

二、近5年主要科研情况

1. 承担主要科研任务情况							
序号	项目(课题/任务)名称	立项编号	经费(万元)	起止年月	项目来源	计划名称	担任角色
1	面向激光显示的三基色半导体激光器(LD)关键材料与技术基础研究	2016YFB0401800	2400	2016-07至2020-12	科技部	国家重点研发计划	首席
2	AlGaIn材料缺陷调控及日盲紫外雪崩探测器研究	QYZDJ-SSW-JSC02030.00	300	2016-07至2021-06	中国科学院	前沿科学重点研究计划	主持
3	GaN基绿光激光器芯片研制	Z161100002116037	400	2016-08至2018-12	北京市科委	北京市前沿重点研究项目	主持
4	GaN同质衬底上量子阱外延生长及p型掺杂技术研究	TZ2016003	400	2016-08至2018-12	中国工程物理研究院	科学挑战计划	主持
5	AlGaIn基紫外双色探测器	61574135	90	2016-01至2019-12	国家自然科学基金委	国家自然科学基金	主持
6	针对绿色激光器的InGaIn量子点生长与性能调控	61377020	85	2014-01至2017-12	国家自然科学基金委	国家自然科学基金	主持
7	GaN基光电子材料与器件	Y573010000	60	2015-01至2017-12	中国科学院	百人计划D类	主持

8	GaN 基光电子材料与器件的基础问题	60925017	200	2010-01 至 2013-12	国家自然科学 基金委	国家杰出青年 科学基金	主持
---	--------------------	----------	-----	-------------------------	---------------	----------------	----

2. 获得主要科研学术奖励情况

序号	获奖项目名称	奖励名称	等级	排序	获奖时间	授予机构
1	GaN 基光电子材料与器件	中国青年科技奖	/	1	2011-11	中国科学技术协会，中共中央组织部，人力资源和社会保障部

3. 代表性论文（“第一作者”或“通讯作者”的论文）（不超过 10 篇）

序号	论文题目	所有作者 (通讯作者 请标注*)	期刊名称	年份、卷期 及页码	被 SCI、 EI、ISTP 收录情况	影 响 因 子	他 引 次 数
1	Investigation on the corrosive effect of NH ₃ during InGaN/GaN multi-quantum well	J. Yang, <u>D. G. Zhao*</u> , D. S. Jiang, P. Chen, J. J. Zhu, Z. S. Liu, W. Liu, X. Li,	Scientific Reports	2017, Vol.7, p. 44850	SCI	5.228	0

	growth in light emitting diodes	F. Liang, S. T. Liu, L. Q. Zhang and H. Yang					
2	Performance of InGaN based green laser diodes improved by using an asymmetric InGaN/InGaN multi-quantum well active region	J. Yang, <u>D. G. Zhao*</u> , D. S. Jiang, X. Li, F. Liang, P. Chen, J. J. Zhu, Z. S. Liu, S. T. Liu, L. Q. Zhang, and M. Li	Optics Express	2017, Vol. 25, p. 287124	SCI	3.488	0
3	Influence of InGaN growth rate on the localization states and optical properties of InGaN/GaN multiple quantum wells	X. Li, <u>D. G. Zhao*</u> , J. Yang, D. S. Jiang, Z. S. Liu, P. Chen, J. J. Zhu, W. Liu, X. G. He, X. J. Li, F. Liang, L. Q. Zhang, J. P. Liu, H. Yang, Y. T. Zhang,	Superlattices and Microstructures	2016, Vol. 97, p. 186	SCI	2.117	4

		and G. T. Du					
4	Emission efficiency enhanced by reducing the concentration of residual carbon impurities in InGaN/GaN multiple quantum well light emitting diodes	J. Yang, <u>D. G. Zhao*</u> , D. S. Jiang, P. Chen, Z. S. Liu, J. J. Zhu, X. J. Li, X. G. He, J. P. Liu, L. Q. Zhang, H. Yang, Y. T. Zhang, and G. T. Du	Optics Express	2016, Vol. 24, p. 13824	SCI	3. 48 8	2
5	Localization effect in green light emitting InGaN/GaN multiple quantum wells with varying well thickness	W. Liu, <u>D. G. Zhao*</u> , D. S. Jiang, P. Chen, Z. S. Liu, J. J. Zhu, M. Shi, D. M. Zhao, X. Li, J. P. Liu, S. M. Zhang, H. Wang, and H. Yang	Journal of Alloys and Compounds	2015, Vol. 625, p. 266	SCI	3. 01 4	6

