

# 温度引起的 $ZnSe/Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$ 超晶格中势阱层和势垒层的反转\*

李国华<sup>1</sup> 朱作明<sup>1</sup> 刘南竹<sup>1</sup> 韩和相<sup>1</sup> 汪兆平<sup>1</sup> 王杰<sup>2</sup> 王迅<sup>2</sup>

(1 中国科学院半导体研究所 半导体超晶格国家重点实验室 北京 100083)

(2 复旦大学 应用表面物理国家重点实验室 上海 200433)

**摘要** 测量了  $ZnSe, Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金和  $ZnSe/Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  超晶格的 10~300K 的变温光致发光谱,发现  $ZnSe$  的带隙在 10K 时比  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金的带隙小,而在 300K 时比合金的带隙大. 预计  $ZnSe/Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  超晶格中在 130K 附近会发生势阱层和势垒层的反转. 在  $ZnSe/Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  超晶格中观测到了这种反转但发生在 80K 附近. 超晶格中  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  层的应变可能是反转温度变低的原因.

PACC: 7550P, 7340L, 7855

## 1 引言

由于 II-VI 族宽禁带化合物半导体材料在蓝绿光发光和激光器件中的应用前景,近些年来对这些材料进行了仔细的研究. 在这些材料中,  $Zn_{1-x}M_nSe$ ,  $Zn_{1-x}M_nTe$ ,  $Cd_{1-x}M_nSe$  等半磁半导体具有许多独特的特性. 它们是由磁性离子  $M_n^{2+}$  取代基体晶格中的部分 Zn 或 Cd 元素而形成的. 由于  $M_n$  离子和自由载流子之间的 s, p-d 交换相互作用,半磁半导体通常具有一些独特的磁光特性如大的 Zeeman 分裂<sup>[1]</sup>等. 除此之外,它的带隙能量随  $M_n$  组分的变化也具有一些异常的特性. 对于  $Zn_{1-x}M_nSe$  合金,光致发光和反射谱的研究表明它的带隙能量随  $M_n$  组分的增加先是变小然后再增大,在低  $x$  区域形成一个明显的弓形. 而且此弓形极小值的位置和深度随温度有很大的变化<sup>[2]</sup>. 与此同时,它的带隙能量随温度升高而降低的速率也比通常的半导体材料大<sup>[2]</sup>. 由于这种特性,在低  $x$  值的  $ZnSe/Zn_{1-x}M_nSe$  超晶格中会出现一种有趣的现象:在低温时  $ZnSe$  的带隙能量较低,它是超晶格中的阱层;而在高温时  $Zn_{1-x}M_nSe$  的带隙能量比  $ZnSe$  低,它将成为超晶格的阱层. 王学忠等曾经在  $ZnSe/Zn_{0.92}Mn_{0.08}Se$  超晶格中观察到了这种势阱层和势垒层的反转现象<sup>[3]</sup>. 由于在室温下  $Zn_{1-x}M_nSe$  合金的带隙最小值在  $x = 0.16$  附近<sup>[2,3]</sup>,预计在由  $ZnSe$  和  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金组成

\* 国家攀登计划和国家自然科学基金资助项目,编号 69776012

李国华 男,1945 年出生,研究员,现从事半导体光学性质的研究

朱作明 男,1973 年出生,博士生,现从事半导体光学性质的研究

刘南竹 女,1975 年出生,硕士,现从事半导体光学性质的研究

1998-07-15 收到,1998-12-17 定稿

的超晶格中这种温度引起的势阱层和势垒层的反转应该更为明显 本文报道了  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$  合金和  $\text{ZnSe}/\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$  超晶格的光致发光谱随温度变化的研究, 在  $\text{ZnSe}/\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$  超晶格中观测到了温度引起的势阱层和势垒层的反转, 但反转温度比预计的要低, 分析表明超晶格中  $\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$  层中的应变是使反转温度降低的原因

## 2 实验细节

样品用MBE方法生长在(001)方向的GaAs衬底上首先生长约500nm厚的ZnSe缓冲层, 然后生长20周期的 $\text{ZnSe}/\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$ 超晶格, 阱层和垒层的厚度均为6nm. 为了进行对照, 在同一系统中还分别生长了ZnSe和 $\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$ 外延层样品, 它们的厚度约 $1\mu\text{m}$ . 样品中的Mn组分由X射线衍射和X射线能量谱确定 样品生长细节可参看文献[4].

