

Mg_xZn_{1-x}O 单晶薄膜和 MgZnO/ZnO 异质结构的光学性质*

吴春霞 吕有明[†] 申德振 李炳辉 张振中 刘益春 张吉英 范希武

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 激发态物理重点实验室, 长春 130033)

摘要: 报道了利用等离子辅助分子束外延技术, 在蓝宝石 *c* 平面上外延生长的 Mg_xZn_{1-x}O 单晶薄膜以及 MgZnO/ZnO 异质结构的光学性质. 室温下随着 Mg 浓度增加, 合金薄膜样品的发光峰与吸收边均向高能侧移动. 研究了样品紫外发光的起因, 将 Mg_xZn_{1-x}O 合金薄膜的发光归结为束缚激子的复合. 在 Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO 样品中, 观察到了分别来自于 ZnO 层和 MgZnO 盖层的发光和吸收, 并将其归因于来自 ZnO 层的自由激子和 MgZnO 盖层的束缚激子发射.

关键词: 等离子体辅助分子束外延; Mg_xZn_{1-x}O 合金; MgZnO/ZnO 异质结构; 光致发光谱; 反射式高能电子衍射

PACC: 8115G; 6855; 7855E

中图分类号: O782.9

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2004)10-1258-06

1 引言

近几年, ZnO 因可用作紫外的光发射器件(LED)和激光二极管(LD)而成为国际光电子领域研究的热点. 获得高性能光发射器件的关键技术之一就是建立异质结构, 将光电器件中的光子和电子限制在阱层内, 实现低阈值的受激发射^[1]. 为获得高性能的 LED 器件, 人们选择了晶格常数与 ZnO 相近、带隙更宽的 MgZnO 合金作为垒层制成了 ZnO/MgZnO 异质结构. 国外的几个小组已经报道了 MgZnO 薄膜的生长, 它是能带工程和器件应用的关键. Mg²⁺ (0.057nm) 和 Zn²⁺ (0.06nm) 离子半径相接近^[2], 而 MgO 有很大的能隙宽度(7.7eV)^[2,3], 这就意味着 Mg²⁺ 离子可以在一定范围内取代 ZnO 中 Zn²⁺ 离子格位形成 MgZnO 合金使带隙展宽而保持纤锌矿结构不变. 因此, ZnMgO 合金薄膜是制备 ZnO 基紫外激光器适宜的势垒材料.

制备 Mg_xZn_{1-x}O 合金薄膜的方法有很多, 如脉

冲激光沉积(PLD)^[4]、化学气相沉积(CVD)^[5]、磁控溅射(FMS)^[6]、溶胶-凝胶^[7]、分子束外延(MBE)^[8-10]等, 但不同方法制备的 Mg_xZn_{1-x}O 纤锌矿结构合金薄膜中 Mg²⁺ 离子的最大掺杂浓度不同. 最近通过金属有机气相沉积得到的单相纤锌矿结构的 Mg_xZn_{1-x}O 薄膜, *x* 值可以达到 0.49, 能隙宽度可以展宽到 4.05eV^[5]. 目前国内一些小组开始了有关 ZnO 的研究^[11-13], 但对 ZnMgO 合金薄膜的研究未见报道. 本文利用等离子辅助分子束外延(P-MBE)的方法, 在蓝宝石 *c* 面上外延生长了 ZnO 和 Mg_xZn_{1-x}O 单晶薄膜以及 ZnO/MgZnO 异质结构. 国外的几个小组已经成功地制备了 ZnO/MgZnO 量子阱和超晶格材料, 实现了最低阈值为 11kW/cm² 的紫外激射^[14]. 但 MgZnO/ZnO 双异质结构中的光生载流子跃迁和复合性质的研究并未见到报道, 而这一点对进一步了解光发射过程和对器件应用都是至关重要的. 本文利用吸收光谱和光致发光谱重点研究了 Mg_xZn_{1-x}O 薄膜的紫外发光来源和

* 国家高技术研究发展计划(批准号: 2001AA31112), 中国科学院二期创新, 中国科学院百人计划, 国家自然科学基金(批准号: 60176003, 60278031, 69977019)资助项目

吴春霞 女, 1977 年出生, 博士研究生, 主要从事半导体器件及物理研究.