6	Optical and structural characteristics of high indium content InGaN/GaN multi-quantum wells with varying GaN cap layer thickness	J. Yang, <u>D. G. Zhao*</u> , D. S. Jiang, P. Chen, J. J. Zhu, Z. S. Liu, L. C. Le, X. J. Li, X. G. He, J. P. Liu, H. Yang, Y. T. Zhang, and G. T. Du	Journal of Applied Physics	2015, Vol. 117, p. 055709	SCI	2.015	5
7	Temperature dependence of photoluminescence spectra for green light emission from InGaN/GaN multiple wells	W. Liu, <u>D. G. Zhao*</u> , D. S. Jiang, P. Chen, Z. S. Liu, J. J. Zhu, M. Shi, D. M. Zhao, X. Li, J. P. Liu, S. M. Zhang, H. Wang, H. Yang, Y. T. Zhang, and G. T. Du	Optics Express	2015, Vol. 23, p. 15935	SCI	3.488	4
8	Suppression	L. C. Le, <u>D.</u>	Optics	2014,	SCI	3.	4

	of electron leakage by inserting a thin undoped InGaN layer prior to electron blocking layer in InGaN-based blue-violet laser diodes	<u>G. Zhao*</u> , D. S. Jiang, P. Chen, Z. S. Liu, J. Yang, X. G. He, X. J. Li, J. P. Liu, J. J. Zhu, S. M. Zhang, and H. Yang	Express	Vol. 22, p. 11392		48 8	
9	The significant effect of the thickness of Ni film on the performance of the Ni/Au Ohmic contact to p-GaN	X. J. Li, <u>D. G. Zhao*</u> , D. S. Jiang, Z. S. Liu, P. Chen, J. J. Zhu, L. C. Le, J. Yang, X. G. He, S. M. Zhang, B. S. Zhang, J. P. Liu, and H. Yang	Journal of Applied Physics	2014, Vol. 116, p. 16378	SCI	2. 01 5	5
10	Effect of V-defects on the performance deteriorati	L. C. Le, <u>D. G. Zhao*</u> , D. S. Jiang, L. Li, L. L.	Journal of Applied Physics	2013, Vol. 114, p. 143706	SCI	2. 01 5	10

on of InGaN/GaN multiple-quantum-well light-emitting diodes with varying barrier layer thickness	Wu, P. Chen, Z. S. Liu, J. Yang, X. J. Li, X. G. He, J. J. Zhu, H. Wang, S. M. Zhang, and H. Yang					
---	--	--	--	--	--	--

4. 发明专利授权情况						
序号	专利名称	授权号	专利类别	发明人排序	授权时间	授权国别或组织
1	Al _x Ga _{1-x} N 基紫外探测器及制备方法	ZL. 201510967933.2	发明专利	赵德刚, 李晓静, 江德生, 刘宗顺, 朱建军, 陈平	2017-04-12	中国
2	高密度高均匀 InGaN 量子点结构及生长方法	ZL. 201410412107.7	发明专利	刘炜, 赵德刚, 陈平, 刘宗顺, 江德生	2017-01-25	中国

3	可以减少 AlN 冷阴极表面氧化的电子接收结构	ZL. 201510093713.1	发明专利	陈平, 赵德刚, 朱建军, 刘宗顺, 江德生, 杨辉	2017-03-01	中国
4	小型化、集成化的硅基场发射-接收器件	ZL. 201510094671.3	发明专利	陈平, 赵德刚, 朱建军, 刘宗顺, 江德生, 杨辉	2017-03-08	中国
5	减小 GaN 基蓝紫光端发射激光器电子泄漏的方法	ZL. 201410204718.2	发明专利	乐伶俐, 赵德刚, 江德生, 刘宗顺, 陈平, 杨静, 何晓光, 李晓静, 杨辉	2017-04-05	中国
6	绿光 LED 外延层结构及生长方法	ZL. 201410636516.5	发明专利	刘炜, 赵德刚, 陈平, 刘宗顺, 朱建军, 江德生	2017-06-06	中国
7	InGaN 量子点的外延结构及生长方法	ZL. 201410784663.7	发明专利	刘炜, 赵德刚, 陈平, 刘宗顺, 朱建军, 江德生	2017-06-16	中国

