

- [2] O. Auciello, K. D. Gifford, A. I. Kingon, *Appl. Phys. Lett.*, **64**(1994), 2873.
- [3] X.L. Guo, Z. G. Liu, X. Y. Chen et al., *J. Phys. D.*, **29**(1996), 1.
- [4] R. Ramesh, J. Lee, T. Sands et al., *Appl. Phys. Lett.*, **64**(1994), 2511.
- [5] S. Mathews, R. Ramesh, T. Venkatesan et al., *Science*, **276**(1997), 238.
- [6] T. Yu, Y. F. Chen, Z. G. Liu et al., *Appl. Phys. Lett.*, **69**(1996), 2092.
- [7] Z. G. Liu, X. Y. Chen, J. M. Liu et al., *Solid State Communi.*, **91**(1994), 671.
- [8] P. Murali, M. Kohli, T. Maeder et al., *Sensors & Actuators A*, **48**(1995), 157.

薄膜场致发光显示的研究进展*

许秀来 徐征 徐叙

(北方交通大学光电子技术研究所,北京 100044)

摘要 描述了薄膜场致发光(TFEL)显示的电学和光学性质.介绍了夹层结构,它等效于齐纳二极管组成的线路.分析了影响亮度和效率的因素,主要是发光中心浓度、电子的能量和发光体的结晶状态.为了提高电子能量,提出了分层优化方案,它具有明显的优越性;为改善发光层的结晶状态,提出了厚膜场致发光(TDEL).对场致发光的机理进行了讨论,描述了多色和全色 TFEL 器件的材料和结构的研究进展.

关键词 电致发光,薄膜,平板显示

THIN FILM ELECTROLUMINESCENCE DISPLAYS

Xu Xiulai Xu Zheng Xu Xurong

(Institute of Optoelectronics Technology, Northern Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract The electrical and optical properties of thin film electroluminescence (TFEL) displays are described. A simple Zener model for TFEL devices is used to discuss the factors influencing luminance and efficiency, from which it is concluded that the layered - optimization structure has the most advantages, and a thick dielectric electroluminescence device can improve the crystallinity of phosphor. The basic mechanism of TFEL devices is described. The development and prospects of multi-color and full-color electroluminescence flat panel displays are reviewed.

Key words electroluminescence, thin film, flat panel display

1 引言

用平板显示取代阴极射线显示一直是显示器件的发展趋势.场致发光是实现平板显示的一条优越途径,自它被发现以来,以其视角大、全固化、适应温度范围大等优点一直显示出强大的生命力.

1936年,Destriau^[1]发现了本征的场致发光,即把发光材料放在高电场中产生发光的有

趣现象.直到1957年,Sylvania电器公司的工程师们表演了他们的“粉末型”和“弥散型”的场致发光屏,这才引起了从事照明工程及研究发光材料工作者的兴趣.

1974年,日本SHARP公司的T. Inoguchi

* 国家自然科学基金和国家863高技术资助项目
1998-04-03收到初稿,1998-09-03修回

等人^[2]提出了用双绝缘层结构的薄膜场致发光(TFEL)器件将发光薄膜夹在两层绝缘层中间,该器件具有很好的稳定性和寿命.单色薄膜器件的亮度可达 $8000\text{cd}/\text{m}^2$,寿命可达几万小时,它为 TFEL 显示走向实用奠定了坚实的基础.日本、美国和芬兰等国已经利用这种结构的 TFEL 器件作为计算机终端显示.

为了进一步实现 TFEL 器件的彩色化,90年代,徐叙 等人^[3,4]提出分层优化的场致发光器件,在结构上相当于采用了“三级火箭”取代“一级火箭”,这种结构对提高发光亮度、短波长(如蓝光)的发光效率和实现彩色化平板显示具有重要意义.

本文主要描述了 TFEL 器件的材料、结构、物理过程等,并且介绍了目前 TFEL 器件显示的研究进展.

2 薄膜场致发光器件的制备方法及其结构

薄膜特性对 TFEL 器件的亮度、效率的影响比较大.为了获得高亮度、高发光效率的器件,就需要制备结晶状态较好的发光薄膜.目前制备薄膜的方法主要有:(1)物理方法,如电子束蒸发(EB evaporation)、溅射(sputting)、多源淀积(multi-source deposition)、原子束外延(ALE)、分子束外延(MBE)等;(2)化学方法,如化学气相沉积(CVD)、金属有机物化学气相沉积(MOCVD)等.

