

水热合成 ZnO: Cd 纳米棒的微结构及光致发光特性*

王长远 杨晓红[†] 马勇 冯媛媛 熊金龙 王维

(重庆师范大学, 光学工程重点实验室, 重庆 400047)

(2014年3月11日收到; 2014年4月8日收到修改稿)

采用水热法制备了 ZnO 和不同掺杂浓度的 ZnO: Cd 纳米棒, 通过 SEM, XRD、拉曼光谱等的分析, 研究了 ZnO 和 ZnO: Cd 的微结构并测试分析了其光致发光特性. 结果表明, ZnO 和 ZnO: Cd 纳米棒呈六角纤锌矿结构, Cd 掺杂使得纳米棒体积更小. 由于内部张应力的影响, Cd 掺杂使得材料光学带隙减少. 当掺杂浓度为 2% 时, 合成的材料光致发光谱中出现了位于 2.67 eV 处, 由导带底和 Zn 空位 (V_{Zn}) 缺陷能级跃迁造成的蓝光发射峰, 并且 Cd 的掺入使得位于 2.90 eV 附近的紫光发射峰强度增强, 对于研究 ZnO 蓝紫发光器件具有重要的意义.

关键词: 水热法, ZnO: Cd 纳米棒, 微结构, 光致发光

PACS: 77.55.hf, 61.46.Km, 78.55.-m

DOI: 10.7498/aps.63.157701

1 引言

ZnO 是一种性能优异的半导体材料, 室温下禁带宽度为 3.37 eV, 激子束缚能为 60 meV, 具有很好的光学、电学、催化特性^[1-7], 被广泛用于发光二极管、紫外探测器和激光器等领域^[8-11]. 近年来, 由于蓝紫光半导体激光器应用的需要, 人们对紫光和蓝光等短波长发光材料的需求越来越迫切. 已有研究发现通过掺杂可实现对 ZnO 发光性能的调节, 进而实现短波发射和提高材料的发射强度: Wang 等^[12]利用靶磁控溅射法制备的 Fe 掺杂 ZnO 薄膜出现了位于 418 nm (2.97 eV) 紫光发射; Chen 等^[13]制备了 Ag 掺杂的 ZnO 薄膜, Ag 掺杂的氧化锌的紫外激发是纯氧化锌紫外激发的三倍以上.

Cd 和 Zn 同属第二副族, Cd 掺杂 ZnO 可以实现 ZnO 中的 Zn 替位掺杂, 从而使得 ZnO 的结构、性质发生改变. Yakuphanoglu 等^[14]利用溶胶-凝

胶法合成了 ZnO: Cd 薄膜, 对该材料的研究结果表明, 随着 Cd 掺杂浓度的增加光学带隙减小. Zhang 等^[15]利用溶胶-凝胶法合成了 ZnO 和 ZnO: Cd 的量子点, 文章指出 Cd 的掺杂能够使得量子点的粒子尺寸减小, 同时可以提高材料的荧光发光强度.

已有研究显示 Cd 掺杂能够影响 ZnO 材料中氧空位、锌空位和锌间隙缺陷, 调节缺陷在材料中所占的比例, 从而改变其带隙宽度及电学、光学等性质, 这些性质的改变同样会影响 ZnO 光致发光特性. 近年来基于 ZnO 纳米材料的蓝紫光发光器件一直是研究热点, 但对 Cd 掺杂 ZnO 蓝紫发光研究极少. 本文采用低温水热法通过控制 Cd 的掺杂比例合成了具有理想配比及结构形态的 ZnO: Cd 纳米棒, 利用扫描电镜 (SEM)、X 射线衍射仪 (XRD)、拉曼光谱等对其微结构进行了分析研究, 测试分析了其光致发光 (PL) 特性, 研究了 Cd 掺杂对短波长 PL 谱的影响, 对于发展 ZnO 蓝紫光器件有重要意义.