[†] 本文通信作者. Email: ymlu@mail.jl.cn

2003-09-25 收到, 2004-02-06 定稿

$MgZnO/ZnO$ 异质结构中载流子弛豫、复合规律以及各层的发光起因。

2 实验

用装有 Zn 和 Mg 的 Knudsen 炉, 射频 (RF) 氧等离子体装置的一个水循环冷却的英国 VG 公司的 V80H MBE 系统, 在蓝宝石 c 平面上生长材料. Zn, Mg, O 各自的纯度分别是 6N, 4N, 5N. 衬底的处理与 Chen 等人^[12]的方法是相似的, 衬底用丙酮、甲醇超声处理除油, 然后在 $H_2SO_4 : H_3PO_4 = 3 : 1$ 的 160°C 热溶液中化学腐蚀 15min, 接着用去离子水冲洗, 氮气吹干. 在生长前, 为了改善表面的粗糙度, 制造氧终结面, 在 750°C 下热处理 30min, 接着在 550°C 氧等离子体处理 30min. Zn 源压力, 氧束流和射频源激发功率分别被限制为 6mPa, 1.6sccm, 300W. Mg 浓度是通过 Mg 压力控制的, 通常值为 0.02mPa. 在高温下生长有利于提高 Mg 的浓度, 但不利于分相的抑制和 p 型掺杂的实现, 综合考虑我们选择了在 550°C 下生长 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜. $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO$ 异质结构的生长采用了与生长薄膜相同的条件, 首先生长 100nm 的 $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O$ 合金, 然后再生长 20nm 的 ZnO 和 40nm 的 $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O$ 盖层. 整个实验过程都是在液氮和循环水冷却系统的条件下进行的.

我们通过反射式高能电子衍射 (RHEED) 和 D/max-2400X 射线双晶衍射谱来表征样品的表面粗糙度和结晶质量. Mg 浓度是通过感应耦合等离子体 (ICP) 的方法测量分析得到的. 样品的发光光谱是用 JY 公司的紫外优化微区 Raman 光谱仪测量的, 所用激发源为 He-Cd 激光器的 325nm 线. 透射光谱是利用日本岛津公司生产的 UV-360 分光光度计测得的.

3 结果与讨论

图 1 给出了不同组份下的 $Mg_xZn_{1-x}O$ 合金薄膜的 X 射线衍射谱. 在 $x \leq 0.14$ 时, 图中只能观察到 $Mg_xZn_{1-x}O(002)$ 和 $Al_2O_3(006)$ 方向衍射峰, 表明外延膜具有单相纤锌矿结构. 而在 Mg 浓度为 23% 时, 除了这两个衍射峰外, 还出现了 $MgO(111)$ 方向的衍射峰, 且随 Mg 含量的增加 $MgO(111)$ 衍射峰相对增强, 说明外延膜具有分相结构. 如图所

示, 随 Mg 含量的增加, $MgZnO(002)$ 衍射峰向大角度方向移动. 据布拉格衍射方程可计算 $Mg_xZn_{1-x}O$ 合金中 c 轴的晶格常数分别为: 0.5205, 0.5196, 0.5190, 0.5185, 0.5177 和 0.5169nm, 插图给出了 $Mg_xZn_{1-x}O$ 合金中 c 轴的晶格常数随 Mg 浓度变化的关系, 随 x 值增加, 样品 c 轴的晶格常数呈线性减小. 这是因为 Mg 的离子半径比 Zn 的离子半径小, 逐渐多的 Mg^{2+} 取代 Zn^{2+} 格位后引起阴阳离子间距变小所致.