传统的夹层结构 TFEL 器件的结构如图 1(a)所示,它是由两个高介电常数的绝缘层对称地夹在发光体两侧,该器件发光时加在发光层上的电场大约 $10^6\text{V}/\text{cm}$ 以上.在这样高的电场下,如果将电极直接加在发光层上,则发光层的任何缺陷都会形成短路,而导致能量流失.因此将发光层夹在两层绝缘层之间,这里绝缘层起到了限制电流的作用,而且绝缘层储存电荷形成自建电场,在反向时具有增大内部电场的作用,使 TFEL 器件具有记忆效应.对于这种结构的物理分析,通常采用如图 1(b)所示的二极管模型.

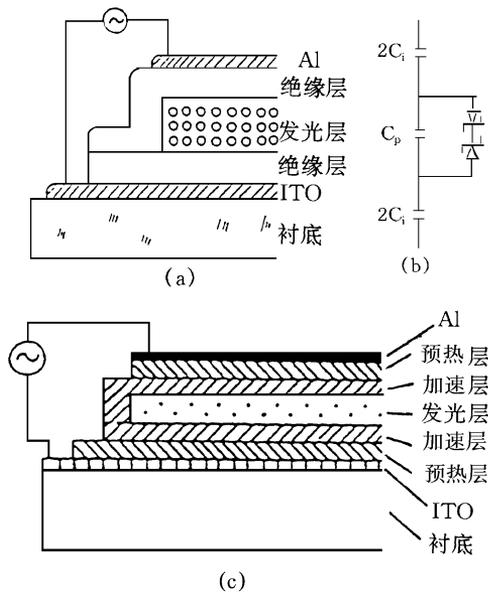


图 1 (a) TFEL 器件的夹层结构;(b) TFEL 器件的等效电路模型;(c) TFEL 器件的分层优化结构

全色平板显示是 TFEL 研究的最低目标.分层优化结构的 TFEL 器件如图 1(c)所示,与传统结构相比,在电极与发光体之间采用低介电常数的预热层 SiO 和加速层 SiO_2 .这种结构主要利用了以下 3 个思想:(1)将电子的产生、加速和碰撞激发过程分开;(2)使用了 SiO_2 的半导体性,使其内部能够出现电子倍增,同时它

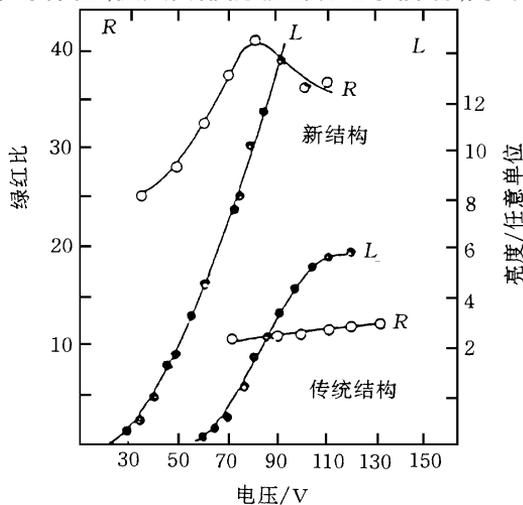


图 2 传统结构和分层优化器件的发光亮度和绿红比随外加电压的变化曲线

的介电常数低于发光层. 这样, 电场在 SiO_2 层较大, 低电压提高时, 在此层内的倍增过程先期发生; (3) 应用预热层协助电子加速. 从理论和实践中证实了这种 TFEL 结构提高了过热电子的能量, 增强了短波的发射, 为实现全色显示提供了可能. 图 2 是传统结构器件和分层优化的发光亮度和绿红比随外加电压的变化曲线, 从图 2 上可以看出分层优化结构器件的绿红比高于传统器件.