* 庆师范大学博士启动基金 (批准号: 10XLB001) 和国家自然科学基金青年基金 (批准号: 61106129) 资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: y6928@cqnu.edu.cn

2 实 验

2.1 纯 ZnO 和不同浓度 ZnO:Cd 纳米棒合成

本研究采用低温水热法分别合成 ZnO 和不同浓度 ZnO:Cd 纳米棒. 首先, 将 0.01 mol $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶于 15 ml 去离子水, 将 0.01 mol $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ 溶于 10 ml 去离子水, 放在磁力搅拌器搅拌 30 min 备用. 接着, 将不同量的 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (按原子摩尔比 Cd/Zn 分别为 0, 0.01, 0.02, 0.03 和 0.04) 分别加入到制备好的 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 溶液搅拌 15 min. 然后加入制备好的 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ 溶液, 滴加氨水调节 pH, 磁力搅拌器搅拌 10 min, 获白色乳液. 将白色乳液装入反应釜中, 放入马弗炉, 将温度调为 100 °C, 反应 24 h. 取出样品, 用去离子水反复洗涤多次, 蒸干获得白色粉末.

实验中的药品都是分析纯的. 为表述方便, 在后文分析中统一把原子摩尔比 Cd/Zn 分别为 0, 0.01, 0.02, 0.03 和 0.04 配比的原液制得的样品称作纯 ZnO 和掺杂浓度为 1%, 2%, 3%, 4% 的样品.

2.2 样品的表征

采用扫描电子显微镜 (SEM LEO 1530) 表征样品的形貌, X 射线衍射仪 (XRD, $\text{CuK}\alpha$ 波长 0.154178 nm, 扫描步长 0.06°) 分析样品的晶体结构, U-4100 双光束紫外-可见-近红外分光光度计 (波长范围为 400—800 nm) 测量样品的透射率. 采用 Labram HR800 型激光共聚焦拉曼光谱仪测试样品的拉曼特性, 其中激发光源为 Ar^+ 激光器, 激发光波长为 532 nm, 分辨率为 0.5 cm^{-1} . LS -55 荧光/磷光发光分光光度研究发光性能, 其中光源为脉冲氙灯, 激发狭缝宽度 11 nm, 激发波长为 300 nm.

3 结果与分析

3.1 SEM 形貌分析

为了准确的观察所制备样品的形貌和尺寸大小, 对纯 ZnO 和 ZnO:Cd 样品进行了 SEM 分析. 图 1 为纯 ZnO 和掺杂浓度为 2% ZnO:Cd 样品的 SEM 图.

从 SEM 图可以看出纯 ZnO 和 2% ZnO:Cd 都是纳米棒状六角晶体结构, 延 c 轴定向生长图 1 (a) 是纯 ZnO 纳米棒, 放大倍数是 21000, 图 1 (b) 是 ZnO:Cd 纳米棒, 放大倍数是 40000. 比较图 1 (a), (b) 可见, ZnO:Cd 纳米棒的尺寸明显小于纯 ZnO, 说明 Cd 的掺入可以降低 ZnO 的生长速度, 得到更细小结晶质量更好的纳米材料. Vijayalakshmi 等^[16] 利用喷雾热解法制备了 ZnO:Cd 的薄膜, 他们的研究也发现随着 Cd 浓度的增加薄膜的粒子尺寸减小.

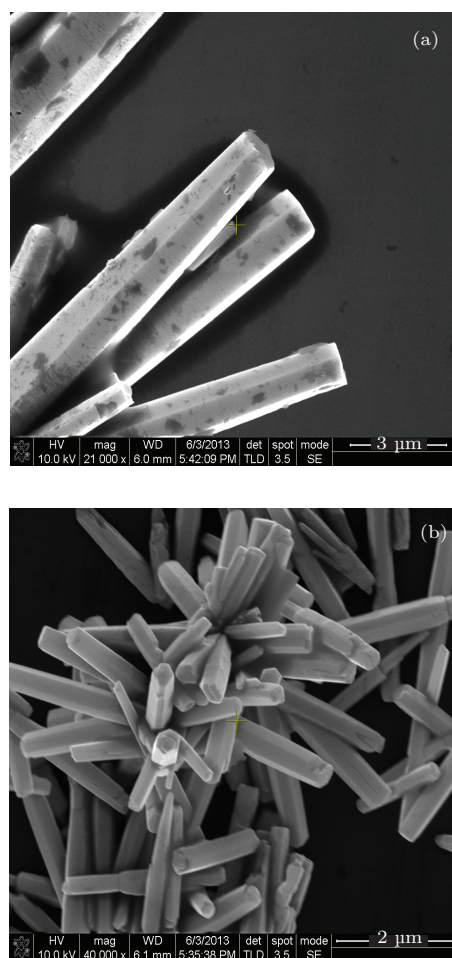


图 1 (a) 纯 ZnO SEM 图; (b) 2% ZnO:Cd SEM 图

3.2 XRD 结构分析

图 2 是所制备样品的 XRD 图谱: (a) 为纯 ZnO 纳米棒的图谱; (b), (c), (d), (e) 为 ZnO:Cd 纳米棒图谱, 掺杂浓度分别为 1%, 2%, 3%, 4%.