光致发光在配有显微光路的HRD2双光栅单色仪上测量, 激发光源为 $\text{Kr}^+$ 激光器的413.1nm线, 激发功率密度为 $10^2 \sim 10^3 \text{W}/\text{cm}^2$ . 样品发出的光经单色仪分光后由GaAs阴极的光电倍增管探测, 光子计数器记录 样品粘在APD-DE202闭循环制冷机的冷头上, 测量温度为 $10 \sim 300\text{K}$ . 反射谱在同一系统中测量, 由钨灯发出的白光经聚焦后照在样品上, 样品的反射光送入单色仪分光并记录 所有的测量结果均已对光谱系统的响应作了修正

## 3 结果和讨论

图1给出了10K下 $\text{ZnSe}$ ,  $\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$ 合金和 $\text{ZnSe}/\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$ 超晶格三块样品的光致发光谱和反射谱 在 $\text{ZnSe}$ 的光致发光谱中观测到三个发光峰 其中能量为2.799eV的主峰为束缚在中性施主上的束缚激子发光(记作 $I_2$ ), 位于它的高能侧2.896eV处的小峰对应于自由激子发光(记作 $E_x$ ), 而在2.778eV处的弱峰为束缚在本征缺陷上的束缚激子发光( $I_v$ )<sup>[5,6]</sup>. 从 $\text{ZnSe}$ 的反射谱中可以看到, 对应于自由激子发光峰的地方反射信号有一个陡峭的下降(记作 $Z$ ). 高于此能量, 反射信号逐渐趋于常数 在它的低能侧, 反射信号在对应于 $I_2$ 峰处也出现一个极小 能量再低, 反射谱中出现振荡 这是由于入射光在外延层的两个界面处的多次反射引起的干涉现象造成的 在 $\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$ 合金的发光谱中只观测到一个宽的发光峰, 它与反射谱中反射信号的最明显的极小值( $M_R$ )相对应 类比于 $\text{ZnSe}$ 的情况, 我们把这个峰指认为 $\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$ 合金中的自由激子发光(记作 $M$ ). 超晶格样品的光谱将在后面详细讨论

图2给出了不同温度下 $\text{ZnSe}$ 和 $\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$ 合金的光致发光谱 随着温度的升高,  $\text{ZnSe}$ 的三个发光峰逐渐变宽, 互相交迭, 最后呈现为一个峰 在此过程中主峰一直为 $I_2$ 峰  $\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$ 合金的发光谱一直为一个峰, 峰宽也不断增大 图3给出了 $\text{ZnSe}$ 和 $\text{Zn}_{0.84}\text{Mn}_{0.16}\text{Se}$ 合金的发光峰的峰值能量随温度的变化 为了清晰, 对 $\text{ZnSe}$ 样品只画了主峰 $I_2$ 的结果 通常半导体带隙的温度关系可以用Varshni半经验公式<sup>[7]</sup>:

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T} \quad (1)$$

或Bose-Einstein表达式<sup>[8]</sup>:

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{2a_B}{\exp(\Theta/T) - 1} \quad (2)$$

