

ZnSe量子点光电探测器的制备及其性能研究

李 静

(郑州工业应用技术学院,河南省郑州市,450064)

摘要 本研究旨在合成ZnSe量子点并制备基于ZnSe量子点的光电探测器,评估其光电性能。采用热注入法合成ZnSe量子点,利用无水醋酸锌和硒粉作为前驱体,经过精确的温度控制和惰性气氛保护,成功获得了高质量的ZnSe量子点。随后,通过旋涂法将量子点薄膜制备在ITO基底上,并在高温下进行退火处理,以提高薄膜的结构稳定性和光电性能。最终,制备的ZnSe光电探测器经过I-V特性和光谱响应测试,结果显示其在可见光波段具有良好的光电转换能力,尤其在500nm波长处的响应电流达到最大值5.8 μ A,表明其在光电探测应用中具有广阔的前景。

关键词 ZnSe量子点;光电探测器;性能

中图分类号:0471.5 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2025)06-0016-03

ZnSe量子点作为一种重要的II-VI族半导体材料,具备优异的光电性能,如较大的激子束缚能、较宽的光谱响应范围以及良好的化学稳定性等特性^[1]。这些优势使得ZnSe量子点在光电探测器、太阳能电池及发光器件等领域展现出广阔的应用前景^[2]。ZnSe量子点的合成方法多样,包括热注入法、溶剂热法等,其中热注入法因其优良的可控性和高效性而被广泛采用^[3]。通过调节反应条件,如温度、前驱体浓度和反应时间,实现对ZnSe量子点的粒径和形貌的精确控制,从而优化其光电性能^[4]。

1 器件制备与测试

1.1 ZnSe量子点的制备

1.1.1 前驱体的制备

在前驱体的制备过程中,精确称量0.6mmol的无水醋酸锌和2mmol的硒粉。将这两种化学试剂加入到10mL的1-十八烯(ODE)中。此时,应开启搅拌器,保持均匀搅拌的状态,同时逐渐加热反应混合物。加热过程中,需注意温度的逐步上升,以确保无水醋酸锌和硒粉能够完全溶解。待反应体系中的固体完全溶解后,将温度升高至140 $^{\circ}$ C并维持该温度10min。

1.1.2 ZnSe量子点的合成

在前驱体制备完成后,接下来进行ZnSe量子点的合成。将制备好的前驱体加热至300 $^{\circ}$ C,此时需保持搅拌以确保温度均匀分布。随后,快速注入预先准备好的硒前驱体溶液。注入后,需立即计时,反应时间设定为3s。反应结束后,迅速加入少量的1-十八烯(ODE),以帮助调节反应体系的粘度和热量传递。此时,需将温度迅速提升至300 $^{\circ}$ C并保持该温度反应10min,以确保反应充分进行,促进ZnSe量子点的形成和生长。

1.1.3 量子点的提取

反应结束后,向反应体系中注入5mL的油酸锌前驱体溶液,以促进ZnSe量子点的进一步稳定化和分散。此时,保持反应体系的搅拌,持续反应1h,以确保油酸锌与ZnSe量子点充分结合,形成稳定的复合材料。反应时间结束后,通过离心分离的方法将ZnSe量子点从反应体系中提取出来。在离心过程中,量子点会沉淀到底部,而上层液体则被去除^[5]。

1.2 ZnSe量子点薄膜的制备

首先,准备清洗过的ITO(铟锡氧化物)基底。ITO基底因其优良的导电性和透明性,广泛应用于光电器件中。在开始旋涂之前,确保基底表面干净无尘,通常使用超声波清洗剂或去离子水进行清洗,随后用氮气吹干,以去除表面的水分和杂质。接下来,将清洗后的ITO基底固定在匀胶机上。将ZnSe量子点溶液均匀涂布在基底上,设置旋转速度