通过与标准卡片进行比对, 衍射数据与 ZnO 的 JCPDS(36-1451) 标准数据一致, 为六角纤锌矿晶体结构. 通过对图 2 的分析可知, ZnO:Cd 纳米

棒出现的衍射峰与纯的 ZnO 出现的衍射峰相似, Cd 掺杂样品的 XRD 谱中也没有观察到 Cd 及其氧化物杂质峰, 但 ZnO:Cd 纳米棒随着 Cd 掺杂浓度的增加, 衍射峰位向低角度方向出现了偏移. 以 2%ZnO:Cd 纳米棒为例, 其中 (100), (101) 峰减小 0.54°, (102), (110) 减小 0.48°, (002) 峰以及其他峰都减小 0.42°. 同时, 从图 2 各谱线可以看出, 随着 Cd 掺杂浓度的增加 (101) 和 (100) 峰的相对强度逐渐降低, 而 (002), (200) 及 (202) 峰强度先减小后增大.

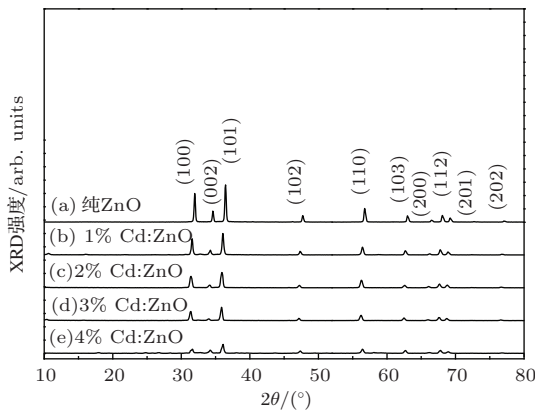


图 2 不同掺杂浓度的 ZnO:Cd 纳米棒的 XRD 图谱

通过对样品 XRD 数据的分析比对, ZnO:Cd 纳米棒虽未见 Cd 及其氧化物杂质峰, 但与纯 ZnO 纳米棒 XRD 数据相比出现微小变化 Cd 与 Zn 同属第二副族, 物理化学性质相似, 但 Cd²⁺ 的半径 (0.097 nm) 比 Zn²⁺ 的半径 (0.074 nm) 大, 说明 Cd 是以替位形式掺杂进入了 ZnO 的晶格, 使得晶格内部产生应力, 进而使 ZnO 的晶格发生了微小的畸变 Tang 等 [17] 也通过理论计算得出 Cd 的掺杂会使得 ZnO 晶体的 a 轴和 c 轴方向都有不同程度的增加, 他们的理论计算与本文的实验结果分析结果是一致的. 掺杂后峰值的降低主要是由于 Cd 掺杂 ZnO 纳米棒的尺寸比纯 ZnO 明显减小引起的, 而所有 XRD 曲线的背景线都非常平直, 说明纯 ZnO 和 ZnO:Cd 纳米棒的结晶度都较好.

3.3 拉曼光谱分析

拉曼光谱是从声子能量的角度判断纳米材料的结晶质量、晶格畸变和晶体缺陷的一种重要手段. ZnO 是六角纤锌矿结构, 属于 C_{4v}⁶ 空间群. 根据群理论, 单晶 ZnO 在 Brillouin 区的 Γ 点有八组

光学声子模: $\Gamma_{\text{opt}} = 1A_1 + 1E_1 + 2E_2 + 2B_1$, 未极化的 E₂ 模有两种频率 E₂(low) 和 E₂(high), 它们对应于 ZnO 晶格振动. 在电场作用下, 极化的 A₁ 和 E₁ 模分别被分裂成纵向 (LO) 声子和横向 (TO) 声子. 通常 ZnO 的光学声子模有: A₁ (574 cm⁻¹ 和 380 cm⁻¹), E₁ (583 cm⁻¹ 和 407 cm⁻¹) 和 E₂ (101 cm⁻¹ 和 437 cm⁻¹), 其中两个 B₁ 模是禁戒的.

不同掺杂浓度的 ZnO:Cd 纳米棒的拉曼光谱如图 3 所示.