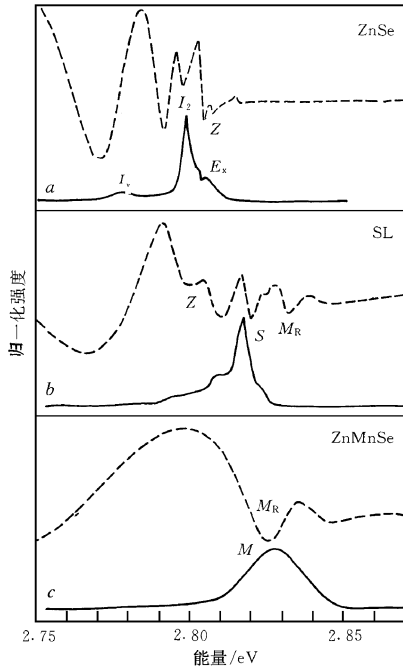


图 1 10K 下 ZnSe, Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 合金和 ZnSe/Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 超晶格的光致发光谱(实线)和反射谱(虚线)

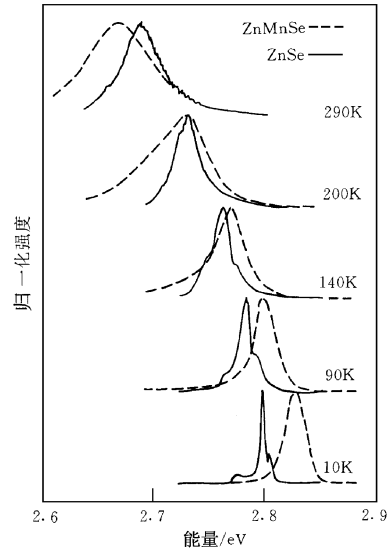


图 2 ZnSe(实线)和 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 合金(虚线)在 10~ 290K 间几个温度下的归一化的光致发光谱

来进行拟合 其中  $E_g(0)$  是  $T = 0K$  时的带隙能量,  $\alpha$  和  $\beta$  是经验参数,  $a_B$  代表电声子相互作用的强度,  $\theta$  对应于平均声子温度 虽然我们测到的是激子的发光峰, 只要在公式中用发光峰的峰值能量  $E_{PL}$  代替带隙能量  $E_g$ , 也可以用类似的公式进行拟合 图 3 中实线是用公式(2)拟合得到的结果 拟合参数在表 1 中给出 表 1 也同时给出了用公式(1)拟合时的参数 在温度高于 100K 后, 两块样品的发光峰的峰值能量的温度关系基本上是线性的 利用 100~ 300K 温度范围内的数据得到的发光峰的峰值能量的温度系数  $dE_{PL}/dT$  也在表 1 给出 从图 2 和图 3 可以看到, 在 10K 时 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 合金的发光峰位于 ZnSe 的发光峰的高能侧, 而在 290K 时 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 合金的发光峰位于 ZnSe 的发光峰的低能侧 在 180K 时两个发光峰的峰值能量相同 由此可以预计在由 ZnSe 和 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se

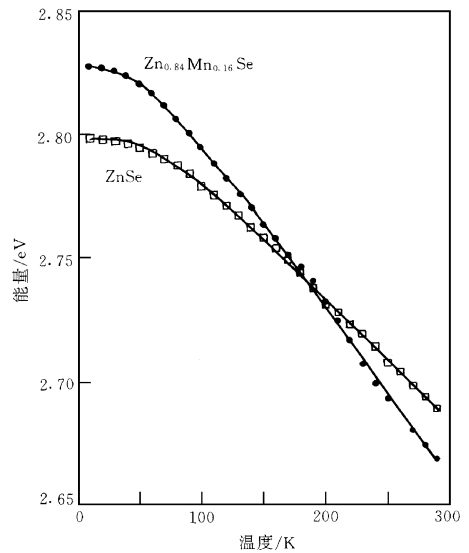


图 3 ZnSe 和 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 合金的光致发光峰的峰值能量随温度的变化 实线是用 Bose-Einstein 公式拟合的结果

组成的超晶格样品中有可能观测到温度引入的势阱层和势垒层的反转

表 1 ZnSe 和  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金的光致发光峰的峰值能量的温度关系的拟合参数及 100~ 300K 温度范围内的温度系数