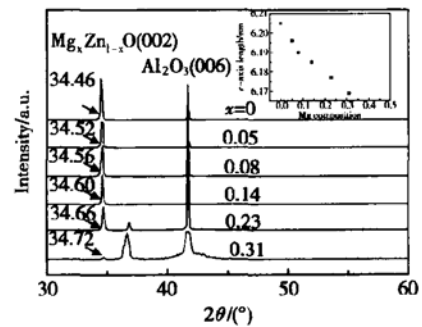


图 1 $Mg_xZn_{1-x}O$ 合金薄膜的 X 射线衍射谱 插图为 Mg 浓度与样品 c 轴晶格常数的函数关系.

Fig. 1 XRD spectra of the $Mg_xZn_{1-x}O$ alloy thin films. The inset shows c -axis length of $Mg_xZn_{1-x}O$ films as a function of Mg composition.

图 2 为 $Mg_xZn_{1-x}O$ ($x \leq 0.14$) 样品 (002) 方向的 X 射线双晶衍射谱, 衍射峰的出现证明了 $Mg_xZn_{1-x}O$ 合金薄膜为单晶. 从图中可见 x 值从 0 变化到 0.14, 其双晶衍射峰的半高宽度 (FWHM) 从 0.249° 增加到 0.708°, 这说明随着 Mg 掺入量的增加, 样品结晶的有序性遭到相应程度的破坏, 结晶质量有所下降.

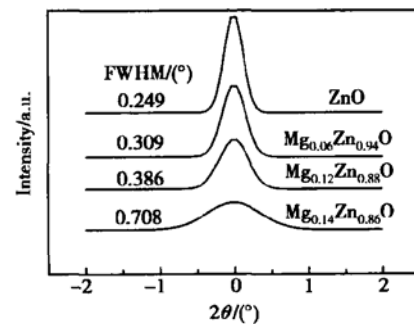


图 2 $Mg_xZn_{1-x}O$ 合金薄膜的 X 射线双晶衍射谱

Fig. 2 X-ray double crystal diffraction spectra of the $Mg_xZn_{1-x}O$ alloy thin films

图 3 给出了 $x = 0, 0.05, 0.08, 0.14, 0.23, 0.31$

时,沿着 $[1210]$ 方向生长的 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 样品的反射式高能电子衍射(RHEED)谱. $x=0$ 时,高能衍射图样呈清晰尖锐的条纹状,说明 ZnO 外延层的表面具有较高的平整度和有序性.随着 x 的逐渐增加,衍射图样条纹清晰度逐渐减弱,说明表面粗糙度逐渐增加. $x=0.14$ 时,条纹出现间断现象,当 $x=0.31$ 时,出现了斑点图样,衍射图象由条纹转变为斑点说明样品表面粗糙度增加,生长模式由二维生长过渡到三维生长,这与随 Mg 浓度增加双晶衍射峰的半高宽度变宽,结晶质量下降的结果是一致的.

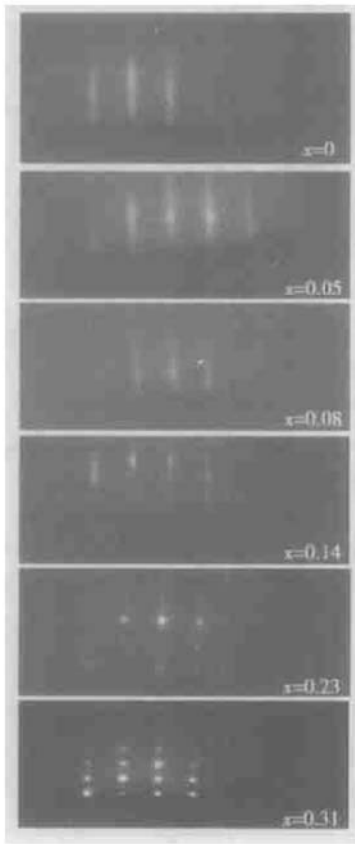


图 3 x 分别为 0, 0.05, 0.08, 0.14, 0.23, 0.31 的 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 合金薄膜的原位反射高能电子衍射图样