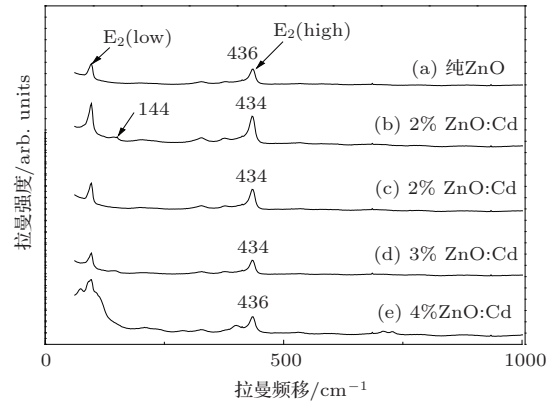


图 3 不同掺杂浓度的 ZnO:Cd 纳米棒的拉曼光谱

从图 3 可以看出所有样品出现了位于 101 cm⁻¹ 和 436 cm⁻¹ 附近的拉曼峰, 分别对应于 ZnO 六角纤锌矿的特征峰 E₂(low) 和 E₂(high), 进一步说明纯 ZnO 纳米棒和 ZnO:Cd 纳米棒为六角纤锌矿结构. 通常, E₂(high) 模的位置向高波数方向移动时, 晶体内部存在的是压应力; 当其向低波数的方向移动时, 内部存在的是张应力 [18]. 在本实验中, 当 Cd 掺杂浓度为 1%, 2%, 3% 时, E₂(high) 模位置都向低波数的方向移动了 2 cm⁻¹, 说明合成的材料内部产生了张应力. 一般应力的产生是由于衬底与材料的热膨胀系数不同, 或者是晶格失配和晶格畸变所产生的. 由 XRD 分析可知, 本研究合成的材料内部的张应力是由于半径大的 Cd²⁺ (0.097 nm) 掺杂进入 ZnO 的晶格中代替了 ZnO 中半径较小 Zn²⁺ (0.074 nm), 使得 ZnO 发生微小晶格畸变产生的. 同时 E₂(high) 拉曼峰的强弱与晶体的结晶质量有关, 由图 3 可以看出, 掺杂浓度为 1%, 2% ZnO:Cd 纳米棒的 E₂(high) 的拉曼峰有所增强, 同时光谱峰宽也明显变窄了, 说明结晶质量较好.

另外, 通过 ZnO:Cd 的材料拉曼谱可以看到, 在 144 cm⁻¹ 附近存在拉曼振动峰, 而纯的 ZnO 中没有此峰. 目前对于掺杂引起的局域振动模研究的

人很多, Zang等^[19]研究N掺杂ZnO的拉曼光谱中观测到位于274 cm⁻¹的拉曼峰, 认为是由于N掺杂引起的局域振动模. Deng等^[20]把ZnO:Sb薄膜的拉曼光谱中位于532 cm⁻¹的振动模归因于Sb替代Zn位且与O成键的局域振动模式(LVMSb-O). 本文推测144 cm⁻¹附近的拉曼峰是Cd掺杂所引起的局域振动模.

3.4 透射谱分析

将样品溶解于酒精, 超声波均匀分散后, 旋涂于干净的玻璃衬底上, 烘干, 制成ZnO和不同掺杂浓度的ZnO: Cd薄膜, 进行透射光谱研究不同掺杂浓度的ZnO: Cd薄膜透射率和光学带隙图谱如图4所示.

