

附件 6



中国科学院大学

University of Chinese Academy of Sciences

博士学位论文评阅书

论文题目 钙钛矿微晶及纳米晶载流子动力学研究

作者姓名 杨斌

学位类别 理学博士

学科（专业） 物理化学

研究所（院系） 中国科学院大学大连化学物理研究所

中国科学院大学制

学术道德评价

（一票否决）

评价要素	评价意见（请在相应栏内划“√”）
是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为	<input type="checkbox"/> 是（具体说明存在的问题）
	√否

评阅意见

评 价 要 素			权重	具体得分 (百分制)
1	论文选题	选题的理论意义、实用价值	10%	10
2	文献综述	反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态	15%	14
3	创新成果	论文成果创新性，对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献	40%	40
4	基础理论和专门知识	基础理论的宽厚度、坚实度，专门知识的系统性、深入性	10%	10
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	15
6	论文写作	论文结构、撰写规范性；文字表达准确、清晰和流畅性；引文严谨、规范性	10%	10
总体评价			总分	99

注：“分数”栏每项均按百分制整数评分，各项满分均为 100 分。评分分为四档：大于等于 90 分为优秀；大于等于 75 分小于 89 分为良好；大于等于 60 分小于 74 分为一般；小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目： 钙钛矿微晶及纳米晶载流子动力学研究

作者姓名： 杨斌

该论文聚焦钙钛矿材料的载流子动力学行为，研究了限制钙钛矿光电性能的关键动力学因素，由得到的动力学信息，开发新材料及构建新型器件。选题瞄准了国际研究前沿，具有重要的学术研究价值。

该论文在以下几个部分获得创新性成果：首先研究了有机-无机杂化钙钛矿 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ 微晶载流子动力学。发现该材料具有较低的双光子受激辐射阈值，而缺陷态分布影响器件性能。其次研究了超高灵敏度的全无机钙钛矿微晶光电探测器，具有超高灵敏度和较快响应时间。又研究了非铅钙钛矿纳米晶发光动力学。研究了 $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{Br}_9$ 纳米晶发光动力学机理和 $\text{Cs}_2\text{AgInxBi}_{1-x}\text{Cl}_6$ 的发光动力学。该工作的创新之处在于较深的动力学机理研究及基于动力学深刻认识而开发出的新型材料。

论文写作规范，逻辑性强，对文献掌握较好，是一篇不错的科研论文。

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

学术道德评价

（一票否决）

评价要素	评价意见（请在相应栏内划“√”）
是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为	<input type="checkbox"/> 是（具体说明存在的问题）
	<input checked="" type="checkbox"/> 否

评阅意见

评 价 要 素			权重	具体得分 (百分制)
1	论文选题	选题的理论意义、实用价值	10%	92
2	文献综述	反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态	15%	87
3	创新成果	论文成果创新性，对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献	40%	93
4	基础理论和专门知识	基础理论的宽厚度、坚实度，专门知识的系统性、深入性	10%	88
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	93
6	论文写作	论文结构、撰写规范性；文字表达准确、清晰和流畅性；引文严谨、规范性	10%	90
总体评价			总分	91

注：“分数”栏每项均按百分制整数评分，各项满分均为100分。评分分为四档：大于等于90分为优秀；大于等于75分小于89分为良好；大于等于60分小于74分为一般；小于60分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目： 钙钛矿微晶及纳米晶载流子动力学研究

作者姓名： 杨斌

该博士论文以近年来的研究热点——钙钛矿类材料——作为研究对象，从动力学角度理解钙钛矿微晶及纳米晶中的载流子行为，尝试阐明限制钙钛矿类材料光电性能的动力学因素，为新型钙钛矿材料的开发和相应器件的性能提升提供了理论指导。

论文作者对该领域的发展现状具有清晰的认识，研究目的明确，对有机-无机杂化钙钛矿、全无机钙钛矿、和非铅钙钛矿的微晶或纳米晶材料进行了深入系统的动力学表征，并制备了性能优异的光电探测器，取得的创新性成果有：

