

低维半导体异质结构光电探测材料及器件验证

王文娟¹, 李雪¹, 陆卫¹, 龚海梅¹, 朱海军², 丁瑞军¹, 韩勤², 王涛³

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083; 2. 中国科学院半导体研究所, 北京 100083;

3. 西北工业大学, 陕西 西安 710072)

摘要: 面向国家“战略性先进电子材料”的发展目标, 以国家重大战略需求, 如全球气候观测、农林普查、国土资源探测、环境监测、深空探测和天文观测等领域的技术发展面临的光探测器瓶颈问题为突破口, 瞄准半导体材料及其光探测器正在朝全光谱覆盖、大面阵、高灵敏等方向快速发展的国际态势, 开展低维半导体异质结构材料与光电器件研究, 发展该体系材料人工设计精细调控的关键技术, 推动多波段多种类型的光电探测器技术进步, 促进我国经济、社会、国家安全及科学技术的发展。

关键词: 低维半导体; 异质结构; 光电探测材料; 光电探测器

中图分类号: TN3 **文献标识码:** A

Low dimensional semiconductor hetero-structure photoelectric detecting materials and devices

WANG Wen-Juan¹, LI Xue¹, LU Wei¹, GONG Hai-Mei¹, ZHU Hai-Jun²,
DING Rui-Jun¹, HAN Qin², WANG Tao³

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China;

3. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The major national strategic demands such as the global climate observation, agricultural census, land resources exploration, environmental monitoring, deep space exploration and astronomical observation are facing the bottleneck of photodetectors. Semiconductor materials and its photodetectors are rapidly developing in the direction of full-spectrum, large-array and high sensitivity, which meets the development goals of the national "strategic advanced electronic materials". In the project, low dimensional semiconductor hetero-structure photoelectric materials and devices will be investigated. Materials are going to be artificially fine-tuned to promote the technological improvements of multi-bands and multi-types of photodetectors, which is useful for the development of economy, society, national security, science and technology.

Key words: low dimensional semiconductor, hetero-structure, photoelectric detecting materials, photodetectors

PACS: 85.60.Bt, 85.60.Dw, 85.60.Gz

半导体材料及其光探测器技术在重大战略需求的信息领域发挥着决定性作用。国家重大战略需求如全球气候观测、农林普查、国土资源探测、环境监测、深空探测和天文观测等领域的技术发展正面临

着光探测器的瓶颈问题, 基于低维半导体异质结构的材料与光电器件, 已经成为光探测领域新的竞争焦点, 正向全光谱覆盖、大面阵、高灵敏等技术方向快速发展^[1-4], 如图 1 所示。

收稿日期: 2016-08-26, 修回日期: 2016-10-18

Received date: 2016-08-26, revised date: 2016-10-18

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFB0402400)

Foundation items: Supported by National Key Research and Development Program of China (2016YFB0402400)

作者简介 (Biography): 王文娟 (1980-), 女, 博士, 主要从事近红外半导体光电探测器的设计、研制、新机理探索及其应用研究。E-mail: wangwj@mail.sitp.ac.cn

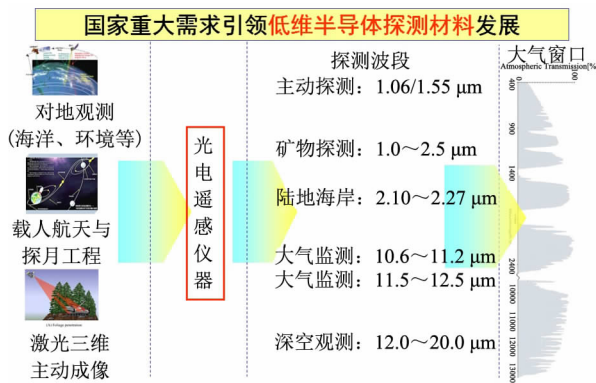


图1 国家重大需求对半导体探测材料发展的引领
Fig. 1 The major national demands lead to the development of semiconductor detection materials

紧扣国家重点研发计划指南“低维半导体异质结构材料及光探测器件研究”^[5]，“低维半导体异质结构光电探测材料及器件验证研究”项目围绕指南的核心技术指标进行研究目标与研究内容的布局，将项目研究与我国新一代信息技术领域对战略性先进光电子材料的迫切需求，特别是我国航天光电技术的需求相结合，重点开展多波段Ⅲ-V族化合物半导体光电探测材料与器件的研究，围绕结构设计—材料生长—材料表征—器件验证的相关性，研究异质结构外延材料界面工程、光电量子转换过程、缺陷形成机理、高电场下隧道电流产生机理及抑制方法、高场强边缘击穿形成机制及抑制方法等关键科学问题，解决高光电转换效率的异质结构材料设计、不同材料体系的大尺寸低缺陷外延生长、抑制暗电流和提升均匀性的器件工艺和低噪声大面阵焦平面耦合方法等共性关键技术，实现高质量低维半导体异质结构外延生长及多波段光电阵列探测器的研制，最终获得高性能短波红外面阵探测器、双色量子阱焦平面探测器、铋化物中长波窄带双色红外探测器、长波及甚长波铋化物探测器等，进而提高近红外雪崩与高速探测材料与器件技术水平，获得 APD 焦平面成像探测器，并扩展研究碲镉汞材料与面阵器件。

