

高效率 ZnS:Er ACTFELD 的研制

柳兆洪, 陈谋智, 徐广海, 孙书农, 刘瑞堂

(厦门大学 物理学系, 厦门 361005)

摘 要: 对掺铒硫化锌交流电致发光薄膜器件 (ACTFELD), 根据载流子隧穿势垒层会获得能量增益, 提高激发效率的原理, 通过改变常规 ZnS:Er ACTFELD 的基本结构, 研制出多阻挡层器件。实验证实, 这种多阻挡层器件具有高的阈值电压和高的电致发光亮度。

关键词: 交流电致发光; 阈值电压; 势垒层; X 射线光电子能谱

中图分类号: TN383⁺.1; TN304.2⁺5 **文献标识码:** A

Fabrication of High-efficiency ZnS:Er ACTFELD

LIU Zhao-hong, CHEN Mou-zhi, XU Guang-hai, SUN Shu-nong, LIU Rui-tang

(Dept. of Phys., Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Efficient ZnS:Er alternating current thin film electroluminescent devices (ACT-FELDs) have been fabricated based on the mechanism that the energy gain and excitation efficiency of charge carriers can be increased by means of barrier layer tunnelling along with the modification of the conventional structure. The experimental results indicate that the multi-barrier layer devices offer a higher threshold voltage and greater electroluminescence brightness.

Keywords: alternating current electroluminescence; threshold voltage; barrier layer; X-ray photoelectron spectroscopy

1 引言

目前, ACTFELD 作为固体化、平板化信息显示器件已达到实际应用水平^[1]。近年来, 人们对形成 II-VI 族化合物半导体薄膜技术以及选择适宜的掺杂浓度, 提高器件发光效率, 提高器件电致发光亮度和寿命, 提高工艺的重复性等方面已开展了大量的工作。很多报道主要集中在提高器件发光效率的方法上^[2,3]。研究认为, 在交流薄膜电致发光 (ACTFELD) 的过程中, 起决定作用的是电子在发光层中的运动, 它决定了器件的损耗和激发。本文运用多层 (ZnS:Er/ZnS)_n 薄膜结构, 提高激发效率。采用 X 射线光电子能谱 (XPS) 技术, 检测薄膜的成分, 揭示了硫化锌交流薄膜结构与发光效率的关系, 为研制

高效新型电致发光器件提供依据。

2 实验方法

在 DMD-45 型光学多层镀膜机上, 制备多层 (ZnS:Er/ZnS)_n 薄膜器件, 器件截面结构示于图 1 (a)。首先在玻璃衬底上沉积氧化铟锡 (ITO) 透明电极, 再用电子束蒸发和溅射技术沉积 100 nm 厚 (Y₂O₃ 或 Ta₂O₅) 第一绝缘层^[4], 用分舟热蒸发技术沉积 300~500 nm 厚硫化锌与掺铒硫化锌薄膜层, 100 nm 厚的 (Y₂O₃) 第二绝缘层和 Al 金属电极。层结构示于图 1 (b)。其中第 I 类是常规器件, 硫化锌薄膜中有单层的 ZnS:Er 层; 第 II 类是所研制的器件, 硫化锌薄膜呈 (ZnS:Er/ZnS)₂ 夹层结构; 第 III 类硫化锌薄膜是 (ZnS:Er/ZnS)_n 多层结构, 其中 n 表示 (ZnS:Er/ZnS) 的总层数。制备了不同 ZnS:Er 和 ZnS 层厚度的几种器件, 呈 MISIM 结构。焊接引线

收稿日期: 1999-06-14

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目 (A96007)

供光谱测试,用英国 VG, ESCA, LAB, MK- II X 射线光电子能谱仪进行 XPS 测量,配合离子剥蚀技术,以获得薄膜表面和内部各剥蚀层的构态信息。

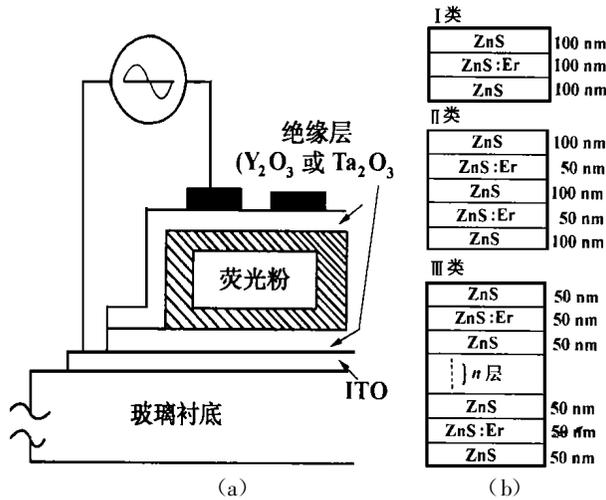


图 1 ZnS: Er ACTFELD (a)和多层薄膜(b)结构图
Fig.1 Structure of ZnS: Er ACTFELD (a) and multi-layer film(b)