- 1、研究了 MAPbBr₃ 和 CsPbBr₃ 微晶的载流子动力学，并制备了具有高灵敏度和较快响应时间的光电探测器；以 Sb 代替 Pb 制备了非铅钙钛矿材料 MA₃Sb₂I₉ 的单晶，动力学研究发现其具有较长的载流子扩散长度，构建的微米尺度光电探测器可实现弱光下高灵敏度和快速响应。
- 2、对非铅钙钛矿纳米晶的载流子动力学进行研究，揭示间接带隙材料产生的强烈电荷-声子耦合会导致晶格形变而产生缺陷态；在此基础上，通过引入一定含量的 In 元素来调节电荷-声子耦合作用，使该材料从间接带隙转变为直接带隙，从而具有较少的缺陷态和较高的发光效率。

论文在载流子动力学研究和光电探测器性能提升两方面均取得了较好的研究成果，作者具有扎实的相关理论基础知识、数据分析深入系统、论文书写规范，是一篇优秀的博士学位论文。但是，该论文仍具有诸多方面需要改进，具体修改建议详见附页。

是否同意组织学位论文答辩 (请在相应栏内划“√”)	<input checked="" type="checkbox"/> 同意答辩	<input type="checkbox"/> 修改后答辩	<input type="checkbox"/> 不同意答辩
------------------------------	--	--------------------------------	--------------------------------

杨斌博士学位论文评审意见

一、总体意见

- 1、引言中，“1.2 钙钛矿材料概述”部分，所介绍内容的安排不合理，其中不仅有材料性质（不够全面）的介绍，还包含器件的发展历程，逻辑关系不明确。整个引言部分对文献的介绍缺乏一条主线，建议或以钙钛矿单晶材料为主线，或以器件发展为主线（光电探测器），对与该论文相关的文献进行综述。
- 2、缺少对文献内容的总结，即没有根据相关研究领域的发展提出存在的问题，进而提出论文的整体设计思路。
- 3、各章节单独来看是很好的工作，但放在一起使得整个论文缺乏整体性，即各章节相对独立，没有一条整体写作思路。
- 4、论文涉及的材料体系有有机-无机杂化钙钛矿材料、纯无机钙钛矿材料、非铅钙钛矿材料（各自又有单晶、微晶、纳米晶等），然而对各种钙钛矿材料的动力学研究结论只适用于单独材料体系，缺少对各类材料载流子动力学的对比研究及讨论，进而得出钙钛矿类材料载流子传输特性的规律性结论。
- 5、论文中的应用领域有光电流成像、光电探测器和发光，所使用的材料体系也有所差异，那么对于不同的应用领域，钙钛矿材料需要具有哪些性质？缺少相应的总结性论述。

二、具体修改建议：

- 1、图 1.3a 中的“Blocking layer”指代不明确，一般提及钙钛矿太阳能电池正式结构时，该层一般为“ETL”。
- 2、P3 低部及 P4 上部，关于电池结构的描述不当，如正负极的定义，以及反式结构中 TiOx 的使用（这样的论述会使人误解为所有反式结构器件都使用 TiOx ）。
- 3、P4，倒数第 6 行，什么是“带传输特性”？
- 4、P8 底部及全文多处，中英文括号的使用不一致。
- 5、P20，倒数第 5 行“得到雪白高纯度的”（同 P50），“雪白”一词不适用于对化合物颜色的描述，另外，化合物纯度高低用颜色来判断不够严谨，如想强调纯度的高低，需要有具体的纯度表征数据。下一段的晶体制备过程，需用

专业语言描述。

- 6、P23, 第 5 行, “出”, 错别字。
- 7、P49, 第 4 章的研究背景部分, 介绍了非铅钙钛矿单晶用于光电探测器的大致背景, 但并未介绍为何本章选择含 Sb 的钙钛矿单晶为研究对象, 该类材料研究进展如何, 存在什么问题?
- 8、P60 上部, “但是基于 $\text{MA}_3\text{Sb}_2\text{I}_9$ 微晶的光电探测器光响应和 $\text{MA}_3\text{Sb}_2\text{I}_9$ 相比较差, 如表 4.2 所示”, 这里面第一个“ $\text{MA}_3\text{Sb}_2\text{I}_9$ ”书写错误, 应为“ $\text{MA}_3\text{Sb}_2\text{Br}_9$ ”另外, 这两种微晶的尺寸和晶体生长方向类似, 为什么器件光响应差别很大? 对于含 Br 的材料, 是否也做了载流子寿命、载流子迁移率和缺陷态密度的研究, 来进行考察?
- 9、第 5 章中, 为什么 In 元素的含量可以调节电荷-声子耦合作用, 从而在一定 In 含量时改变材料带隙结构 (从间接带隙到直接带隙)? 其它元素是否有类似效应? 对于可能机理的讨论将使该章工作很有深度。

