

有机低维结构 EL 器件的特性*

刘式墉, 黄劲松, 杨开霞

(吉林大学 电子工程系, 吉林 长春 130023)

摘要: 近年来, 有机电发光器件已经有了很大进展, 寿命也已突破万小时, 尽管如此, 如何更进一步提高发光效率仍是人们所关注的热点。通过与无机半导体低维结构特性的类比, 指出对某些有机材料体系, 低维结构同样可以改善器件的性能。

关键词: 低维结构; 有机 EL 短程有序; 发光效率

中图分类号: TN873.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-7032(2000)04-0305-03

1 引 言

众所周知, 对无机半导体来说, 量子阱、量子线乃至量子点结构, 对半导体光电器件性能的改进起了非常重要的作用, 量子阱结构是半导体激光器的主流, 由于工艺技术上的困难, 量子线和量子点结构的器件并不多, 但近年来, 自组装技术的发展, 使无机自组装量子点激光器有了很大的发展。

半导体材料低维结构是在能带理论的基础上发展起来的, 而能带理论的基础是长程有序。尽管有机材料不是长程有序, 只能说是短程有序, 但有机薄膜材料也和无机半导体材料一样: 有吸收边, 并且电导率与温度关系也是 e 指数关系, 这两个特点, 正是存在带隙的有力证明。考虑到有机薄膜的无序性, 可以认为在禁带中存在很多深能级。因此, 作为一个近似, 我们仍可以用能带理论的基本观点去解释有机薄膜材料及其发光特性。

事实上有人早在 70 年代就用单电子近似计算了 PVK 的有效质量, 所得结果与用 TOF 技术测得迁移率推算出的有效质量在数量级上完全一样, 这更加使人们认识到可以用能带理论的基本思想去分析有机薄膜材料和有机发光器件的特性。

早在 90 年代中, 日本科学家就开始研究有机量子阱、超晶格特性, 90 年代末, 我们实验室相继开展了有机量子阱器件和有机类量子点器件的研究, 本文将对此进行讨论。

2 掺杂有机量子阱发光器件

由于有机材料本身载流子的有效质量大, 所

以从量子力学观点看, 即使垒宽比较窄(几个纳米)也不会出现相邻阱间载流子波函数的交迭, 所以有机量子阱结构, 垒宽一般也都是几个纳米, 但我们曾经指出, 当阱、垒宽度小于 3nm 时, 小角 X-光衍射分析表明^[1], 界面粗糙度的影响较大, 因此有机多量子阱结构的阱垒宽度一般为 3~5nm。

为了改善量子阱结构界面质量, 我们提出了掺杂量子阱结构, 这种结构的一个例子是: 阱是 Alq rubren, 垒是 Alq, 由于阱中 rubren 的量只是母体 Alq 的百分之几, 因此, 界面处 rubren 的浓度梯度很小, 界面质量应当比较好。

对于 Alq rubren 体系, 我们首先研究了 rubren 掺杂浓度对 PL 强度的影响, 如图 1 所示。从图 1 可见, 当掺杂浓度为 7.4% 时, PL 谱最强。然后在此掺杂浓度下, 研究阱宽与 PL 谱峰值位置和 PL 半峰宽的关系, 如图 2 所示。由图 2 可

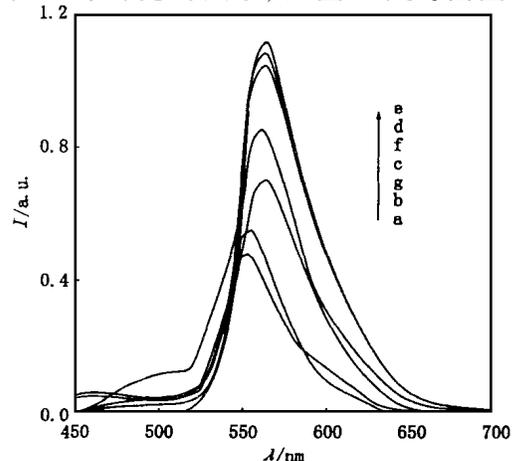


图 1 掺杂薄膜 PL 谱的浓度依赖 Alq:rubrene
a: 0.3% b: 0.7% c: 3% d: 5% e: 7.4% f: 10% g: 15%
Fig. 1 Dependence of PL spectra on concentration (Alq:rubrene) for the doped thin film.