Fig. 3 RHEED patterns of $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ ($x = 0, 0.05, 0.08, 0.14, 0.23, 0.31$) alloy thin films

图 4 展示了在室温下测得的没有分相的 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 合金薄膜和 $\text{Mg}_{0.08}\text{Zn}_{0.92}\text{O}/\text{ZnO}$ 的光致发光谱. 如图所示,所有的 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 合金薄膜的光致发光谱都只观测到紫外部分的发光峰,无深能级发射. 插图展示了 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 合金薄膜的紫外发光峰的能量位置和半高宽度随 x 值的变化关系. 随着 Mg 含量的增加,薄膜样品紫外发光峰的半高宽度从 62meV 逐渐展宽到 89meV ,说明 Mg 的掺入使

样品结晶质量下降,这与上述高能衍射的结果是一致的;样品的发光峰位从 3.28eV 逐渐蓝移到 3.47eV ,这说明 Mg 的掺入量增加引起样品的带隙逐渐展宽. 我们利用绝缘体中光跃迁的推广理论^[15]: $\alpha(h\nu) = A * (h\nu - E_g)^{1/2}$ (A 是与材料折射率、折合质量、真空中光速及带边的缺陷密度有关的常数),根据 $\alpha^2 \propto h\nu$ 的函数关系对样品的吸收光谱作图,用线性外推曲线到能量轴的方法计算得到:随 x 值增加 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 薄膜的能带宽度从 3.34eV 逐渐增加到 3.68eV ,这与上述发光峰蓝移的结果是一致的. 另外,如图所示, $\text{Mg}_{0.08}\text{Zn}_{0.92}\text{O}/\text{ZnO}$ 异质结构的光致发光谱中在 3.29eV 的位置有一个很强的紫外发光峰(峰 A),在峰 A 的高能侧 3.53eV 的位置出现一个相对较弱的发光峰(峰 B),峰 A 和峰 B 的位置分别接近于 ZnO 和 MgZnO 单晶薄膜的近带边发射.

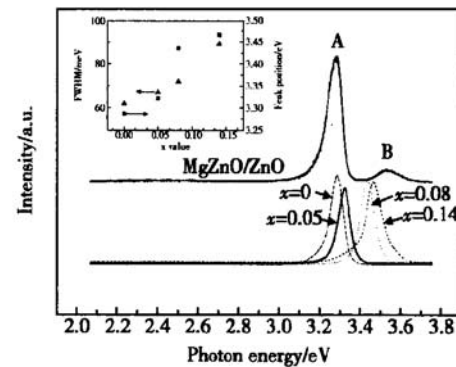


图 4 在室温下测得的 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 膜和 $\text{Mg}_{0.08}\text{Zn}_{0.92}\text{O}/\text{ZnO}$ 光致发光谱 插图展示了 $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ 膜薄样品的发光峰位和半高宽度与 x 值的关系

Fig. 4 PL spectra of the $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ alloy thin films and $\text{Mg}_{0.08}\text{Zn}_{0.92}\text{O}/\text{ZnO}$ heterostructure at room temperature The inset shows PL peak energy positions and FWHMs of $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ films as a function of x values

为了进一步探求异质结构中的发光峰 A, B 的来源,我们比较了 ZnO , MgZnO 单晶薄膜, $\text{Mg}_{0.08}\text{Zn}_{0.92}\text{O}/\text{ZnO}$ 异质结构的吸收光谱. 如图 5 所示: a 为在室温下 ZnO 薄膜的吸收谱,可以看到在 3.35eV 的位置出现了明显的激子吸收峰; b 为在室温下 $\text{Mg}_{0.08}\text{Zn}_{0.92}\text{O}$ 薄膜的吸收谱,可以看到一个陡峭的吸收边,且在 3.65eV 的位置附近出现了较明显的吸收峰;而 $\text{Mg}_{0.08}\text{Zn}_{0.92}\text{O}/\text{ZnO}$ 异质结构的吸收光谱 c 在上面两个吸收峰的位置附近分别出现了明

显的吸收边,这与室温下光致发光谱的结果是一致的,说明 Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO 异质结构的发光分别来自于 ZnO 层和 MgZnO 盖层.

