

1、项目名称

ZnS 基复合膜器件的光电特性研究

2、推荐奖种

滨州市科技进步奖

3、项目简介

全固态照明光源（半导体发光二极管，LEDs）被认为是21世纪最具有发展潜力的高技术领域之一，目前，世界各国都在积极研制半导体全固态照明器件。利用半导体发光技术进入照明领域的先决条件是实现白光。实现白光通常有三个途径，一是利用蓝光LED激发黄光荧光粉，二是利用紫外光LED激发红绿蓝三基色荧光粉。目前商业化的白光LED多采用这两种方案，然而这两种途径都包含二次激发过程，这使得器件的发光效率被降低，在一定程度上制约了器件的进一步发展；第三种方案是将红、绿、蓝三种LED封装在一起直接获得白光，但由于三种LED的驱动电压各不相同，这不仅使器件的控制电路更加复杂，能耗也将大幅提高。鉴于上述问题的存在，人们希望能够实现无荧光粉的单芯片半导体白光发射器件。因此本项目系统研究了ZnS基复合膜器件的光电特性，在此基础上优化各种制备条件和工艺，获得了较强的白光发射。该成果属于纳米发光材料与光电器件研究领域，对全固态白光发射器件（如白光二极管）的实现具有重要参考价值。主要有如下创新点：

（1）通过实验制备和表征分析，建立了衬底温度、激光功率、退火条件等对 PLD 沉积的 ZnS 基复合膜的微观结构和表面形貌影响的关系，探明了消除薄膜中的裂痕和孔洞、降低了因晶格失配等问题引入的界面缺陷的解决方案，为优化制备方案来获得高质量薄膜提供了依据。

（2）做出了发光效率不同的 ZnS 基复合膜器件，研究了薄膜生长温度、退火温度等不同条件对 ZnS 基复合膜器件光学和电学性质的影响，并用色度图进行了表征，得到了器件发射白光的最佳条件。

（3）降低了薄膜各界面内的缺陷密度，获得了稳定、高效的多层膜白光发射，接近标准白光（0.33,0.33）。

（4）结合光致发光和电致发光等手段，通过对制备条件和测试结果深入的物理分析，建立了合理的 PN 结能带模型，阐释了异质结的载流子输运、复合发光特性和白光发射的机理。

4、客观评价

2018 年 3 月，结题验收评审专家对“ZnS 基复合膜器件的光电特性研究”成果进行了评价，专家组一致对项目做出如下意见：

（1）项目组提供的结项材料齐全完整，数据详实可靠，符合结题要求。

（2）近年来，半导体照明技术快速发展，正向更高光效、更优发光品质、更低成本、更多功能、更可靠性能和更广泛应用方向发展。ZnS 材料做成的固体白光器件是照明应用领域的前沿课题，在绿色照明方面具有极大的发展潜力和应用前景。

(3) 本项目充分结合材料制备与性能表征等现代分析手段, 重点研究 ZnS 基复合膜光电器件中的关键科学问题, 着力实现 ZnS 基半导体器件的白光发射, 并对发光机理进行了深入研究。该项目创新性较强, 实验方法先进。项目组完成了合同各项任务, 同意结项。

5、技术推广应用情况与社会经济效益分析

ZnS 作为一种可用于照明的高效半导体发光材料, 具有用途广泛、价格低廉、节能环保等优势, 在绿色照明领域具有极大的发展潜力。本项目研究的 ZnS 基复合膜器件具有结构简单、不需要荧光粉、发光效率高等优点, 可实现大面积外延生长及工业化生产, 为全固态白光发射器件(如白光二极管)的实现开辟了一条新的捷径, 市场需求和应用前景非常广阔。

本项目在借鉴国内外研究人员先进成果的基础上, 充分结合 PLD、CBD 等先进制备技术和 XRD、SEM、TEM、EDS、EL、PL 等现代分析手段, 详细研究 ZnS 基复合膜器件的光电特性, 着力实现 ZnS 基半导体器件的白光发射, 努力形成有自主知识产权的 ZnS 基半导体材料照明器件核心技术。并积极与滨州当地半导体照明企业和电子科技公司加强技术交流与合作, 努力促进研究成果的经济化和社会化。

6、主要知识产权/代表性论文/论著目录

专利:

(1) 实用新型专利: 王彩凤, 一种核壳结构发白光器件, ZL201721030708.7, 2018 年 4 月

论文:

- (1) Cai-Feng Wang, Ni Liu, Bo Hu. Improved white light emission from ZnS:Mn/ZnO/GaN core-shell nanorods array, Journal of Luminescence, 2018.08 (SCI 二区)
- (2) Caifeng Wang, Bo Hu. The influences of annealing temperature on the structure and optical properties of ZnS:Mn/GaN multilayer thin films, Optics and Laser Technology, 2018.02 (SCI 三区)
- (3) Caifeng Wang, Bo Hu. Effects of the ZnO layer on the structure and white light emission properties of a ZnS:Mn/GaN nanocomposite system, Optics Letters, 2017.10 (SCI 二区)
- (4) Caifeng Wang, Bo Hu. Photoelectric properties of ZnS/Au/ZnS transparent conductive tri-layer films, Optics and Laser Technology, 2017.06 (SCI 三区)
- (5) Caifeng Wang, Qing-Shan Li, Bo Hu. Preparation and characterization of ZnS nanoparticles prepared by hydrothermal method, International Journal of Modern Physics B, 2017.05 (SCI 四区)
- (6) Cai-Feng Wang, Qing-Shan Li, Ji-Suo Wang, Feng-Zhou Zhao, Li-Chun Zhang. White Light Emission from ZnS:Mn Thin Films Deposited on GaN Substrates by Pulsed Laser Deposition, Chinese Physics Letters, 2016.07 (SCI 四区)
- (7) Caifeng Wang, Qingshan Li, Jisuo Wang, Lichun Zhang, Fengzhou Zhao, Fangying Dong. High Quality ZnS/Au/ZnS Transparent Tri-layer Films Deposited by Pulsed Laser