收稿日期: 2000-06-20; 修订日期: 2000-08-03

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(59973007)

作者简介: 刘式墉(1935-), 男, 辽宁锦西人, 教授, 博士生导师, 主要从事半导体和有机材料和器件光电性质研究。

* 第二届全国有机/聚合物发光与激光学术会议(2000, 8, 长春)邀请报告

见,当阱宽较窄时,随着阱宽的变小,PL半峰宽变小,峰值波长蓝移,并且这个能量移动与阱宽平方的倒数成比例,如图3所示。这正是量子尺寸效应的结果,因为从公式

$$E = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{m_c^*} + \frac{1}{m_v^*} \right) \left(\frac{\hbar}{L} \right)^2 \quad (1)$$

可见 $E \propto \frac{1}{L^2}$ 。

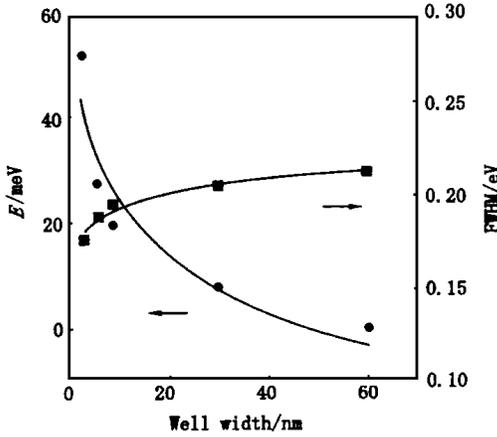


图2 具有不同阱宽器件EL谱峰值移动和FWHM
Fig. 2 Spectrum shift and FWHM of EL devices with different well widths.

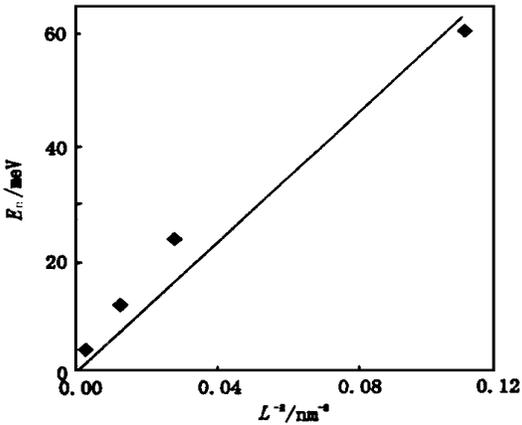


图3 能量移动与阱宽的关系

Fig. 3 Relation between energy shift and well width.

和无机多量子阱器件一样,阱数也影响量子阱发光器件的特性。对于上述体系,我们发现,当阱数为2时,亮度、效率都是最好的,表1给出了双量子阱发光器件的特性。

3 有机类量子点结构

几年前, S. Forest 在他的一篇文章中曾经提到过天然量子点的概念,但没有作深入的讨论。在研究Alq QAD体系发光特性时,我们发现了一

些有趣的现象。

表1 双量子阱发光的亮度和效率

Table 1 Luminescence and efficiency of the device with double QW structure

	双量子阱器件	异质结器件
9V 亮度(cd/m ²)	4 200	1 176
效率(1m/W)	1 82	1 32
最大亮度(cd/m ²)	48 000	40 000
最大效率(1m/W)	4 59	3 14

3 有机类量子点结构

我们知道,对于无机自组装量子点结构来说,自组装量子点层数增加,PL增强,但峰值波长不随层数减小而蓝移(即无量子尺寸效应),我们研究了Alq QAD体系的PL特性,发现当QAD浓度为0.4%时,PL谱最强(如图4),在此浓度下,我们研究了PL谱与Alq QAD层厚度的关系,发现PL谱强度随层厚增加,当层厚度较小时,峰值波长并不随厚度减小而改变(图5,6)。