3 场致发光的物理问题

3.1 TFEL 的发光机理

薄膜场致发光是高场下的发光现象, 电场强度高达 10^6V/cm . Chen^[5] 等人提出 TFEL 的高场激发模型, 认为薄膜场致发光的机理是被加速的过热电子直接碰撞激发发光中心, 使发光中心被激发到高能态而发光. 图 3 是薄膜场致发光过程的原理图. 从图 3 可知, 场致发光包括四个基本过程: (1) 载流子从绝缘层和发光层界面处的局域态隧穿进入发光层; (2) 载流子在发光层的高电场中加速成为过热电子; (3) 过热电子碰撞激发发光中心; (4) 载流子再次被束缚在定域态中. 对于交流薄膜场致发光而言, 这四个基本过程反复进行. 这些电子随着外电场的周期性变化在发光层与绝缘层形成的两个界面之间振荡, 同时电子加速和倍增, 产生大量的过热电子碰撞激发发光中心, 使发光中心能级上的电子处于高能态, 然后这些高能态电子通过

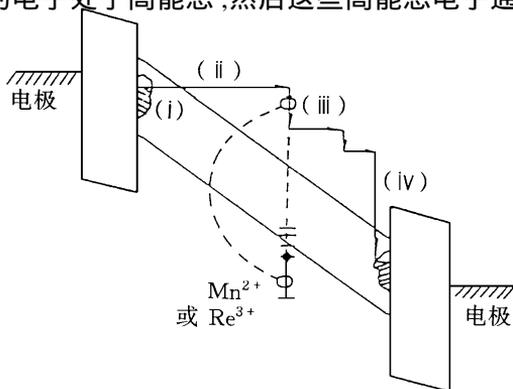


图 3 TFEL 器件的发光模型

辐射跃迁发出光子.

3.2 TFEL 器件的亮度和效率及提高方法

通常的 TFEL 器件在阈值电压以下基本不发光, 在高于阈值电压后, 亮度迅速上升, 到一定电压时趋于饱和. 最大亮度一般在阈值电压以上 $30-40\text{V}$. 亮度的陡增是由于绝缘层与发光层间束缚电子隧穿注入及电子倍增的结果. 效率随着电压变化到最大值, 然后逐渐下降.

为了深入了解 TFEL 器件的物理过程及影响发光亮度和效率的因素, 对夹层结构器件的电路采用齐纳二极管模型^[6]比较成功. 图 1 (b) 所示的是夹层结构器件和其电路模型. 从这种结构可以看出, 电荷的传输主要与外加电压和薄膜电容有关, 体现在亮度与频率的正比关系, 这里比例常数与晶体的完整性、发光中心的浓度、发光中心和空间电荷的分布有关. 场致发光效率与基质材料中掺杂的发光中心浓度和高能电子在基质晶格中的碰撞截面有关.

在传统结构器件中, 绝缘层为高介电常数的物质, 加上电压后, 电场主要加在发光层上, 电子只能在发光层中加速, 电子获得的能量有限. 文献[4]中提出了分层优化方案, 用低介电常数的 SiO 和 SiO_2 作绝缘层, 使器件工作时电场主要加在绝缘层上, 并利用 SiO_2 的半导体特性, 使电子得以加速, 并且 SiO 内部和界面提供了大量的初电子源, 这种方案提高了电子的能量, 从而明显提高了亮度.

加拿大的 Westaim 公司采用了新型的厚膜场致发光 (TDEL) 显示, 这种器件主要目的在于提高发光体的结晶度. 他们把薄膜发光体加在耐高温的厚膜介质层 (硅酸盐) 上, 这种器件的退火温度比通常在 $\text{ITO} (\text{In}_2\text{O}_3 + \text{SnO}_2)$ 玻璃上制备的器件要高得多. 在高温退火后, 发光体的完整性大大提高, 以此来提高器件亮度.

3.3 分层优化的物理问题

影响发光中心的碰撞激发的因素很多, 如: 过热电子的能量、电子的离化倍增、碰撞激发截面及能量的传递等. 其中碰撞激发和碰撞离化是不可缺少的环节, 碰撞激发对亮度和效率的影响很大. 要提高发光亮度就需要扩大碰撞激

发截面,从影响碰撞截面的各种因素中我们看到提高过热电子能量的重要性及原则性.徐叙^[3,4,7]针对上述要求提出了分层优化的TFEL器件.