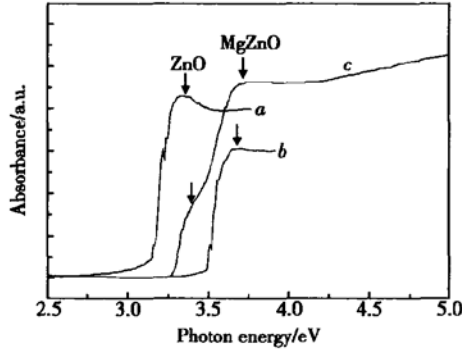


图 5 室温下 ZnO, Mg_{0.08}Zn_{0.92}O 薄膜和 Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO 异质结构的吸收光谱

Fig. 5 Absorbance spectra of the ZnO and Mg_{0.08}Zn_{0.92}O and Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO heterostructure at RT

为了研究 MgZnO/ZnO 异质结构的光学性质,研究 ZnO 和 MgZnO 单晶薄膜的紫外发光来源就变得尤为重要了.我们利用光致发光谱的积分强度与温度的关系,对样品不同温度(81~ 300K)下的发光谱进行拟合,其方程为:

$$I(T) = \frac{I_0}{1 + A_1 \exp(-\frac{E_1}{k_B T}) + A_2 \exp(-\frac{E_2}{k_B T})} \quad (1)$$

其中 E_1, E_2 是热猝灭过程的活化能; k_B 是玻尔兹曼常数; I_0 是 0K 时发射强度; T 是热力学温度; A_1, A_2 是常数. 图 6 及其插图分别给出了通过方程(1)对 Mg_{0.08}Zn_{0.92}O 的实验数据和 ZnO 的实验数据进行拟合的结果(实线). 对于 ZnO 薄膜样品,从 81K 到室温的发光谱中只有一个紫外发光峰,可认为整个温度变化范围内只存在一个热猝灭过程,因此方程(1)中 $A_1 = 0, E_1 = 0$,即分母中的第一项可忽略,拟合得到 $E_2 = 58\text{meV}$,这与 ZnO 体单晶的自由激子束缚能 60meV 相接近,证明 ZnO 薄膜的紫外发光来自于自由激子发射.而对于 Mg_{0.08}Zn_{0.92}O 薄膜样品,在整个温度变化范围内发光峰的半高宽度以 174K 为界先展宽然后变窄,可认为整个温度变化范围内有两个热猝灭过程,拟合得到 $E_1 = 13.8\text{meV}, E_2 = 74.3\text{meV}$. Bimberg^[16]等人在描述某能级上的

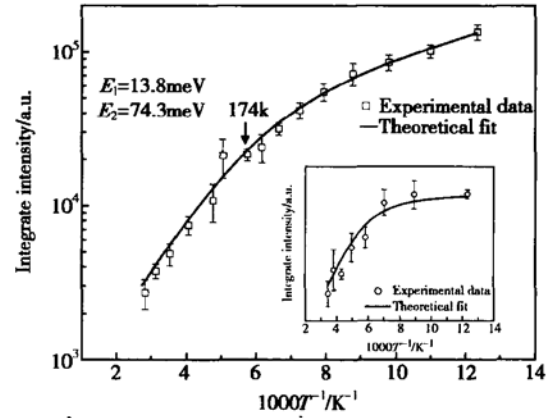


图 6 在 81K 到 342K 温度范围内, Mg_{0.08}Zn_{0.92}O 的发光峰的积分强度与温度的依赖关系. 插图给出了在此温度范围内, ZnO 发光峰的积分强度与温度的依赖关系. 实线是通过方程(1)对实验数据进行理论拟合的结果.