作者简介:李静(1994~),女,河南商丘人,硕士,研究方向:物理学。

为3 000r/min,旋转时间为30s。此过程中的离心力使得量子点溶液均匀分布在ITO基底表面,形成初步的薄膜。旋涂完成后,将ZnSe薄膜放置在温度为100℃的加热面板上进行预退火处理。处理时间设定为7min,确保薄膜在此温度下充分退火,以提高薄膜的结构稳定性。随后,将薄膜进一步放置在320℃的加热面板上进行退火处理。处理时间设定为13min,确保在高温下薄膜能够充分反应并形成均匀的结晶结构。为了获得所需厚度的ZnSe薄膜,以上步骤需要重复两次。

1.3 ZnSe光电探测器的制备

首先,对ITO基底进行刻蚀处理,以实现图案化的阴极。刻蚀过程通常采用光刻技术,首先在ITO基底上涂布一层光刻胶,然后通过光照曝光形成所需的图案。曝光后,进行显影处理以去除未曝光部分的光刻胶,最后使用化学刻蚀剂去除暴露出的ITO材料,从而得到所需的阴极图案。刻蚀完成后,使用去离子水、丙酮和乙醇对图案化的ITO基底进行清洗。去离子水用于去除水溶性杂质,丙酮则用于去除光刻胶残留和其他有机污染物,而乙醇则用于进一步清洗和干燥基底。清洗后,确保ITO基底干燥无尘,以保证后续ZnSe薄膜的附着和性能。接下来,将涂有ZnSe薄膜的基底固定在匀胶机上,按照1.2节中描述的步骤进行ZnSe薄膜的制备。这一过程包括将ZnSe量子点溶液均匀涂布在基底上,并进行预退火和退火处理,以确保薄膜的质量和均匀性。最后,将器件移至热蒸发镀膜机中,在真空环境下完成Au材料的蒸镀。热蒸发镀膜技术是一种常用的金属薄膜沉积方法,能够在基底表面形成均匀的金属层。首先将金属铝放置在蒸发源中,利用加热将其蒸发成气态,并在真空环境中沉积到ZnSe薄膜上。控制蒸镀速率在0.3nm/s,确保Au电极的沉积均匀且稳定。经过蒸镀后,得到的Au电极厚度约为200nm。

1.4 器件性能测试

1.4.1 I-V特性测试

使用半导体参数分析仪(型号:4200A-SCS)在常温下测试器件的I-V特性,记录不同电压下的电流变化。

1.4.2 光谱响应测试

使用光纤光谱仪(OceanOpticsUSB2 000+)进

行光电探测器的光谱响应测试。

2 结果与讨论

2.1 结果

2.1.1 ZnSe量子点的光谱特性

ZnSe量子点的光谱特性通过光致发光(PL)光谱测量进行评估。实验中,使用激发波长为350nm的激光对ZnSe量子点进行激发,记录其光致发光光谱。实验结果显示,ZnSe量子点在该激发波长下表现出明显的光致发光峰,峰值位于480nm(见表1)。这一结果表明ZnSe量子点在可见光范围内具有良好的发光特性,适合用于光电探测器的应用。

表1 ZnSe量子点的光致发光光谱特性

激发波长/nm	发光峰波长/nm	发光强度/(a.u.)
350	480	1 500
350	500	800
350	520	300

2.1.2 I-V特性测试结果

ZnSe光电探测器的I-V特性测试结果如图1所示。通过对器件施加不同电压并测量相应的电流,能够评估其导电性能和整流特性。测试结果表明,随着正向电压的增加,器件中的电流逐渐增加,显示出良好的导电性和响应特性。

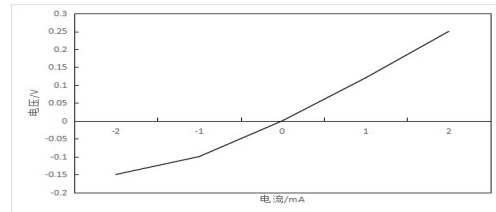


图1 ZnSe光电探测器I-V特性测试结果

2.1.3 光谱响应测试结果

光谱响应测试结果显示,ZnSe量子点光电探测器在可见光范围内表现出良好的响应能力。通过对不同波长光源的照射,测试器件的响应电流,结果表明该器件在可见光波段内具有显著的光电转换能力。响应峰值出现在500nm处,具体响应数据如图2所示。

