

# 一种新型的多用途发光量子点——InP

尉紫冰 马皓天 李旭 关丽

(河北大学物理科学与技术学院河北省光电信息材料重点实验室 河北保定 071002)

(收稿日期:2017-08-08)

**摘要:** InP 量子点是一种典型的 III-V 族半导体纳米材料, 由于其在禁带宽度、电子迁移率等方面的独特性能而受到广泛关注. 研究人员通过控制反应条件、表面修饰以及进行掺杂等对 InP 材料的性能进行调控, 使之更广泛地应用于通信、材料、传感、能源及照明等领域.

**关键词:** InP 量子点 电子迁移率 照明

物理学诺贝尔奖获得者 Richard P. Feynman 于 1959 年 12 月在加州理工学院做了题为《Plenty of Room at the Bottom》的著名演讲, 这次在美国物理学会年会时的演讲揭开了纳米材料研究的序幕. 随着研究的不断深入, 纳米材料的小尺寸效应、量子限域效应、表面效应以及量子隧穿效应等不同于体材料的特性被发现, 这也使得这些材料呈现出与传统体材料不同的光、电、热和磁等物理化学性能. 功能材料是纳米材料学中研究最为广泛的一类材料, 涉及到信息、生物、环境、能源以及航天等领域.

InP 是一种典型的 III-V 族化合物半导体功能材料, 该材料除了具有纳米材料的特征外, 还具有独特的性能.

(1) 其晶格结构与金刚石结构相仿, 属于闪锌矿结构, 是一种直接禁带半导体材料, 室温下禁带宽度为 1.35 eV;

(2) 激子玻尔半径为  $\alpha_B = 14$  nm, 较大的玻尔半径使其显示出更强的量子限域效应;

(3) 由于自由电子跃迁不需要声子的参与, 所以跃迁几率很高, 对于大于禁带宽度的光子具有较高的吸收率;

(4) 具有较高的电子迁移率 ( $\sim 4\,000$  cm<sup>2</sup>/V·s);

(5) 较高的热导率、高抗辐射阻抗. 这使得 InP 广泛应用于光纤通信、生物传感、太阳能电池以及量子点 LED 领域.

InP 材料的广泛应用也使得研究人员更加关注其性能优化. 可以通过几种方法实现该材料的发光强度、量子效率的提高和颜色的调控.

(1) 通过改变量子点的粒径调控 InP 材料的激

发和发射光谱. A. Zunger 等人研究了粒径在 2.6~6 nm 范围的 InP 量子点的发光之间的关系. 随着粒子尺寸的减小, 发射光谱和激发光谱都发生蓝移<sup>[1]</sup>.

(2) 通过选择合适的反应原料及合成工艺条件控制合成样品的发光强度和量子效率. Natalia Mordvinova 等选用气态的磷化氢作为磷源, 豆蔻酸和 TOP 作为稳定剂制备了性能优良的 InP 材料, 材料的量子产率可以达到 20%<sup>[2]</sup>.

(3) 对 InP 材料表面的处理. Arnaud Cros-Gagneux 等通过红外光谱的研究证明了 InP 量子点的外部有一层氧化壳层和一层由长链非配位溶剂 ODE 构成的壳层<sup>[3]</sup>. Shanshan Tian 等利用 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S 处理 InP 表面的氧. 结果表明, 当处理时间小于 10 min 时, InP 发光强度随着 S 处理时间的延长而逐渐增加; 而超过 10 min 以后发光强度随着处理时间的增加而降低. 这是因为开始时表面悬挂键随着 S-In 键的形成逐渐减少, 使发光增强; 而超过 10 min 以后, InP 材料的表面生成了一层较厚的 S 覆盖层, 从而影响了发光<sup>[4]</sup>. Waleed E. Mahmoud 等利用 6-巯基乙酸作为 InP 量子点的表面包覆剂, 降低了材料表面缺陷, 提高了其发光强度近 10 倍<sup>[5]</sup>.

(4) 在 InP 量子点核的外边包覆不同壳层调制发光. Jun Yin 等在 InP 表面包覆一层 poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl)-P3HT 有机物, 可以实现对 InP 发光的调制<sup>[6]</sup>. Peter Reiss 等利用十二硫醇为表面活性剂十八烯为溶剂, 利用“一锅法”合成了 InP/ZnS 量子点. 由于稳定性高, 带隙较宽的 ZnS 包覆在 InP 外边, 使得 InP/ZnS 量子点稳定性有了

(下转第 122 页)

的教学策略,保证学生顺利完成这一学习过渡,则显得十分重要.