该项目的部署将多波段新材料性能突破与新器件关键技术相结合，并与国内光电领域产业化公司技术整合，构建基础研究、关键技术、典型应用示范的全创新链，实现高端光电子材料与器件研发与应用的无缝连接，为我国重大专项如高分辨对地观测、载人航天与探月工程等领域提供核心材料与器件基础，为我国红外光电产业的发展培养一批创新创业团队，对我国经济、社会、国家安全和科学技术的发

展都具有重大意义，具体表现为：

(1)在关键问题研究中，以Ⅲ-V族化合物半导体为代表，深入理解异质结构外延材料中的材料界面工程，完成多种波段多种类型材料结构设计的优化设计，深入分析Ⅲ-V族化合物半导体生长动力学和异质结构，分析其光电量子转换过程，获得异质结构外延材料缺陷形成机理以及抑制方法，探讨高电场下隧道电流产生机理及抑制方法，明确高场强边缘击穿形成机制等，为我国Ⅲ-V族化合物半导体材料与器件提升到国际一流水平提供科学基础。

(2)在关键技术研究，完成高光电转换效率的异质结构材料设计的模拟与优化，获得多波段不同材料体系的大尺寸低缺陷外延材料生长方法，明确多种波段多种类型探测器暗电流来源，通过材料质量提升和表面体内漏电的抑制，降低探测器的暗电流，获得高均匀性、低盲元率的器件工艺方法，实现低噪声大面阵焦平面耦合。通过共性关键技术的突破，将获得一批具有自主知识产权多波段多种类型的核心器件，有力推动我国在航天遥感、气象卫星、城市安防、光纤通信、核安全以及天体物理等领域的技术进步，促进相关学科发展，具有很好的社会效益。

(3)在典型示范应用方面，本项目中的百万像素级 InGaAs 焦平面探测器、长波双色量子阱探测器、甚长波超晶格焦平面探测器、主动探测用 APD 探测器及射线探测用碲镉汞探测器等将直接服务于国家重大需求，如我国“高分辨率对地观测系统”、“载人航天与探月工程”、“量子通信”等重大专项，在对地观测、气候变化、环境保护、灾害监测、深空探测、激光三维成像和量子通信中将具有重大的应用价值。

(4)在社会经济效益方面，本项目采用创新思路，积极与代表性企业如浙江大立科技股份有限公司、中国兵器工业集团第二一一研究所、陕西迪泰克新材料有限公司合作，解决探测器应用接口技术，努力推广前期研究成果，并将本项目研究成果作为产品提升更新换代的能力，完成技术向产品的转化。

综上所述，“低维半导体异质结构光电探测材料及器件验证研究”项目以国家重点实验室、国家工程研究中心和光电领域的代表性企业等为基地，产学研相结合，通过探测材料性能的提升和探测器器件重大共性关键技术的攻关，将推进多波段多种类型的焦平面探测器达到国际先进水平，获得具有鲜明特色和自主知识产权的多波段多种类型的低维异

质结构半导体材料与光探测器,填补我国高端制造业空白,为我国战略先进电子材料的发展做出重要贡献.

致谢

感谢国家重点研发计划项目(2016YFB0402400)对本论文的资助.

References

- [1] Manurkar P, Darvish S R, Nguyen B M, *et al.* High performance long wavelength infrared mega-pixel focal plane array based on type-II superlattices[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2010, **97**, 193505.
- [2] Jhabvala M, Choi K. Evolution of QWIP focal plane development at the NASA/Goddard space flight center [J]. *Proc. of SPIE*, 2012, **8268**(1):87-94.
- [3] Jhabvala M, Choi K, Waczynski A, *et al.* Performance of the QWIP focal plane arrays for NASA's Landsat data continuity mission[J]. *Proc. of SPIE*, 2011, **8012**:239-255.
- [4] Yuan P, Sudharsanan R, Bai X G, *et al.* 32 × 32 Geiger-mode LADAR cameras[J], *Proc. of SPIE*, 2010, **7684**:76840C.
- [5] 科技部关于发布国家重点研发计划高性能计算等重点专项 2016 年度项目申报指南的通知[EB/OL], http://www.most.gov.cn/mostinfo/xinxifenlei/fgzc/gfxwj/gfxwj2016/201602/t20160218_124155.htm.