	$E_{PL}(0)$ /eV	$\alpha$ /( $10^{-4}eV \cdot K^{-1}$ )	$\beta$ /K	$aB$ /meV	$\theta$ /K	$dE_{PL}/dT$ /( $10^{-4}eV \cdot K^{-1}$ )
ZnSe	2.798(3)	6.5(4)	187(9)	48(4)	183(9)	-4.8(3)
$Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$	2.827(5)	8.3(6)	131(14)	54(6)	149(14)	-6.8(5)

$ZnSe/Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  超晶格样品在 10K 下的光致发光谱和反射谱已在图 1b 中给出。在光致发光谱中,位于 2.817eV 的主峰为超晶格中的电子第一子带与重空穴第一子带间的激子复合发光(记作  $S$ )<sup>[8]</sup>。在它的高能侧有一个小肩,通常认为小肩对应于自由激子峰而主峰对应于超晶格层厚涨落形成的局域激子<sup>[9]</sup>。位于低能侧的两个弱峰可能与杂质束缚激子或杂质发光有关。与两个对照样品的光致发光谱比较可以看到超晶格的发光峰位于 ZnSe 和  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  的发光峰之间,表明在 10K 时超晶格中 ZnSe 是阱层,  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金是垒层,超晶格是 I 类超晶格。在超晶格的反射谱中除了对应于超晶格的光致发光峰的一些结构外,在高能侧有一个与  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金反射谱中的  $M_R$  类似的结构,对应于超晶格中  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  势垒层的信号。在超晶格反射谱的低能侧也有一个较小的结构 Z,可能与样品中的 ZnSe 缓冲层有关。

图 4 画出了 10~ 290K 间若干温度下的  $ZnSe/Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  超晶格的光致发光谱。图中同时用虚线画出了 ZnSe 样品在相应温度下的光谱作为对照。从图 4(a) 可以看到,随着温度的升高,30K 后在  $S$  峰的低能侧逐渐显现出一个新峰  $S_1$ 。它的能量位置和谱线结构均与 ZnSe 对照样品中测得的光谱类似。在 50K 时这个峰已经相当明显,到 70K 时  $S_1$  峰与  $S$  峰几乎有相同的强度。由于 ZnSe 和  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金的带隙能量差只有几十个毫电子伏,超晶格中载流子的限制作用不是很强,温度升高后可能有一部分被激发的载流子在 ZnSe 缓冲层中复合发光。因此我们认为在 30K 后出现的新峰  $S_1$  来自 ZnSe 缓冲层的发光。在 80K 时  $S$  峰突然消失,只剩下  $S_1$  峰成为光谱的主峰。由于  $S$  峰来自超晶格的发光,它的突然消失意味着此时超晶格的阱层和垒层出现了反转,起码是导带或价带中的一个发生了反转。温度再升高,光谱中仍然只有一个峰  $S_1$ 。但如图 4(b) 所示,它的高能侧与 ZnSe 的发光峰类似,而低能侧要比 ZnSe 样品的发光峰要宽很多。

在图 5(a) 和 (b) 中分别画出了  $ZnSe/Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  超晶格样品的  $S$  和  $S_1$  峰的峰值能量和半高宽(FWHM)随温度的变化。图中同时画出了 ZnSe 和  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  对照样品的结果以作比较。从图中可以看到, $S$  峰的峰值能量一直位于  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金和 ZnSe 的发光峰之间,说明在 10~ 80K 范围内它始终是超晶格中重空穴激子的发光峰而且超晶格一直是 I 类超晶格。 $S_1$  峰的情况比较复杂,它的峰值能量基本上与 ZnSe 的发光峰相同。但它的线宽变化并不与 ZnSe 的类似。在低于 100K 时它的半宽与 ZnSe 的比较接近。大于 100K 后它的半宽迅速增加,变得与  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金的半宽接近。到 200K 左右它的半宽增加减慢,介于 ZnSe 和  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金的半宽之间。结合图 4 和图 5 的结果可以认为,在低于 80K 时, $S_1$  峰主要是 ZnSe 缓冲层的发光。在高于 80K 后  $S_1$  峰中除了 ZnSe 缓冲层的发光外,还包括了反转后的超晶格的发光。由于此时超晶格中的阱层是  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金,其带隙小