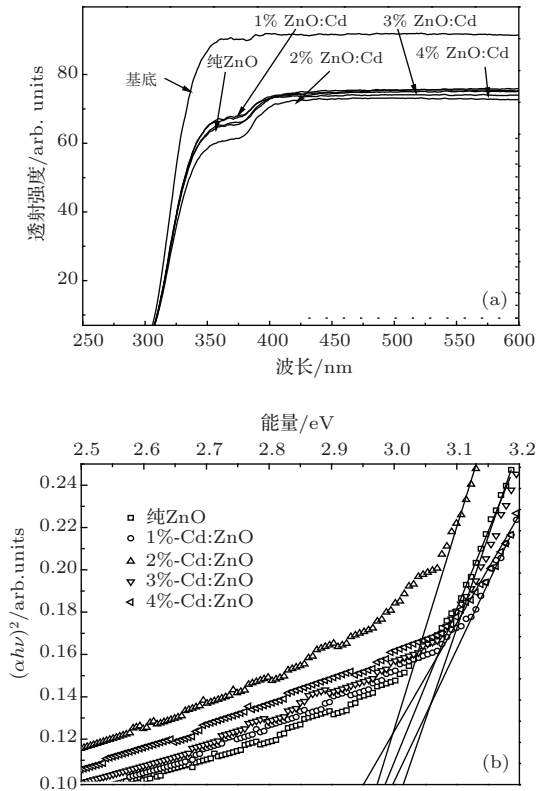


图4 (a)不同掺杂浓度的ZnO: Cd样品的透射率; (b) ZnO: Cd薄膜带隙随Cd掺杂浓度的变化关系

图4为不同掺杂浓度的ZnO: Cd透射率图谱, 从图中可以看出5个样品在310—400 nm之间透射率急剧下降, 考虑玻璃基底的透射率特性(玻璃的吸收边位于310—350 nm之间), 350—400 nm为样品的吸收边. 按照经典光谱学的理论, 350—400 nm的吸收边归因于晶体价带到导带之间的吸收. 从图4可以看出, Cd的掺杂使得样品的吸收边向长波方向移动(即发生了红移), 这应该是Cd掺杂

对ZnO纳米材料的光学带隙产生了影响. 本文利用透射谱对ZnO: Cd纳米材料的光学带隙进行了推算, 以验证Cd的掺杂量对样品光学带隙产生的影响趋势.

由薄膜样品在350—400 nm波长范围内的透射光谱, 经计算获得了弱吸收区、中等吸收区与强吸收区薄膜的吸收系数. 根据

$$\alpha hv = B(hv - E_g)^{1/2} \quad (1)$$

所示Tauc方程外推得到了不同掺杂薄膜样品的光学带隙, 列于表1.

表1 不同掺杂浓度的ZnO: Cd样品的带隙

样品掺杂比/%	0	1	2	3	4
E_g/eV	3.01	3.00	2.97	2.99	2.95

由表1中数据可以看出Cd的掺入使得ZnO的带隙减小, 我们分析带隙的减小是由以下因素引起的: 1) 晶体内部存在的张应力. Jaffe等^[21]通过理论计算得出, 应力会对ZnO的禁带宽度有影响, 当ZnO处于压应变的时候禁带宽度变大, 而处于张应变的时候禁带宽度变小. 而前面的Raman图谱分析表明, Cd掺杂浓度为1%, 2%, 3%时, 晶体内部存在张应力. 2) 带隙的减小与在ZnO禁带中形成的杂质能级^[22]有关等. Bai^[23]利用第一性原理计算得出ZnO: Cd的导带是由Zn-4s, Cd-5s, O-2s和2p组成的混合态, 其中Cd-5s态与Zn-4s态杂化使得导带降低, 从而使得光学带隙减小.

3.5 光致发光谱分析

本文采用LS-55荧光/磷光发光分光光度计, 对材料进行了室温下的光致发光谱测试研究, 其中激发光源为氙灯, 激发波长为300 nm. 图5给出了纯ZnO和不同掺杂浓度的ZnO: Cd纳米棒的室温光致发光谱.

从图5中可以看出, 纯ZnO与ZnO: Cd纳米棒发射峰有明显的区别, Cd的掺入使得ZnO的发射峰减少, 说明Cd掺杂引起的ZnO晶格畸变, 的确影响了材料的发光特性. 图5中位于最右侧的P₁峰(3.09 eV, 3.08 eV, 3.05 eV, 3.08 eV, 3.09 eV)对应于纯ZnO和ZnO: Cd(1%, 2%, 3%, 4%)纳米棒的带边发射峰随着Cd掺杂浓度的增加, 使得带边发射峰先红移再蓝移, 在浓度为2%时发射峰能量最小, 这与透射谱分析材料带隙的趋势是一致的.