分层优化的TFEL结构在理论和实验上都验证了其优越性,这主要包括改善了发光特性及发现了原则上全新的现象.分层优化方案从理论上估计了导带电子的具体行为,并揭示出发光中心的碰撞激发截面的各向异性,证实了碰撞激发截面与发光寿命的反比关系,发现了亮度二次跃升现象是碰撞截面的各向异性的证据,它与能谷转移有关,说明电子在连续散射过程中运动方向可以改变,也说明了文献[4]对碰撞激发截面的估计符合实际.在这种结构中,电子从SiO₂进入ZnS中可以获得0.5eV的势能.SiO的夹入,不仅起到预热作用,也提供了更多的初电子来源.这些充分说明分层优化的TFEL器件的优越性,使得到或增强短波长的发光(如蓝光)的可能性极大的增加.

4 发光材料及新探索

通常的发光材料中的一大类是以化合物为基质的材料,如:ZnS,CdS,CaS和SrS等.人们对为得到实现彩色显示而需要的红、绿、蓝(RGB)三基色的发光材料进行了研究.用ZnS Mn的黄色发光材料制作的显示屏已经商品化,而且ZnS Mn加上红色的滤光片可以得到红色发光.ZnS Tb作为绿色发光体也已满足正常显示的要求.为了得到优质全色显示,关键性的问题是得到高亮度、色纯度好的蓝色发光材料.以SrS Ce作为发光体,在60Hz时可获得100cd/m²的蓝绿光,但SrS材料有易潮解、发光的色纯度不好等缺点,人们又将硫代镓酸盐M Ga₂S₄(M=Ca,Sr,Ba)作为发光材料进行了研究,发现该材料稳定性和色纯度都比较好,在实验室得到的最好亮度在60Hz时可达10cd/m².由于硫代镓酸盐的制备比较困难,而且在制备的过程中S的流失很厉害,导致薄膜的结晶状态差,人们还对ZnS Tm, Ti^[8],

CaS Pb^[9]和Y₂SiO₅ Ce^[10]等作为蓝色发光材料的可能性进行了研究,但亮度没有硫代镓酸盐高.具体情况见表1.

表1 TFEL材料的目前进展

| 发光材料 | 发射颜色 | CIE * x | CIE y | 亮度(cd/m ²) (60Hz) | 效率 (lm/W) |
|-------------------------------------|------|------------|----------|----------------------------------|--------------|
| ZnS Mn | 黄 | 0.50 | 0.50 | 300 | 3—6 |
| CaS Eu | 红 | 0.68 | 0.31 | 12 | 0.2 |
| ZnS Mn/滤光片 | 红 | 0.65 | 0.35 | 65 | 0.8 |
| ZnS Tb | 绿 | 0.30 | 0.60 | 100 | 0.6—1.3 |
| SrS Ce | 蓝-绿 | 0.30 | 0.50 | 100 | 0.8—1.6 |
| SrGa ₂ S ₄ Ce | 蓝 | 0.15 | 0.10 | 5 | 0.02 |
| CaGa ₂ S ₄ Ce | 蓝 | 0.15 | 0.19 | 10 | 0.03 |
| ZnS Mn/SrS Ce | 白 | 0.44 | 0.48 | 470 | 1.5 |

* CIE为发光颜色的色坐标

5 彩色及全色发光

实现全色TFEL显示技术最基本的挑战是制出符合要求的RGB三基色发光体.目前,实现彩色场致发光具有两条途径:(1)高亮度的白色发光通过滤色片产生RGB发光显示;(2)直接制备有效的RGB三基色发光体.ZnS Mn的黄色发光通过滤色片已经能够产生符合要求的红色发光,效率为11lm/W,ZnS Tb的绿色发光体效率也达到11lm/W.最好的蓝色发光体SrS Ce的效率虽然大于11lm/W,但SrS Ce的发光的色坐标(CIE)为x=0.19,y=0.38的蓝绿光,这使得SrS Ce成为白色发光的最优选的材料.下面主要谈谈白色和蓝色TFEL显示的最近进展.