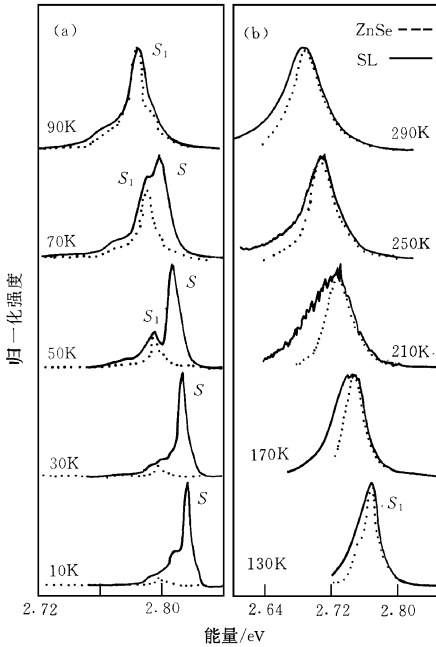


图4 ZnSe/Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 超晶格在 10~290K 间几个温度下的归一化光致发光谱 图中虚线是 ZnSe 在相应温度下的发光谱, 其强度作了适当调整以便与超晶格的光谱对比

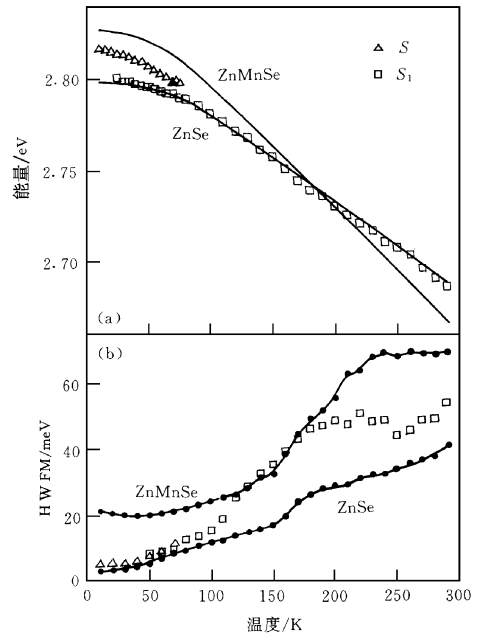


图5 ZnSe/Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 超晶格 S 和 S<sub>1</sub> 峰的 (a) 峰值能量和 (b) 半高宽随温度的变化 图(a)中实线是 ZnSe 和 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 对照样品的拟合结果, 图(b)中黑点是 ZnSe 和 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 对照样品的结果

于 ZnSe 缓冲层, 发光应出现在 ZnSe 缓冲层发光峰的低能侧 但由于阱层材料中的合金无序效应, 超晶格的发光峰比较宽, 可能也比较弱, 因此很难与缓冲层的发光区分开来