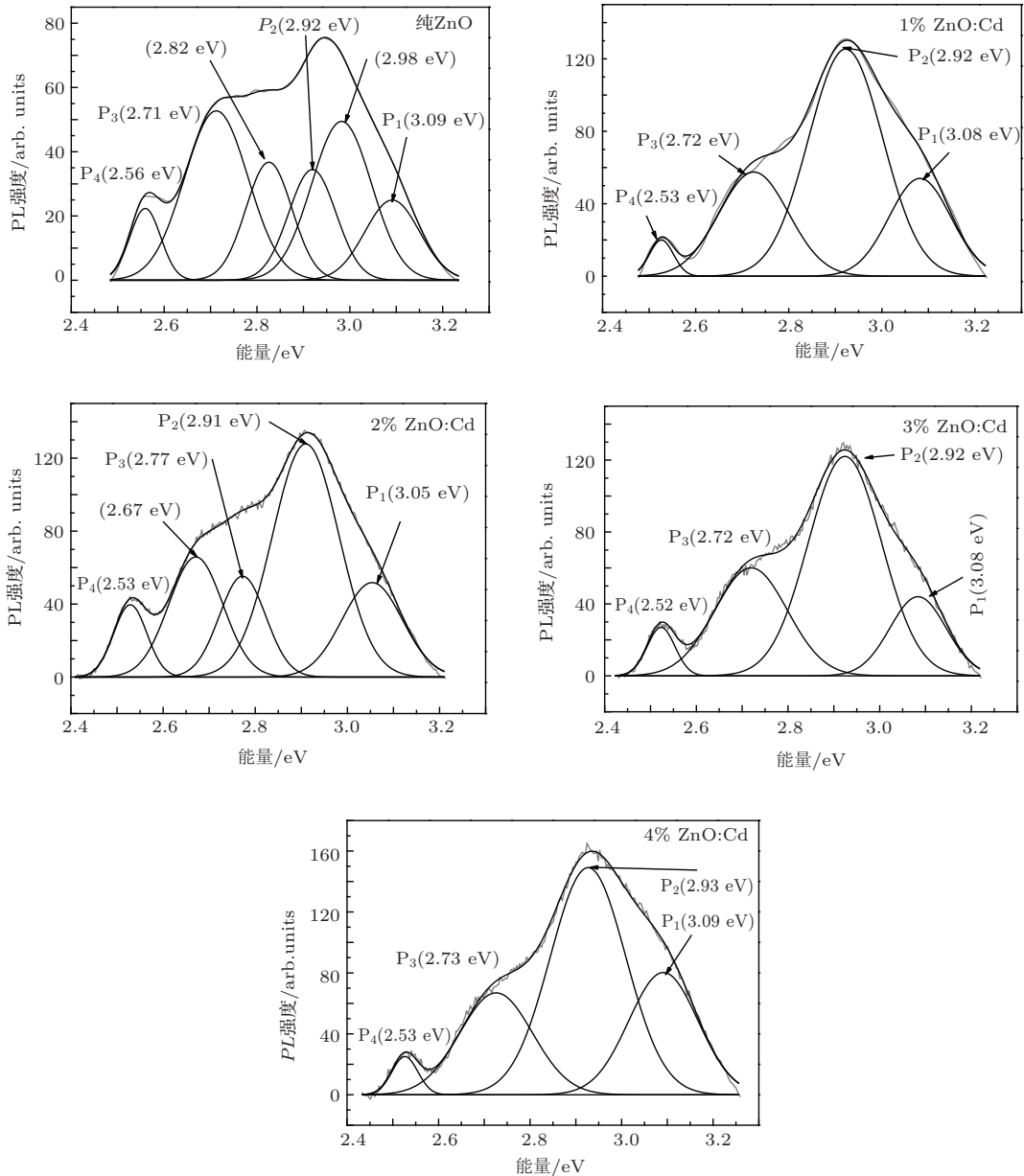


图5 纯 ZnO 和不同掺杂浓度的 ZnO:Cd 纳米棒的室温光致发光谱

图5显示所有样品都有位于2.90 eV附近的P₂峰. 在透射谱中分析光学带隙的减小可能与导带的降低^[23], 价带不变有关此峰具有稳定的发射峰位和较高的能量, 推测此峰的产生可能是某缺陷与价带之间的能级跃迁产生的. Lin等^[24]理论与实验相结合得出, Zn 间隙(Zn_i) 离价带顶2.90 eV, 与本文实验结果相一致, 表明P₂峰是由于Zn间隙(Zn_i)到价带顶的跃迁产生的. 同时还可以看出所有样品都存在2.53 eV左右的绿光发射峰, 绿色发光峰的产生是由于光生空穴和电子复合占据氧空位^[25]. 所以, 绿光发射峰与氧空位有关. 当Cd掺杂2%时, 绿色发光峰增强, Yang等^[26]利用气相

传输和冷凝方法合成ZnO纳米线, 在PL谱研究中指出: 纳米线的直径减小, 可以提高氧空位在晶体中的比例, 增强绿光发射峰强度. 本研究SEM中可以看出纳米棒的直径减小, 也可以进一步解释绿光发射增强的机理

