生标兵；

2017-2018 学年，中国科学院大学三好学生；

2018 年，大连化物所优秀研究生；

2018 年，大连化物所优秀共产党员称号；

2013 年，第十三届挑战杯课外学术科技作品竞赛国家级三等奖,山东省特等奖;

2013 年，中国石油大学（华东）十大学生标兵；

2013 年，中国石油大学（华东）突出成绩奖学金；

2013 年，中国石油奖学金；

2012 年，中国石油大学（华东）科技创新之星；

2011 年，国家励志奖学金。