3 实验结果和讨论

ACTFELD 的结构见图 1(a),所研制的器件的截面结构(图 1(b)II 类)与常规器件截面结构(图 1(b)I 类)相比,不同之处在于 ZnS 荧光粉层的两侧加了 50 nm 厚的 ZnS: Er 阻挡层,因此将这种器件称为“阻挡层”器件。引入两个 50 nm 厚的 ZnS: Er 阻挡层后,明显地改变了 ACTFELD 的工作状态。最初预计这两个“阻挡层”器件可能出现的情况为:(1)产生附加的界面态以形成足够数量的激发电子;(2)作为隧穿层,在这个隧穿层上电场下降导致隧穿电子的高能增益,从而提高激发效率。根据 $Q-V$ 测量,可以认为后一种情况,即隧穿是重要的影响机制,因为在有势垒层时运输电荷降低,即对电子的阻碍使它没有足够的能量隧穿势垒层,因而 ΔQ 降低。相反,如果是附加的界面态起主要作用,它将由此获得更多的载流子,应使 ΔQ 提高。实际测试发现 ΔQ 降低,所以这里附加的界面态是不起主要作用的。目前还需要进行更为深入的研究以确定合适的模型,但实验结果已清楚地证明多势垒层提高了 ACTFELD 的发光效率^[5,6]。

根据隧穿模型,图 2 给出了导通状态下两种器件中的电场分布。由图 2(a)可以看出整个常规器件均匀的能带斜率所表示的电场箱位,在常规器件的阴极界面上有局部高场区。能带在阴极界面上的弯曲可归因于正空间电荷的形成,而且也表明在阴

极区域内发光效率提高。预计所研制的器件中每一势垒层的阴极侧也会发生同样的过程。如图 2(b)所示,因引入多阻挡层结构,可实现内部电场的再分布,由于整个势垒层上的电压降及空间电荷的形成,可在器件内部形成若干高场加速区,隧穿通过势垒层的载流子会获得能量增益,并导致发光效率的改善。单层 ZnS: Er 薄膜电致发光器件(TFELD)的 EL 发射极弱,所以需用 $(ZnS: Er/ZnS)_n$ 多层 TFELD 来提高亮度和 EL 效率。通过对几种稀土发光中心进行研究,硫化锌被公认是适合三价稀土发光中心(Er_2O_3 和 Er_2S_3)的基质材料。由于稀土离子通常是三价的,在向硫化锌晶格中掺杂稀土离子时要有电荷补偿使稀土离子较容易掺入硫化锌晶格中。为了提高采用 Er_2O_3 和 Er_2S_3 稀土发光中心制备的多层 TFEL 器件的 EL 效率,正在开发一种使 Er_2O_3 或 Er_2S_3 薄膜具有好的结晶性的生长技术^[7],并选择最佳的多层 TFEL 薄膜结构,如图 1 (b, III类)所示。

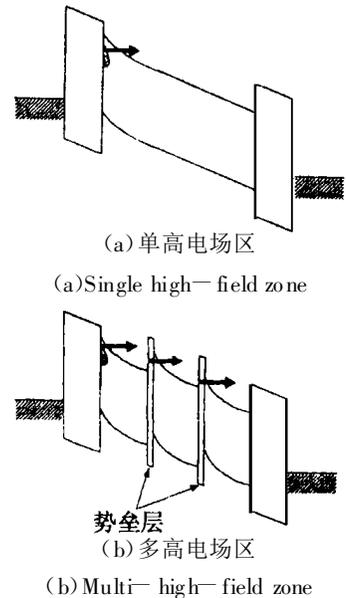


图 2 导通状态下 ZnS: Er ACTFELD
Fig.2 Energy band diagram for both configurations of the ZnS: Er ACTFELD

在多层 $(ZnS: Er/ZnS)_n$ TFEL 器件中,硫化锌薄膜层起着电子加速层的作用,ZnS: Er 薄膜层充当靶层。为了证实 ZnS: Er 薄膜层的这一作用,用常规器件的非对称结构与所研制器件的 $(ZnS: Er/ZnS)$ 双层结构器件做了初步的实验。被测量器件的亮度-电压($B-V$)特性如图 3,结果表明,所研制器件(b)较常规器件(a)的亮度高。当电子从 ZnS:Er 层移到 ZnS 层时仍有 EL 发射,ZnS: Er 层电场的下降导致 ZnS 层电场的下降,从而导致多阻

挡层器件阈值电压的提高。为阐明 $(\text{ZnS:Er}/\text{ZnS})_n$ 多层 TFEL 器件的激发机理,需做进一步的研究。

晶薄膜是依靠 Er^{3+} 的突然掺入形成突变界面而形成势垒层的。

综上所述,用电子束蒸发沉积 Y_2O_3 绝缘层,再用分舟热蒸发技术制备多阻挡层器件,根据隧穿模型,阻挡层上电场的下降导致隧穿电子的高能增益,从而提高激发效率,这已为所研制的双阻挡层器件较常规单阻挡层器件亮度高所证明。选择最佳的多层薄膜结构,提高势垒层的质量,提高绝缘膜的质量,将有效地提高硫化锌薄膜器件的交流电致发光的效率与亮度。