为此,本文通过对人教版、沪科版和粤教版3个版本的教材进行对比分析,通过比较三者在线运动到曲线运动的衔接处理上的优缺点,取长补短,得出了在这部分内容中的相关教学策略,希望藉此与广大教师交流.

同时通过本文的工作,可以看出进行教材对比研究,能够使教学者发现更多的教学思路,从而“集众家之长”实施教学活动.

#### 参考文献

- 1 张大昌,张维善. 物理必修2. 北京:人民教育出版社, 2010
- 2 束炳如,何润伟. 物理必修2. 上海:上海科技教育出版社, 2004

(上接第116页)

很大程度的提高.与纯ZnS相比,壳层中的In使InP的电导降低,从而得到了InP/ZnS量子点的激发和发射的红移和高达70%的量子效率<sup>[7]</sup>.

(5)通过对InP纳米材料的掺杂实现性能调控.通过对InP材料中掺入过渡金属离子Mn或者对In(P)进行同族元素取代以及非金属元素S等的取代,实现对材料性能的调控.InP纳米材料的性能受掺杂材料的影响,不同的掺杂材料会造成InP性能不同程度的改变.研究的最终目标就是实现按照人类自己的意愿设计、合成InP纳米材料,加速该系列材料的进一步推广应用.

目前,关于InP纳米材料的研究主要集中在对其形貌、尺寸、晶体结构等的控制合成,合成方法的简单化以及如何实现大规模、高质量合成等方面.这些是对其进行组装和构建纳米器件,并得到大规模商业化应用的前提.同时,研究InP纳米材料的可控生长还可帮助人们认识和理解原子或分子水平上晶体的成核与生长规律,进一步探索杂质和缺陷对InP纳米材料性能的影响.InP纳米材料定将在以后的生物科学、新能源、电子器件和固态照明等领域大放异彩.

- 3 保宗梯,张军朋. 物理必修2. 广东:广东教育出版社, 2007
- 4 耿碧玉. 高中物理不同版本教材中曲线运动内容的比较研究:[学位论文]. 兰州:西北师范大学, 2015
- 5 赵莹,王晶莹.“曲线运动”教学探微. 中学物理教学参考, 2015, 44(12): 48~49
- 6 何立平,程敏熙. 用视频分析软件Tracker研究二维平面碰撞的动量守恒. 大学物理, 2015, 34(9): 31~34
- 7 贾昱,程敏熙,安盟等. 基于视频分析软件Tracker测量刚体转动惯量. 物理实验, 2014, 34(5): 33~35
- 8 王经淘,程敏熙,贾昱,等. 利用Tracker软件分析气垫导轨上弹簧振子的阻尼振动. 大学物理, 2014(04): 22~24
- 9 丁晓彬,董晨钟. 基于2D开源视频分析和建模软件Tracker研究抛体运动实验. 大学物理, 2012(07): 34~36, 60

#### 参考文献

- 1 O. I. Mic'ic', H. M. Cheong, H. Fu, et al. Size-Dependent Spectroscopy of InP Quantum Dots. J. Phys. Chem. B, 1997, 101, 4904~4912
- 2 Natalia Mordvinova, Alexander Vinokurov, Sergey Dorofeev, et al. Phosphine synthetic route features and postsynthetic treatment of InP quantum dots. J. Alloy. Compd., 2014, 582: 43~49
- 3 Arnaud Cros-Gagneux, Fabien Delpech, Ce'line Nayral, et al. Surface Chemistry of InP Quantum Dots: A Comprehensive Study. J. Am. Chem. Soc., 2010, 132, 18147~18157
- 4 Shanshan Tian, Zhipeng Wei, Yongfeng Li, et al. Surface state and optical property of sulfur passivated InP. Mater. Sci. Semicon. Proc., 2014, 17: 33~37
- 5 Waleed E. Mahmoud, Y. C. Chang, A. A. Al-Ghamdi, et al. 6-Mercaptohexanoic acid assisted synthesis of high quality InP quantum dots for optoelectronic applications. Superlattice. Microst., 56 (2013) 86~91
- 6 Jun Yin, Manoj Kumar, Qiong Lei, et al. Small-Size Effects on Electron Transfer in P3HT/InP Quantum Dots. J. Phys. Chem. C, 2015, 119, 26783~26792
- 7 Liang Li, Peter Reiss. One-pot Synthesis of Highly Luminescent InP/ZnS Nanocrystals without Precursor Injection. J. Am. Chem. Soc., 2008, 130, 11588~1158