Fig. 6 PL peak integrated intensities of Mg_{0.08}Zn_{0.92}O as a function of temperature ranging from 81K to 342K. The inset shows that of ZnO. The theoretical simulation (solid line) to the experimental data points (solid square) from Eq. (1)

束缚激子发光强度随温度变化的过程中,引入热平衡下的三能级系统,即:一个基态能级 E_0 和两个高能态 E_{11}, E_{22} . 公式(1)中的 E_1, E_2 是束缚在 E_0 上的激子在获得能量后分别被离化到 E_{11}, E_{22} 两个高能态的离化能,可以写成: $E_1 = E_{11} - E_0, E_2 = E_{22} - E_0$. 从图 6 中拟合的结果可以得到,在所测量的温度范围内发光强度的热猝灭存在两个过程,即在低温($< 174\text{K}$)区和高温($> 174\text{K}$)区发光强度分别以热活化能 $E_1 = 13.8\text{meV}, E_2 = 74.3\text{meV}$ 进行猝灭,这说明我们样品的发光符合束缚激子三能级热猝灭过程. 根据 Bimberg 等人^[16]的报道,中性施主能级通过库仑作用束缚电子-空穴对形成的束缚激子系统(D^0, X)随温度的升高可能有四种分裂过程,根据我们数据的特点分析满足如下两个热猝灭过程:①中性施主向高能态提供电子变成离化施主: $(D^0, X) \rightarrow (D^+, X) + e, E_1 = 13.8\text{meV}$,②离化施主束缚激子离化成自由电子和空穴: $(D^+, X) \rightarrow D^+ + e + h, E_2 = 74.3\text{meV}$. 样品的紫外发光应该来自于中性和离化施主束缚激子的混合带. 由于在 ZnO 中一般的 (D^+, X) 发光能量比 (D^0, X) 高^[17],而它的束缚能却比 (D^0, X) 低,因此在低温范围内发光谱中来自 (D^+, X) 的贡献随温度增加而变强,而温度高于 174K 时随温度升高,离化施主束缚激子离化成自由

电子和空穴,因此在室温下得到的光谱主要是中性施主束缚激子发光,两个淬灭过程的存在使得离化施主束缚激子在不同的温度范围内对发光贡献不同,也对发光峰的半高宽度产生影响.我们认为 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜样品的紫外发光来自于施主束缚激子的发射,可归因于 Mg 的掺入引起一些新的结构缺陷(例如氧空位,间隙锌、镁原子等)的产生,形成了新的束缚激子所致.

图 7 中给出了 $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O$ 样品的紫外发光峰(P)和 $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO$ 样品中 A, B 发光峰的积分强度与温度的关系.如图中指示可以看出发光峰 B 与 P 的积分强度随温度变化的规律基本一致,这说明发光峰 B 也来自于 MgZnO 盖层的束缚激子发射.低温下发光峰 B 较 P 衰减得快,这可能是由于样品中 MgZnO 和 ZnO 层之间存在界面垒层,低温时限制了电子,当温度升高时,光生载流子不断的获得足够的能量越过或隧穿过垒层到达 ZnO 层,即 MgZnO 盖层自由载流子向 ZnO 层注入.而对于 ZnO 层,载流子浓度的增加使得激子的浓度增大,认为发光峰 A 也来自于 ZnO 层的自由激子发射.图中发光峰 A 的积分强度随温度升高无明显衰减,这可能是由于在界面中存在一些局域态作为无辐射中心束缚载流子,随温度升高被束缚的载流子离化,弛豫到 ZnO 层导致 ZnO 层的辐射复合发光相对增强所致.无辐射中心的存在将对发光寿命产生影响,有关这方面的工作有待于进一步研究.