从 ZnSe 和 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 对照样品的变温光致发光谱研究, 得到两个样品的发光峰的峰值能量在约 180K 时相等 如果考虑到在 ZnSe 样品中观测到的主峰是束缚激子的发光而在 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 合金中观测到的是自由激子的发光, 利用测得的 ZnSe 中自由激子与束缚激子发光峰的能量差并忽略 ZnSe 和 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 合金中自由激子束缚能的差别, 可以推得 ZnSe 和 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 合金的带隙将在 130K 左右相等, 从而预计在此温度附近 ZnSe/Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 超晶格中会发生势阱层和势垒层的反转 但实际上在 80K 超晶格的发光峰 S 就突然消失 这表明 ZnSe/Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 超晶格中势阱层和势垒层反转的情况可能要更复杂一些 由于 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 和 ZnSe 之间有约 0.7% 的晶格失配, 在超晶格的 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 层中有双轴压应变存在, 它将引起 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 层的带隙的加宽和价带的劈裂<sup>[10]</sup> 如果这种劈裂不随温度改变, 它将使超晶格中导带和价带的势阱势垒层的反转发生在不同的温度 在图 6 我们示意地画出了超晶格中 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 层与 ZnSe 层的导带和价带的能量差  $\Delta E_c$ ,  $\Delta E_v$  随温度的变化, 它们分别以 ZnSe 的导带底和价带顶为能量零点 图中虚线 (C, V) 为未考虑 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 层中的应变时的情况 在 10K 时 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 的带隙比 ZnSe 的大, 此时  $\Delta E_c > 0$ ,  $\Delta E_v < 0$ , ZnSe 为阱层, 超晶格是 I 类超晶格 随着温度的升高, Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 的带隙逐渐减小, 在 130K 时与 ZnSe 的带隙相等 如果我们假定 Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se 的

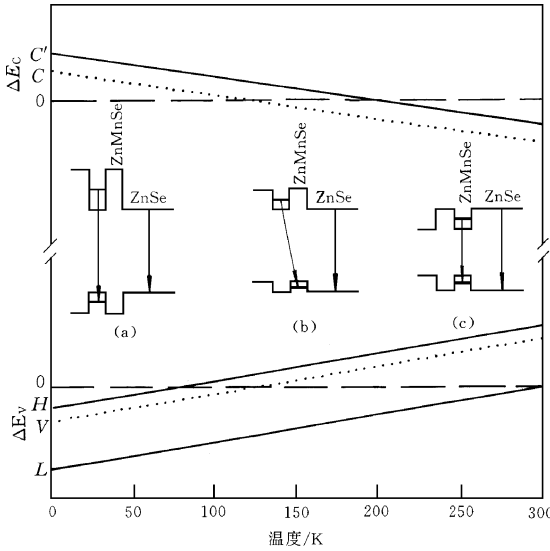


图 6 超晶格中  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  层与  $ZnSe$  层的导带和价带的能量差  $\Delta E_c, \Delta E_v$  随温度的变化示意图  
 图中插图为 (a):  $T < 80K$ , (b):  $80K < T < 200K$ , (c);  $T > 200K$  时超晶格的能带结构与发光跃迁示意图

导带和价带随温度的变化是同步的, 此时  $\Delta E_c$  和  $\Delta E_v$  同时为零, 导带和价带同时反转 温度再升高, 则  $\Delta E_c < 0, \Delta E_v > 0$ ,  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  为阱层, 仍是 I 类超晶格 如果考虑到  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  层中的应变并假定应变不随温度改变, 结果应如图中实线所示 价带劈裂成轻重空穴带 ( $L$  和  $H$ ), 导带不分裂但能量变高 ( $C$ ). 在  $10K$  时导带和重空穴带仍形成 I 类超晶格,  $ZnSe$  为阱层, 能带结构与发光跃迁如插图 (a) 所示 到  $80K$  时重空穴带中势阱势垒层首先发生反转, 超晶格变成 II 类, 电子仍在  $ZnSe$  层中而空穴转到  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  层中 此时的能带结构如插图 (b) 所示 由于 II 类超晶格的跃迁几率比较小, 跃迁能量也变低, 因此光谱中  $S$  峰突然消失, 超晶格的发光逐渐演变成  $S_1$  峰的低能部分 温度再升高, 导带也发生反转 超晶格又成为 I 类超晶

格但阱层是  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  层, 如插图 (c) 所示 图 5 (b) 中  $S_1$  峰的半宽在温度超过  $200K$  后增加明显减慢, 可能与这个过程有关