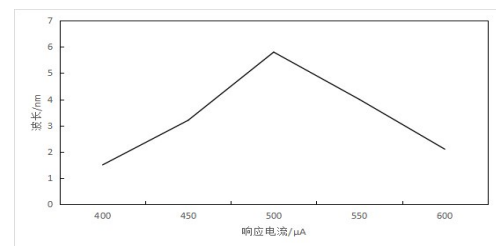


图2 ZnSe光电探测器光谱响应测试结果

从图 2 中看出, ZnSe 量子点光电探测器在 500nm 波长处的响应电流达到最大值 5.8 μ A, 显示出 ZnSe 量子点对可见光的良好敏感性。这一结果表明, 器件在该波长下能够有效地将光信号转化为电信号, 适合于光电探测应用。在 400nm 波长处, 器件的响应电流为 1.5 μ A, 虽然相对较低, 但仍显示出一定的光电响应能力。随着波长的增加, 响应电流逐渐上升, 450nm 时达到 3.2 μ A, 表明 ZnSe 量子点在短波长可见光范围内也具有一定的响应能力。当波长增加至 550nm 时, 响应电流略微下降至 4.0 μ A, 显示出器件在中波长可见光范围内的稳定性。最后, 在 600nm 波长处, 响应电流降至 2.1 μ A, 表明在长波长可见光范围内, 器件的响应能力有所减弱。总体来看, ZnSe 量子点光电探测器在可见光范围内表现出良好的光谱响应特性, 尤其在 500nm 波长处的峰值响应电流表明其在该波长下的优异性能。

2.2 讨论

本研究中合成的 ZnSe 量子点具有良好的光学特性和电气性能。光致发光测试结果表明, ZnSe 量子点的发光峰值位于 480nm, 符合预期, 这与量子点的尺寸和合成条件密切相关。通过调节合成条件, 如反应温度和前驱体浓度, 进一步优化量子点的光学性能。I-V 特性测试结果显示, ZnSe 光电探测器在正向电压下表现出良好的导电性, 这为器件的应用提供了良好的基础。负向电压下的电流变化表明器件具有一定的整流特性, 与 ZnSe 量子点的能带

结构有关。光谱响应测试结果进一步证实了 ZnSe 量子点在可见光范围内的应用潜力, 尤其是在 500nm 处的响应电流最大, 表明其在光电探测器中的有效性。

3 结论

本研究验证了 ZnSe 量子点在可见光范围内的优异光电性能, 尤其是在 500nm 波长处表现出显著的光电响应能力。研究表明, ZnSe 量子点具有良好的发光特性和导电性能, 适合用于光电探测器的应用。未来的研究进一步优化 ZnSe 量子点的合成条件, 以提高其光电性能和稳定性。

参考文献

- [1] 邹东娜, 吐尔逊·阿不都热依木, 如仙古丽·加玛力, et al. 碳量子点修饰给受体共轭聚合物/ZnO 复合物的制备及在紫外光电探测器中的应用[J]. 高分子材料科学与工程, 2023, 39(3): 140-147.
- [2] 田璐璐, 刘欢, 解飞, 等. 基于低缺陷 ZnO 电子传输层的 PbS 量子点光电探测器研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(3): 18-25.
- [3] 李力, 耿会娟, 张天昊, 等. 基于 PbS 量子点光电探测器的脉搏检测系统研究[J]. 中国光学(中英文), 2024, 17(5): 1236-1243.
- [4] 朱建华, 容萍, 任帅, 等. ZnO 纳米棒/Bi₂S₃ 量子点异质结的制备及光电探测性能研究[J]. 光学精密工程, 2022(016): 030.
- [5] 黄征, 黄菲, 田建军. CuInSe₂ 量子点的制备及光电应用研究进展[J]. 稀有金属, 2022(006): 046.