学术道德评价

（一票否决）

评价要素	评价意见（请在相应栏内划“√”）
是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为	<input type="checkbox"/> 是（具体说明存在的问题）
	<input checked="" type="checkbox"/> 否

评阅意见

评 价 要 素			权重	具体得分 (百分制)
1	论文选题	选题的理论意义、实用价值	10%	9
2	文献综述	反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态	15%	14
3	创新成果	论文成果创新性，对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献	40%	39
4	基础理论和专门知识	基础理论的宽厚度、坚实度，专门知识的系统性、深入性	10%	9
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	15
6	论文写作	论文结构、撰写规范性；文字表达准确、清晰和流畅性；引文严谨、规范性	10%	9
总体评价			总分	95

注：“分数”栏每项均按百分制整数评分，各项满分均为 100 分。评分分为四档：大于等于 90 分为优秀；大于等于 75 分小于 89 分为良好；大于等于 60 分小于 74 分为一般；小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目：钙钛矿微晶及纳米晶载流子动力学研究

作者姓名：杨斌

钙钛矿太阳能电池和光电探测器是能源领域具有发展前景的研究方向。从动力学角度研究和理解钙钛矿微晶及纳米晶载流子行为，优化材料的光、电性能，对于指导开发新型钙钛矿材料和构建新型器件，具有重要学术意义和应用前景。

论文对有机-无机杂化的钙钛矿微晶载流子动力学进行研究，发现该材料双光子受激辐射阈值较低；在弱、强电场下，载流子运输分别为扩散机制和迁移机制，缺陷分布影响器件性能。制备了全无机钙钛矿微晶光电探测器，该微晶材料缺陷较少，载流子可快速扩散，响应度较高且响应时间较快。论文还开发了非铅钙钛矿微晶光电探测器，该微晶实现弱光下的高灵敏响应。论文还研究了非铅钙钛矿纳米晶的发光动力学，结果表明，陷阱态捕获是限制材料发光效率的重要因素，通过研究捕获机制，可指导合成具有较高发光效率的带隙双钙钛矿纳米晶。

上述研究结果具有创新性。

论文对文献进行了归纳和总结，研究思路清晰，其数据分析合理，结论可信，具有创新性。表明作者具有很好的基础理论知识和独立的科学研究能力，达到了博士学位论文的要求。同意答辩，并建议授予博士学位。

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

学术道德评价

(一票否决)

评价要素	评价意见 (请在相应栏内划“√”)
是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为	<input type="checkbox"/> 是 (具体说明存在的问题)
	<input checked="" type="checkbox"/> 否

评阅意见

评 价 要 素			权重	具体得分 (百分制)
1	论文选题	选题的理论意义、实用价值	10%	95
2	文献综述	反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态	15%	92
3	创新成果	论文成果创新性, 对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献	40%	95
4	基础理论和专门知识	基础理论的宽厚度、坚实度, 专门知识的系统性、深入性	10%	90
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	95
6	论文写作	论文结构、撰写规范性; 文字表达准确、清晰和流畅性; 引文严谨、规范性	10%	92
总体评价			总分	94

注: “分数”栏每项均按百分制整数评分, 各项满分均为 100 分。评分分为四档: 大于等于 90 分为优秀; 大于等于 75 分小于 89 分为良好; 大于等于 60 分小于 74 分为一般; 小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：（请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页）

论文题目：钙钛矿微晶及纳米晶载流子动力学研究

作者姓名：杨斌

是 附 页

是否同意组织学位论文答辩

（请在相应栏内划“√”）

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩

杨斌的博士论文“钙钛矿微晶及纳米晶载流子动力学研究”研究了近年来发展迅速的热门钙钛矿材料，并就其载流子迁移、缺陷态属性及其单/双光子响应，缺陷态性质、载流子动力学以及发光动力学机制开展研究，开发了多种具有优异性能的微晶光电探测器。选题具有重要的科学意义和实际应用价值。