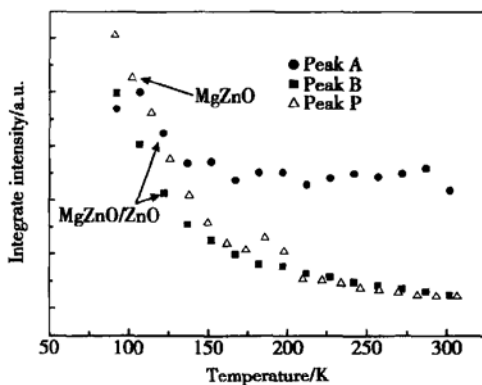


图 7 $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O$ 薄膜和 $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO$ 异质结的发光峰的积分强度与温度的依赖关系

Fig. 7 Integrated intensity of PL peak of $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O$ film and $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO$ heterostructure as a function of temperature

4 结论

本文利用等离子体辅助分子束外延的方法,在蓝宝石 c 面上外延生长了 ZnO, MgZnO 单晶薄膜以及 MgZnO/ZnO 异质结构,并通过 XRD 谱和 RHEED 图样对 x 值分别为 0, 0.05, 0.08, 0.14, 0.23 和 0.31 的 $Mg_xZn_{1-x}O$ 样品的结构性质进行了表征.重点研究了 $Mg_xZn_{1-x}O$ 和 $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO$ 样品的光学性质,认为 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜样品的紫外发光来自于施主束缚激子的发射;室温下在 $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO$ 异质结构中测得位于 3.29eV 很强的紫外发光 A 和位于 3.53eV 的较弱的发光 B,并在吸收谱中相对测得两个明显的吸收,对这两个发光峰的积分强度与温度变化的函数关系数据进行拟合,分析得到发光峰 A, B 分别来自于 ZnO 层的自由激子和 MgZnO 盖层的束缚激子发射.

参考文献

- [1] Chia C H, Makino T, Sefawa Y. Well-width dependence of combination times in ZnO/Mg_{0.12}Zn_{0.88}O multiple quantum wells. *J Appl Phys*, 2001, 90: 3650
- [2] Ohtomo A, Kawasaki M, Masubuchi K, et al. Mg_xZn_{1-x}O as an II-VI wide gap semiconductor alloy. *Appl Phys Lett*, 1998, 72: 2466
- [3] Ohtomo A, Kawasaki M, Ohkubo I, et al. Structure and optical properties of ZnO/Mg_xZn_{1-x}O superlattices. *Appl Phys Lett*, 1999, 75: 980
- [4] Zou Lu, Ye Zhizhen, Huang Jingyun, et al. Growth of ZnO thin films by pulse laser deposition. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2002, 23(1): 12
- [5] Park W I, Yi G, Jang H M, et al. Metalorganic vapor-phase epitaxial growth and photoluminescent properties of Mg_xZn_{1-x}O (0 ≤ x ≤ 0.49) thin films. *Appl Phys Lett*, 2001, 79: 2022
- [6] Minemoto T, Negami T, Nishiwaki S, et al. Preparation of Zn_{1-x}Mg_xO films by radio frequency magnetron sputtering. *Thin Solid Films*, 2000, 372: 173
- [7] Zhao Dongxu, Liu Yichun, Shen Dezhen, et al. Photoluminescence properties of Mg_xZn_{1-x}O alloy thin films fabricated by the sol-gel deposition method. *J Appl Phys*, 2001, 90: 5561
- [8] Chen Y F, Zhu Z Q, Bagnall D M, et al. ZnO quantum pyramids grown on c -plane sapphire by plasma-assisted MBE. *J Cryst Growth*, 1998, 184: 269
- [9] Bagnall D M, Chen Y F, Shen Y M, et al. Room temperature excitonic stimulated emission from zinc oxide epilayer grown