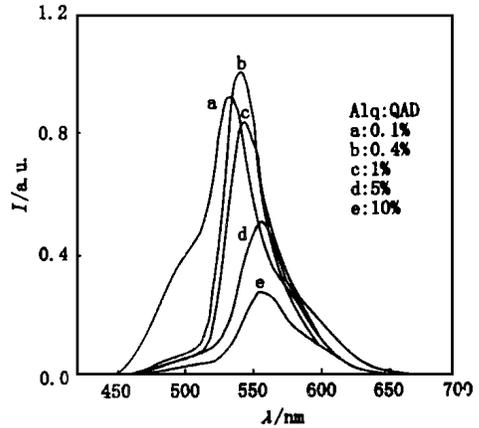


图4 掺杂薄膜PL谱的掺杂剂浓度依赖

Fig. 4 Dependence of PL spectra on concentration (Alq QAD) for the doped thin film.

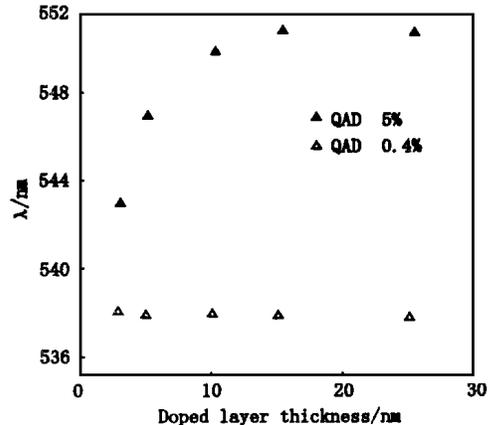


图5 PL峰对掺杂层厚度的依赖

Fig. 5 Dependence of PL spectral peak on the thickness of doped layer.

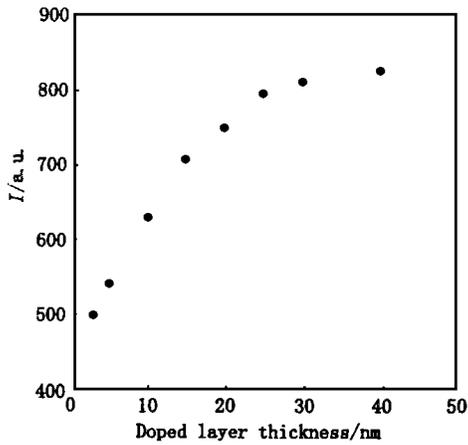


图6 当QAD为0.4%时,PL谱强度对掺杂层厚度的依赖
Fig. 6 Dependence of PL intensity on the thickness of doped layer, when the QAD concentration is at 0.4%.

这些现象与无机自组装量子点结构的特性完全一样,因此我们称之为有机类量子点(Quantum Dot-like)结构。

参 考 文 献:

- [1] Chen Beijun, Liu Shiyong. Fabrication of a tris(8-hydroxy quinoline)aluminum(Alq₃)/poly(N-vinylcarbazole)(PVK) superlattice structure and its use for electroluminescent device [J]. *Jpn. Appl. Phys.*, 37(3B), 1998, 1665-1669.

用这种结构我们制作了电致发光器件,得到了很好的结果如表2所示。

表2 类量子点结构器件的亮度和效率

Table 2 Luminescence and efficiency of the device with quantum dot-like structure

	开启 电压 V	9V		最大 亮度 cd/m ²	最大 效率 lm/W
		亮度 cd/m ²	效率 lm/W		
类量子点器件	2.57	1810	1.71	27300	3.18
高掺杂器件	3.05	420	0.77	11970	0.93

3 讨 论

上述研究表明,某些体系适合于作量子阱结构,而另一些体系可能适合作类量子点结构,这可能与猝灭效应以及能量转移特性有关。上述工作只是初步的,有些内容还待进一步探讨。

Characteristics of EL Device with Organic Low-dimensional Structure

LIU Shi-yong, HUANG Ji-rong, YANG Kai-xia

(Department of Electronic Engineering, Jilin University, Changchun 130023, China)

Abstract Recently, organic electroluminescent devices have demonstrated a remarkable progress. The life-time has been over 10 000h. Even so, how to improve efficiency has also attracted much interest. In this paper, by comparing to low dimension structure characteristic of inorganic semiconductor, we indicate, for some organic materials system, low dimension structure can also improve the property of device.

Key words low dimension structure; organic EL; short distance order; luminescent efficiency