取得的主要创新点如下：

- 1、揭示了钙钛矿微晶体相/表面复合动力学机制的差异；通过光电流成像技术，实现了钙钛矿微晶缺陷态分布差异的空间分辨，是深入认识钙钛矿材料缺陷态性质的新突破。
- 2、开发了性能优异、单/双光子都有响应的光电探测器；并基于无铅钙钛矿开发了高稳定性光电探测器。为钙钛矿材料多领域应用做出了重要尝试，具有实际价值。
- 3、针对无机非铅钙钛矿材料，揭示其极化效应，提出光生载流子自捕获机制，是钙钛矿材料载流子动力学的重要突破。

论文不足之处：

- 1) 第五章，工作量较大内容庞杂，陈述略显仓促，过于简略。
- 2) 文中多处书写不规范的错误，定稿前需仔细斟酌。（如化学式上下标，数字单位间空格等）

学术道德评价

（一票否决）

评价要素	评价意见（请在相应栏内划“√”）
是否存在剽窃他人成果、伪造数据、由他人代写等严重作假行为	<input type="checkbox"/> 是（具体说明存在的问题）
	<input checked="" type="checkbox"/> 否

评阅意见

评 价 要 素			权重	具体得分 (百分制)
1	论文选题	选题的理论意义、实用价值	10%	100
2	文献综述	反映该学科及相关领域的前人成果和前沿动态	15%	100
3	创新成果	论文成果创新性，对学科发展、技术进步、经济建设、国家安全等方面产生的影响和贡献	40%	98
4	基础理论和专门知识	基础理论的宽厚度、坚实度，专门知识的系统性、深入性	10%	98
5	科研能力	论文体现科研潜质与独立科研能力	15%	100
6	论文写作	论文结构、撰写规范性；文字表达准确、清晰和流畅性；引文严谨、规范性	10%	95
总体评价			总分	98.5

注：“分数”栏每项均按百分制整数评分，各项满分均为 100 分。评分分为四档：大于等于 90 分为优秀；大于等于 75 分小于 89 分为良好；大于等于 60 分小于 74 分为一般；小于 60 分为差。

对学位论文的学术评语：(请对论文的学术水平、创新性做出简要评述，包括选题意义，文献资料的掌握，论文创新之处，写作规范和逻辑性等。还须明确指出论文中存在的问题和不足之处。可另附页)

论文题目：钙钛矿微晶及纳米晶载流子动力学研究

作者姓名：杨斌

该论文研究了多种不同尺度的钙钛矿材料的载流子动力学机制，从宏型钙钛矿材料合成到原型器件开发，再到微观机理研究，内容丰富，创新成果突出。例如：(1)构建了基于 CsPbBr_3 微晶的光电检测器件，灵敏度高达 $10\text{ mA}/\mu\text{W}$ ，刷新了基于同类材料光电检测灵敏度的纪录。(2)在非铅高性能钙钛矿材料探索方面，合成了 $\text{MA}_3\text{Sb}_2\text{I}_9$ 和 $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{Br}_9$ 钙钛矿材料，以及 $\text{CsAgIn}_{1-x}\text{Bi}_{1-x}\text{Cl}_6$ 双钙钛矿材料，揭示了这些材料中缺陷态的性质及其对载流子动力学行为的影响，证明了它们在光伏领域的重要应用价值。该选题属于动力学和材料科学研究的前沿领域，具有重要理论价值和应用背景。论文写作规范，逻辑性强，文献资料把握全面。作者已掌握了扎实的物理理论基础和实验技能，具备了独立开展创新性科研工作的能力。同意作者进行学位论文答辩。

不足处：(1)建议将关键英文缩写编成一个缩略语表。(2)不少书写方面的笔误，如 P_3 : OMeTAD , PTAA ... 缩写无解释； P_4 公式中 λ 的意义未解释； P_8 $10^9 \sim 10^{10}$ 写错了(应为 $10^9 \sim 10^{10}$)...。(3)"淬灭"应统一改成"猝灭"等等。应仔细纠错、增强可读性。

是否同意组织学位论文答辩

(请在相应栏内划“√”)

☒ 同意答辩

☐ 修改后答辩

☐ 不同意答辩