8	基于二维岛的InGaN量子点外延结构及制备方法	ZL. 201510522409.4	发明专利	刘炜, 赵德刚, 陈平, 刘宗顺, 朱建军, 江德生	2017-09-22	中国
9	低电阻率低温P型铝镓氮材料的制备方法	ZL. 201410426219.8	发明专利	杨静, 赵德刚, 陈平, 刘宗顺, 江德生	2017-09-26	中国
10	氮化镓基雪崩型探测器及其制作方法	ZL. 200910077383.1	发明专利	刘文宝, 孙菀, 赵德刚, 刘宗顺, 张书明, 朱建军, 杨辉	2015-05-08	中国

5. 在重要国际学术会议报告情况

序号	报告名称	会议名称	主办方	时间	地点	报告类别

6. 标准制定情况

序号	标准号	标准名称	类别	颁布/修订时间	本人排序

7. 主要新产品(含新品种)/新装置(装备)/新工艺/新材料开发情况

序号	名称	创新性	开发阶段	功能、应用领域(限50字)	经济效益(限50字)

8. 其他重要成果及业绩、贡献（300 字以内）

赵德刚研究员主要从事氮化镓（GaN）基光电子材料与器件研究，并研制出我国第一只 GaN 基紫外激光器【D.G. Zhao et al, J. Semicond. 38, 051001(2017)】。另外还研究了 GaN 基 HEMT 器件，采用碳杂质补偿方法生长出低位错密度的半绝缘 GaN 材料【D.G. Zhao* et al, JVST B 32, 051207(2014)、TSF 564,135(2014)】，生长出高质量的 AlGaIn/GaN 二维电子气材料，室温电子迁移率达到 2100 cm²/Vs。推导了 GaN 基 HEMT 器件的二维电子气理论公式，揭示了形成机理，提出了抑制短沟道效应的 HEMT 新结构【D.G. Zhao* et al, JAC 670,258(2016)、JAC 662,16(2016)】。

三、推荐人选自我评价

主要包括研究能力、学术或技术水平、对所属科学技术领域和相关产业影响等方面的情况（500 字以内）

赵德刚博士为 2009 年国家杰出青年科学基金获得者、2011 年第十二届中国青年科技奖获得者、2016 年国家重点研发计划项目首席、2017 年国家百千万人才工程入选者、中国科学院特聘研究员，主要从事 GaN 材料与器件研究，主持国家重点研发计划、863、自然科学基金等多个项目，论文他引 1600 多次，单篇最高他引约 260 次【D.G. Zhao et al, APL 83,677(2003)】，获发明专利 30 多项，出版中英文专著各一章。主要贡献如下：

材料方面，提出了独特的 MOCVD 外延方法，生长出高质量 GaN 材料，室温下电子迁移率超过 $1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ，这是目前国际上报道的最好结果；创造了复合缓冲层结构，突破了 AlN 外延材料技术；初步建立了 GaN 的光学、电学、结构性质的关系模型；发现了 C 杂质对 p-GaN 材料的补偿效应，提出了少量掺氧的 p 型杂质激活方法，解决了 p 型掺杂问题。

器件方面，提出了降低吸收损耗、抑制电子泄漏的激光器新结构；研究并利用重掺杂盖层大大降低了比接触电阻，实现了良好的 p-GaN 欧姆接触；研究了 InGaN 量子阱界面控制方法，建立了量子阱发光物理模型；阐述了 V 型缺陷和点缺陷影响器件性能的物理机制；解决了同质外延问题，研制出我国第一只 GaN 基紫外激光器、寿命超过 1000 小时的蓝光激光器。还实现了我国第一只 GaN 紫外雪崩探测器。

四、当前研究基础及未来研究计划（请按以下提纲编写）

（一）当前研究基础

近五年相关研究方向的主要科研产出及成果转化情况，团队建设情况、现有科研条件及环境（500字以内）

近5年主要集中在 GaN 激光器的材料与器件方面进行研究，具体工作如下：

材料方面，创新提出了“复合缓冲层”结构，突破了 AlN 外延材料技术，显著降低了刃位错密度，其（002）、（102）面 XRD 半高宽均仅为 200 秒左右，解决了 AlN 材料对高温生长设备的依赖问题；发现了 C 杂质对 p-GaN 材料的补偿效应，提出了少量掺氧的 p 型杂质激活方法，解决了 p 型掺杂问题；研究了 InGaN 量子阱界面控制方法，分析并建立了发光模型。

激光器方面，提出了降低吸收损耗、抑制电子泄漏的多种激光器新结构，改进了器件性能；研究并利用重掺杂盖层大大降低了比接触电阻，并进一步通过在金属-半导体界面附近引入 C 杂质，实现了良好的 p-GaN 欧姆接触特性；解决了 GaN 衬底生长过程中翘曲的问题，**研制出我国第一只 GaN 基紫外激光器**，连续激射功率可达 80mW 【D. G. Zhao et al, J. Semicond. 38, 051001(2017)】，还实现了 20W 的 GaN 基大功率紫光激光器。