ZnO:Cd掺杂浓度为2%时可以观测到位于2.67 eV峰位的蓝光发射峰, 而其他样品中没有此位置的峰. Xu等^[27]利用全势线性多重轨道(FP-LMTO)方法计算得到: Zn空位在离价带顶0.3 eV处产生浅受主能级. 由透射谱得出光学带隙宽度为2.97 eV, 则2.97 - 0.3 = 2.67 eV, 该值正好等于图中蓝光峰的能量, 所以可以得出该蓝光发射是由导

带底到 Zn 空位 (V_{Zn}) 浅受主能级之间的跃迁形成的. 同样可以观测到 Cd 的掺入使得材料位于 2.90 eV 附近的紫光发射强度增强. 掺杂浓度为 2% 的 ZnO: Cd 纳米棒, 即出现了 2.67 eV 的蓝光峰, 又提高了 2.90 eV 附近的紫光峰, 对于研究蓝紫光器件具有重要的意义.

4 结 论

用水热法制备了 ZnO 和不同掺杂浓度的 ZnO: Cd 纳米棒, 通过 SEM, XRD, 拉曼光谱和透射光谱研究了 ZnO 和 ZnO: Cd 的微结构和光致发光特性. 结果表明: 纯 ZnO 和不同掺杂浓度的 ZnO: Cd 均呈六角纤锌矿纳米棒结构, 延 c 轴生长, Cd 的掺入使得 ZnO 纳米棒的尺寸减小, 光学带隙减小, 晶体内部存在张应力, 并引起了局域振动模. ZnO: Cd 纳米棒有良好的光致发光特性, Cd 的掺入使得位于 2.90 eV 附近的紫光发射峰强度增强, 掺杂浓度为 2% 的 ZnO: Cd 纳米棒光致发光谱中出现了位于 2.67 eV 处, 由导带底和 Zn 空位 (V_{Zn}) 缺陷能级跃迁造成的蓝光发射峰, 对于研究蓝紫器件具有重要的意义.