### 4 结论

通过对  $ZnSe$  和  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金的光致发光谱的温度关系的研究, 发现低温下  $ZnSe$  的带隙比  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  合金的带隙小而室温下正好相反 表明在由  $ZnSe$  和  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  组成的超晶格中可以观测到温度引入的超晶格的势阱层和势垒层的反转并预计反转将发生在  $130K$  附近

在阱层和垒层均为  $6nm$  的  $ZnSe/Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  超晶格中发现  $10K$  时测得的超晶格的发光峰  $S$  在温度升高到  $80K$  时突然消失, 表明此时超晶格中发生了势阱层和势垒层的反转 并对  $30K$  后逐渐显现出来  $80K$  后成为光谱中的主峰的  $S_1$  峰进行了分析, 认为在温度低于  $80K$  时它来自  $ZnSe$  缓冲层的发光而温度高于  $80K$  后它除了缓冲层的发光外还包括了反转后的超晶格的发光

由于  $Zn_{0.84}Mn_{0.16}Se$  层中存在着应变, 使超晶格中导带和价带中势阱势垒层的反转出现在不同的温度 从而使实际测得的势阱势垒层反转的温度比预计的低

### 参 考 文 献

[ 1 ] J. K. Furdyna, J. Appl Phys , 1988, 64: R29

- [ 2 ] R. B. Bylma, W. M. Becker, J. Kossut *et al* , Phys Rev. B, 1986, **33**: 8207.
- [ 3 ] X. Z. Wang, X. Chen, J. Z. Liu *et al* , Solid State Commun. , 1995, **95**: 525; 陈①, 王学忠, 刘继周, 等, 半导体学报, 1996, **17**: 573
- [ 4 ] C. X. Jin, B. P. Zhang, Z. Ling *et al* , J. Appl Phys. , 1997, **81**: 5148
- [ 5 ] B. A. Weinstein, T. M. Ritter, D. Strochen *et al* , Phys Stat Sol (b), 1996, **198**: 167.
- [ 6 ] K. Shahzad, J. Petruzzello, D. J. O'leary *et al* , Appl Phys Lett , 1990, **57**: 2452
- [ 7 ] Y. P. Varshni, Physica (Utrecht), 1967, **34**: 149
- [ 8 ] P. Lautenschlager, M. Garriga, S. Logothetidis, Phys Rev. B, 1987, **35**: 9174
- [ 9 ] M. Lomascolo, G. H. Li, K. Syassen *et al* , Phys Rev. B, 1994, **50**: 14635
- [ 10 ] E. Deleporte, T. Lebiheb, B. Ohnesorge *et al* , Phys Rev. B, 1994, **50**: 4514

## Temperature- Induced Turn-Over of Well and Barrier Layers in ZnSe/Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se Superlattices

Li Guohua<sup>1</sup>, Zhu Zuoming<sup>1</sup>, Liu Nanzhu<sup>1</sup>, Han Hexiang<sup>1</sup>,  
Wang Zhaoping<sup>1</sup>, Wang Jie<sup>2</sup>, Wang Xun<sup>2</sup>

(1 *National Laboratory for Superlattices and Microstructures, Institute of Semiconductors,  
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083*)

(2 *Surface Physics Laboratory, Fudan University, Shanghai 200433*)

Received 15 July 1998, revised manuscript received 17 December 1998

**Abstract** The photoluminescence of ZnSe, Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se alloy and ZnSe/Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se superlattice (SL) has been measured at temperatures ranging from 10K to 300K. It is found that the band gap of the ZnSe is smaller than that of the Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se alloy at 10K, but larger than that of alloy at 300K. Than the well and barrier layers in ZnSe/Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se SL will turn-over at about 130K. This type of turn-over is observed in the SL sample. But the turn-over occurred at 80K, somewhat lower than the expected temperature. The strain in the Zn<sub>0.84</sub>Mn<sub>0.16</sub>Se layer of SL may be the reason for the lower of the turn-over temperature.

**PACC:** 7550P, 7340L, 7855