Deposition, Optics and Spectroscopy, 2016.03 (SCI 四区)

(8) Ni Liu, Shuxin Li, **Caifeng Wang**, Jie Li. Shell Thickness Dependence of Interparticle Energy Transfer in Core-Shell ZnSe/ZnS Quantum Dots Doping with Europium. Nanoscale Research Letters, 2018.04 (SCI 二区)

(9) Ni Liu, Hua Xue, Yanjun Ji, Junping Wang. ZnSe/ZnS core-shell quantum dots incorporated with Ag nanoparticles as luminescent down-shifting layers to enhance the efficiency of Si solar cells. Journal of Alloys and Compounds, 2018.05 (SCI 二区)

7、全部完成人排序及对项目的贡献

(1) **王彩凤**, 副教授, 滨州学院, 对本项目技术创造性贡献:

项目主持, 项目实施方案撰写, 负责项目的构思、实验方案设计、器件特性测量、数据分析与处理, 以及论文撰写、项目结题等工作, 投入本项目研究的工作量占本人工作量的 90%, 取得的主要成果及贡献包括:

① 通过实验和表征, 建立了衬底温度、激光功率、退火条件等对 PLD 沉积的 ZnS 基复合膜的微观结构和表面形貌影响的关系, 探明消除薄膜中的裂痕和孔洞, 优化制备方案, 获得高质量薄膜。

② 优化器件结构, 做出发光效率不同的 ZnS 基复合膜器件, 研究薄膜生长温度、退火等不同条件对复合体系光学和电学性质的影响, 得到器件发射白光的最佳条件。

③ 建立合理的 PN 结能带模型, 阐释异质结的载流子输运、复合发光特性和白光发射的机理。

对提名书《主要科技创新》中所列 1-9 项创新点做出了创造性贡献, 是附件 1 所列专利的发明者和论文 2-8 的第一作者及通讯作者。

(2) **胡波**, 教授, 滨州学院, 对本项目技术创造性贡献:

项目参与, 主要负责实验方案构思、理论论证等工作, 投入本项目研究的工作量占本人工作量的 60%, 取得的主要成果及贡献包括: 组织选题、论证、项目申报书的指导。

① 详细研究了不同条件对复合膜器件光学和电学性质的影响, 经过分析处理得到器件发射白光的最佳条件。

② 提出并详细阐释了降低因晶格失配等问题引入的界面缺陷的解决方案, 为优化制备方案来获得高质量薄膜提供依据。

对提名书《主要科技创新》中所列 2-6 项创新点做出了创造性贡献, 是附件 3-5 所列论文的第二作者, 2,6 的第三作者。

(3) **刘妮**, 讲师, 滨州学院, 对本项目技术创造性贡献:

项目参与, 主要负责器件制备方法、光电特性测量及分析等工作, 投入本项目研究的工作量占本人工作量的 40%, 取得的主要成果及贡献包括:

①对 ZnS 复合膜器件的白光发射条件进行了深入探索, 并对获得的白光用色度图进行

了表征和分析；

②深入研究了 ZnS:Mn/GaN 复合膜器件的光学和电学特性，提出了提高白光发射质量的方法和途径。

对提名书《主要科技创新》中所列 2,9,10 项创新点做出了创造性贡献，是附件 9,10 所列论文的第一作者，2 的第二作者。

(4) **纪延俊**，教授，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

项目参与，主要负责实验数据分析处理、理论分析等工作，投入本项目研究的工作量占本人工作量的 30%，取得的主要成果及贡献包括：

① 对实验数据分析处理，归纳总结，建立合理的 PN 结能带模型，阐释异质结的载流子输运、复合发光特性和白光发射的机理。

② 对制备条件和测试结果深入的物理分析，得到器件发射白光的最佳条件。

对提名书《主要科技创新》中所列 9,10 项创新点做出了创造性贡献，是附件 10 所列论文的第三作者。

(5) **薛华**，副教授，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

项目参与，主要负责实验数据整理、理论分析等工作，投入本项目研究的工作量占本人工作量的 20%，取得的主要成果及贡献包括：

① 对实验数据分析处理，归纳总结。

② 详细阐释了提高 ZnS 基复合膜器件白光发射性能的方法，为获得高质量白光 LED 提供依据。

对提名书《主要科技创新》中所列第 10 项创新点做出了创造性贡献，是附件 10 所列论文的第二作者。

(6) **李洁**，实验师，滨州学院，对本项目技术创造性贡献：

项目参与，主要负责实验数据采集、实验数据分析处理等工作，投入本项目研究的工作量占本人工作量的 20%，取得的主要成果及贡献包括：

① 对样品进行深入的测试和分析，研究样品制备的最佳条件。

② 整理实验过程中的关键数据并进行系统的分析，阐释白光发射机理。

对提名书《主要科技创新》中所列第 9 项创新点做出了创造性贡献，是附件 9 所列论文的第四作者。

8、全部完成单位及排序

滨州学院（独立完成）。