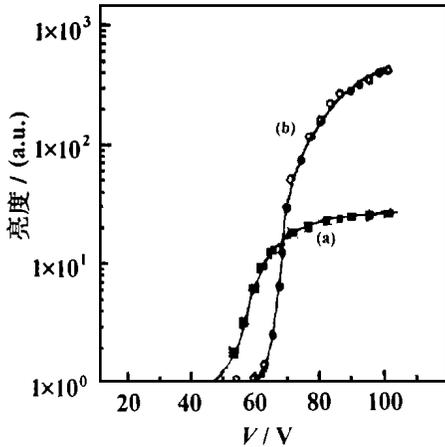


图 3 器件的亮度—电压特性

Fig. 3 Brightness—voltage characteristics for both devices

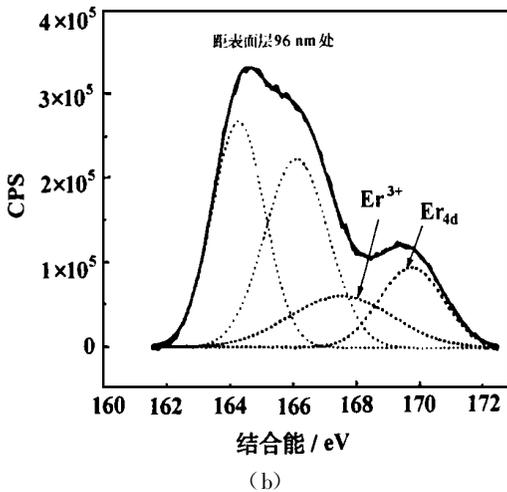
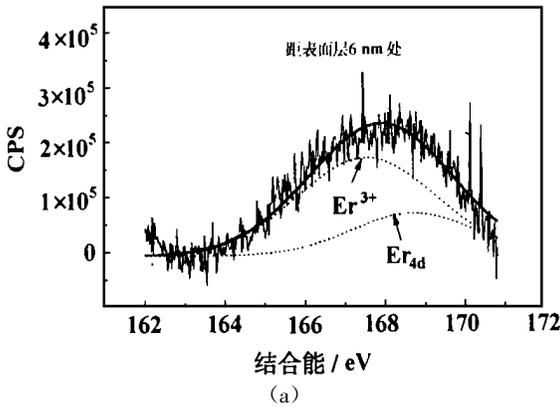


图 4 距表面层 6 nm(a)和 96 nm 处 Er_{4d} 的光电子发射谱
Fig. 4 XPS spectra of Er_{4d} at the distomce of 6 nm(a) and 96 nm(b) from of surface

运用 XPS 技术,配合离子剥蚀技术,对所研制的硫化锌交流电致发光薄膜的表层及表层以下进行 XPS 测量,得到距表面层 6 nm 和 96 nm 处的 Er_{4d} 光电子发射谱,如图 4(a),图 4(b)所示。在硫化锌微

参考文献:

[1] 赵 辉, 王永生, 徐 征, 等. ZnS 型薄膜电致发光器件中能谷转移过程的蒙特卡罗模拟[J]. 物理学报, 1999, 48(3): 533 ~ 539.

[2] Hua S Z, Salamanca—Riba L, Wuttig M, et al. Microstructural studies of photoluminescent of thin films of $\text{S}_2\text{S:Eu}^{2+}, \text{Sm}^{3+}$ [J]. J. Cryst. Growth, 1994, 141: 165 ~ 174.

[3] Heroshi Sakama, Masanori Ohmura, Masayoshi Tonouchi et al. Growth mechanism of ZnS: Mn films obtained by hydrogen plasma sputtering and its application to a thin—film electroluminescent device[J]. Jpn. J. Appl. Phys., 1993, 32(4): 1 681~ 1 690.

[4] 王余姜, 柳兆洪, 陈振湘, 等. 用电子束蒸发制备硫化锌薄膜器件的绝缘层[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1995, 34(4): 553 ~ 556.

[5] Thoruas C B, Cranton W M. High efficiency ZnS: Mn ac thin film electroluminescent device structure[J]. Appl. Phys. Lett., 1993, 63: 3 119.

[6] Koutoku Ohmi, Shosaku Tanaka, Hiroshi Korayashi, et al. Electroluminescent devices with $(\text{Y}_2\text{O}_2\text{S: Tb}/\text{ZnS})_n$ multilayered phosphor thin films prepared by multisource deposition[J]. Jpn. J. Appl. Phys., 1992, 31: L1 366~ L1 369.

[7] Liu Zhaohong, Wang Yujiang, Chen Mouzhi, et al. Study of microstructure and electroluminescence of zinc sulfide thin film[J]. Acta Physica Sinica (Overseas Edition), 1998, 7(3): 209 ~ 213.

作者简介:



柳兆洪(1941—),男,厦门大学物理系副教授,长期从事教学与半导体发光物理的科研工作。