- by plasma-assisted MBE. *J Cryst Growth*, 1998, 184: 605
- [10] Chen Yefan, Bagnall D M, Koh H J, et al. P-MBE of ZnO on *c*-plane sapphire: Growth and characterization. *J Appl Phys*, 1998, 84: 3913
- [11] Lü Jianguo, Ye Zhizhen, Zhang Yinzhong, et al. ZnO films synthesized by solid-source chemical vapor deposition with *c*-axis parallel to substrate. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2003, 24(1): 1
- [12] Ye Zhizhen, Chen Hanhong, Liu Rong, et al. Structure and PL spectrum of ZnO films prepared by DC reactive magnetron sputtering. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2001, 22(8): 1015 (in Chinese) [叶志镇, 陈汉鸿, 刘榕, 等. 直流磁控溅射 ZnO 薄膜的结构和室温 PL 谱. *半导体学报*, 2001, 22(8): 1015]
- [13] Wang Qingpu, Zhang Deheng, Xue Zhongying. Photoluminescence of ZnO films deposited on Si substrate by RF magnetron sputtering. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2003, 24(2): 157 (in Chinese) [王卿璞, 张德恒, 薛忠营. 射频磁控溅射 ZnO 薄膜的光致发光. *半导体学报*, 2003, 24(2): 157]
- [14] Kakino T, Chia C H, Tuan N T, et al. Room-temperature luminescence of excitons in ZnO/MgZnO multiple quantum wells on lattice-matched substrates. *Appl Phys Lett*, 2000, 77: 975
- [15] Fang Rongchuan. *Solid state spectroscopy*. First edition. Hefei: University of Science and Technology of China Publishing Corporation, 2001: 62 (in Chinese) [方容川. *固体光谱学*. 第 1 版. 合肥: 中国科技大学出版社, 2001: 62]
- [16] Bimberg D, Sondergeld M, Grobe E. Thermal dissociation of excitons bounds to neutral acceptors in high-purity GaAs. *Phys Rev B*, 1971, 4: 3451
- [17] Klingshirn C F. *Semiconductor optics*. New York: Beijing World Publishing Corporation, 1999: 240

Optical Properties of $Mg_xZn_{1-x}O$ Alloy and $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO$ Heterostructure Grown by P-MBE*

Wu Chunxia, Lü Youming[†], Shen Dezhen, Li Binghui, Zhang Zhenzhong, Liu Yichun, Zhang Jiying and Fan Xiwu

(Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Optical properties of $Mg_xZn_{1-x}O$ alloy thin films and $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO$ heterostructure are reported, which are fabricated on *c*-plane sapphire (Al_2O_3) substrates by plasma assisted molecular beam epitaxy (P-MBE). X-ray diffraction indicates the $Mg_xZn_{1-x}O$ films with the (002) preference reflection of hexagonal wurtzite structure when *x* value is changed from 0 to 0.14. Reflection high-energy electron diffraction (RHEED) and X-ray double crystal diffraction spectra show that the samples are single-crystal films. Photoluminescence spectra at room temperature show an intense ultraviolet emission, which shifts to high-energy side with increasing *x* values. This UV emission is attributed to the recombination of donor bound excitons. Absorption and PL spectra at RT of $Mg_{0.08}Zn_{0.92}O/ZnO$ heterostructure show that two absorption edges and two emission peaks, respectively. The two peaks are considered to be from the bound exciton transition of $MgZnO$ and the free exciton transition of ZnO , respectively.

Key words: P-MBE; $Mg_xZn_{1-x}O$ films; $MgZnO/ZnO$ heterostructure; PL; RHEED

PACC: 8115G; 6855; 7855E

Article ID: 0253-4177(2004)10-1258-06

* Project supported by National High Technology Research and Development Program of China (No. 2001AA31112), the Innovation Project of Chinese Academy of Sciences, National Natural Science Foundation of China (Nos. 60176003, 60278031, and 69977019), and the Program of Hundred Talents of Chinese Academy of Sciences

Wu Chunxia female, was born in 1977, PhD candidate. Her work focuses on the properties of semiconductor and fabrication of related devices.

[†] Corresponding author, Email: ymlu@mail.jl.cn

Received 25 September 2003, revised manuscript received 6 February 2004

©2004 The Chinese Institute of Electronics