参考文献

- [1] Xia Y Y, Brault J, Damilano B, Chenot S, Vennegue's P, Nemoz M, Teisseire M, Leroux M, Obrecht R, Robin I C, Santailier J L, Feuillet G, Chauvea J M 2013 *Appl. Phys. Express* **6** 0421011
- [2] Cheng P F, Li S T, Wang H 2013 *Chin. Phys. B* **22** 107701
- [3] Gao H X, Hu R, Yang Y T 2012 *Chin. Phys. Lett.* **29** 017305
- [4] Nie M Zhao Y Zeng Y Jiang Y J 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 176801 (in Chinese) [聂朦, 赵艳, 曾勇, 蒋毅坚 2013 物理学报 **62** 176801]
- [5] Lv B, Zhou X, Linghu R F, Wang X L, Yang X D 2011 *Chin. Phys. B* **20** 036104
- [6] Yang C, Wang X P, Wang L J, Pang X F, Li S K, Jing L W 2013 *Chin. Phys. B* **22** 088101
- [7] Nakahara K, Akasaka S, Yuji H, Tamura K, Fujii T, Nishimoto Y, Takamizu D, Sasaki A, Tanabe T, Takasu H, Amaike H, Onuma T, Chichibu S F, Tsukazaki A, Ohtomo A, Kawasaki M 2010 *Appl. Phys. Lett.* **97** 013501
- [8] Hosseinmardi A, Shojaee N, Keyanpour R M, Ebadzadeh T 2012 *Cera. Inter.* **38** 1975
- [9] Zhong J B, Li J Z, He X Y, Zeng J, Lu Y, Hu W, Lin K 2012 *Curr. Appl. Phys.* **12** 998
- [10] Lee W, Shin S, Jung D R, Kim J, Nahm C, Moon T, Park B 2012 *Curr. Appl. Phys.* **12** 628
- [11] Li H, Liu E T, Chan F Y F, Lu Z, Chen R 2011 *Mater. Lett.* **65** 3440
- [12] Wang C Z, Chen Z, He Y, Li L Y, Zhang D 2009 *Appl. Surf. Sci.* **255** 6881
- [13] Chen R Q, Zou C W, Bian J M, Sandhu A, Gao W 2011 *Nanotech.* **22** 1057061
- [14] Yakuphanoglu F, Ilican S, Caglar M, Caglar Y 2010 *Super. Micro.* **47** 732
- [15] Zhang J, Zhao S Q, Zhang K, Zhou J Q, Cai Y F 2012 *Nanscale Res. Lett.* **7** 405
- [16] Vijayalakshmi S, Venkataraj S, Jayavel R 2008 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **41** 245403
- [17] Tang X, Lv H F, Ma C Y, Zhao J J, Zhang Q Y 2008 *Acta. Phys. Sin.* **57** 1066 (in Chinese) [唐鑫, 吕海峰, 马春雨, 赵纪军, 张庆瑜 2008 物理学报 **57** 1066]
- [18] Huang Y Q, Liu M D, Li Z, Zeng Y K, Liu S B 2003 *Mater. Sci. Eng. B* **97** 111
- [19] Zang H, Wang Z G, Pang L L, Wei K F, Yao C F, Shen T L, Sun J R, Ma Y Z, Gou J, Sheng Y B, Zhu Y B 2010 *Acta. Phys. Sin.* **59** 4831 (in Chinese) [臧航, 王志光, 庞立龙, 魏孔芳, 姚存峰, 申铁龙, 孙建荣, 马艺准, 缙洁, 盛彦斌, 朱亚滨 2010 物理学报 **59** 4831]
- [20] Deng Q, Ma Y, Yang X H, Ye L J, Zhang X Z, Zhang Q, Fu H W 2012 *Acta. Phys. Sin.* **61** 247701 (in Chinese) [邓泉, 马勇, 杨晓红, 叶利娟, 张学忠, 张起, 付宏伟 2012 物理学报 **61** 247701]
- [21] Jaffe J E, Snyder J A, Lin Z J, Hess A C 2000 *Phys. Rev. B* **62** 1660
- [22] Bacaksiz E, Altunbas M, zc-elik S O, Oltulu O, Tomakin M, Yilmaz S 2009 *Mater. Sci. Semicond. Process.* **12** 118
- [23] Bai L N, Zheng B J, Lian J S, Jiang Q 2012 *Solid. State. Sci.* **14** 698
- [24] Lin B X, Fu Z X, Jia Y B 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 943
- [25] Vanheusden K, Seager C H, Warren W L, Tallant D R 1996 *Appl. Phys. Lett.* **68** 403
- [26] Yang P D, Yan H Q, Mao S, Russo R, Johnson J, Saykally R, Morris N, Pham J, He R R, Choi H J 2002 *Adv. Funct. Mater.* **12** 323
- [27] Xu P S, Sun Y M, Shi C S, Xu F Q, Pan H B 2001 *Sci. Chin. Ser. A* **31** 358 (in Chinese) [徐彭寿, 孙玉明, 施朝淑, 徐法强, 潘海斌 2001 中国科学 **31** 358]

Microstructure and photoluminescence of ZnO:Cd nanorods synthesized by hydrothermal method*

Wang Chang-Yuan Yang Xiao-Hong[†] Ma Yong Feng Yuan-Yuan Xiong Jin-Long
Wang Wei

(The Chongqing City Key Laboratory of Optoelectronic Functional Materials, Optical Engineering Key Lab, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

(Received 11 March 2014; revised manuscript received 8 April 2014)

Abstract

High-quality ZnO and Cd-doped ZnO nanorods with different Cd-doping concentrations are synthesized by using the hydrothermal method. Microstructures and photoluminescence of the samples are systematically investigated by SEM, X-ray diffraction (XRD), Raman scattering spectrum and photoluminescence (PL) spectrum. Results of XRD analysis indicate that ZnO and ZnO:Cd crystallites exhibit a hexagonal wurtzite structure. SEM shows that the nanorods become smaller due to Cd doping. There is an internal tension which induces the decrease of optical band gap in Cd-doped nanorods. Cd-doping increases the intensity of violet emission peak near 2.90 eV and the blue emission peak located at 2.67 eV appears when the doping concentration is up to 2%. This study can be used for developing blue-violet-emitting devices.

Keywords: hydrothermal method, ZnO:Cd nanorods, microstructures, photoluminescence (PL) spectrum

PACS: 77.55.hf, 61.46.Km, 78.55.-m

DOI: [10.7498/aps.63.157701](https://doi.org/10.7498/aps.63.157701)

* Project supported by the Doctoral Foundation of Chongqing Normal University, China (Grant No. 10XLB001), and the Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61106129).

[†] Corresponding author. E-mail: y6928@cqnu.edu.cn