目前团队成员由 4 名研究员、2 名副研究员、2 名工程师及多位研究生组成，配置合理，互补性强，实验室拥有 2 台 MOCVD 材料生长系统，还拥有 X 光衍射、变温 PL 谱等测试设备，中科院半导体所具备完备的工艺线，为下一步 GaN 激光器的突破奠定了坚实的基础。

(二) 未来研究计划

1. 拟开展的研究在国际同领域所处的地位 (200 字以内)

拟开展的研究主要包括:

(1) GaN 基蓝光激光器。激光显示、激光照明对 GaN 基蓝光激光器有迫切需求, 我们的研究在国际上有重要影响。我们将解决 InGaN 量子阱的生长、低温 p 型掺杂、光损耗抑制等问题, 使 GaN 激光器技术达到国际顶尖水平。

(2) GaN 基紫外激光器。激光医疗、激光加工等对 GaN 基紫外激光器有迫切需求, 目前我们处于国际一流水平。我们将解决高质量的紫外材料生长、AlGaIn 的 p 型掺杂等难题, 使 GaN 基紫外激光器达到国际领先水平。

2. 研究主要内容及创新点 (500 字以内)

GaN 基蓝光和紫外激光器的主要研究内容及创新点如下:

(1) InGaIn 量子阱的极化调控及生长

探索 AlInGaIn 极化调控, 提高蓝光量子阱发光效率。

我们将创新性地采用阱垒同温生长的 InGaIn 量子阱生长技术, 减少升温过程中对量子阱的破坏, 提高蓝光量子阱效率。

(2) 材料生长动力学及低温 p 型补偿机制

研究材料控制缺陷与 In 原子偏析, 揭示低温 p 型补偿机理, 减小补偿, 突破低温 p 型技术。

我们将创新性地采用抑制 C 杂质的方法，并结合 H 杂质钝化施主的方法，减小施主补偿，突破低温 p 型技术。

(3) 波导缺陷形成过程及光损耗抑制

揭示波导缺陷形成机理，抑制缺陷产生，减小光损耗，提高激光器性能。

我们将创新性地提出非对称量子阱和波导结构，让光场远离 p 型，减小吸收损耗，提高激光器性能。

(4) AlN 材料的缺陷形成及抑制

揭示 AlN 材料生长中缺陷形成和湮灭机理，研究 Al 原子表面迁移过程，抑制 AlN 材料缺陷形成。

将创新性提出复合缓冲层结构，可有效抑制刃位错，改善 AlN 材料质量。

3. 开展的研究对提升我国相关领域科技创新能力和发展战略性新兴产业等的主要作用（300 字以内）

激光显示和激光照明市场前景非常广阔，受到国际领域的极大关注。而高性能的 GaN 基蓝光激光器是其中的核心光源器件之一，技术难度大、挑战性强。我们将开展研究，解决其中的关键问题，包括材料生长和器件工艺难题，最终获得高性能的激光器，为显示和照明产业提供激光光源。另外，激光医疗、激光加工等领域也急需紫外激光器，我们开展的研究将彻底解决 AlN、AlGaIn 及 p 型掺杂等难题，带动紫外光源等相关产业的发展。

4. 科研组织管理、国内外合作设想（200 字以内）

在组织管理方面，我们将每周定期召开课题组的科研进展讨论会，各司其职，共同研究并解决遇到的问题，推动材料和器件研究工作。

另外，我们还将加强与国内外先进单位的合作，可以通过共同培养研究生、召开学术交流会等方式，取长补短，提高科研水平。

5. 个人能力提升、人才培养和团队建设（200 字以内）

在项目的支持下，我们将解决 GaN 激光器的关键材料和器件难题，最终获得器件突破，学术能力和团队合作能力是项目完成的保障，个人的学术能力、管理能力都将得到大幅度提升。项目执行过程中，团队成员研究生将得到培养和锻炼，将形成一支高水平的研究队伍。

6. 支撑保障条件需求（200 字以内）

目前我们的实验室已经具备了良好的实验设备，包括 2 台专用于 GaN 材料生长的 MOCVD 系统和多种测试分析仪器，依托单位也有完备的器件工艺线。为了研制出高性能的器件，我们还将进一步加强支撑条件建设，保障项目完成。