5.1 白色发光

稀土掺杂的碱土金属硫化物作为白色发光体是在1987年Tottori^[11]大学首先报道的.它们主要以SrS Pr,K,SrS Ce,Eu和SrS Ce/SrS Eu作为发光体材料.但SrS Pr,K所发的白光在滤色后只有蓝色和红色发射.Mita等人^[12]报道了SrS Ce,Eu的宽带发光在1kHz时的亮度为1150cd/m².而作为TFEL显示器件一般在60Hz下工作,达到正常要求该发光体的亮度至少要提高3倍.最近,Yun-Hi Lee等人^[13]报道了用腐蚀硅单晶的(100)面作为衬

物理

底的背发射的方法制作了 ZnS:Pr,Ce 器件,结构如图 4 所示,将器件的边缘发光通过反射从面上发出,提高了发光亮度效率。

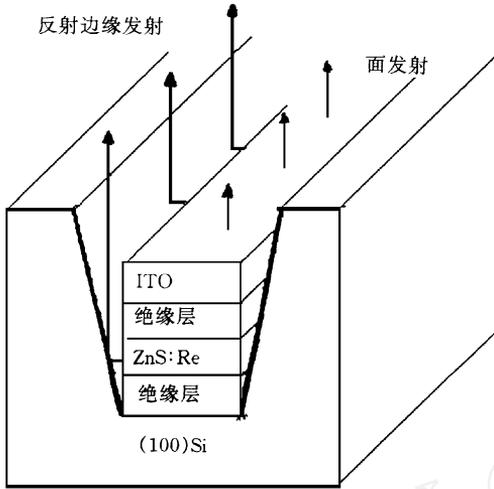


图 4 腐蚀衬底的显微结构器件的示意图

近来,用叠层结构作白色发光器件也得到广泛研究.用 ZnS:Mn/SrS:Ce 发光体通过滤色片后的发光已经达到彩色 TFEL 显示的要求.最好的发光是 Planar 公司^[14]利用原子层外延(ALE)生长的 ZnS:Mn/SrS:Ce 的发光.在阈值电压以上 50V,60Hz 时获得了 470cd/m² 的白光,发光效率达 1.6—2.1lm/W.通过有机染料滤色,可以获得红绿蓝分别为 80cd/m², 170cd/m²和 15cd/m²的发光,这就满足了多色的 TFEL 应用显示.

用 SrS:Ce/ZnS:Mn 作为白色发光体的器件的一个最主要的问题是 SrS:Ce 发光层的寿命问题.利用 ALE 的方法制得的发光层已具有一定的稳定性.近来用 Mn,Zn 掺杂 SrS:Ce 发光体,由于 Mn,Zn 补偿了 SrS 基质中的缺陷,使得寿命有了很大的提高.B. Huttli 等人^[15]提出在 SrS:Ce 中掺杂 Mn 时可以将发光效率提高到 1.6lm/W,但是当 Mn 的浓度增加时,由于 Ce³⁺和 Mn²⁺之间具有能量传递,将导致效率下降.通过优化 Mn 的浓度可以得到高效率、长寿命的白色 TFEL 器件.

5.2 蓝色发光

现在场致发光最关键的问题是得到亮度

高、色纯度好的蓝色发光.最先实现蓝色发光的是利用 SrS:Ce 作为发光体,利用滤色片得到蓝光.最近的研究主要是在 SrS:Ce 中共掺杂进行电荷补偿,掺杂元素主要有 Cl,F,Na 和 Li 等.T. A. Oberacker^[16]等人对 SrS:CeX₃(X=Cl,F)进行了研究,发现掺杂 F 时发光蓝移 15nm,分析这种现象是由 Nephelauretic 效应引起的,而掺杂 Cl 和 Na 时发光光谱没有明显的变化.虽然 SrS:Ce 能得到亮度较好的蓝色发光,但 SrS:Ce 总要经过滤色才能得到蓝色发光.

一个最具有意义的突破是用硫代镓酸盐 MGa₂S₄(M=Ca,Sr,Ba)作为蓝色发光材料.这种材料早在 1972 年就被作为阴极射线材料(CRT)研究过^[17].他们发现 Ce 原子在 MGa₂S₄ 中发光波长比在 SrS 中的发光波长短,而且 MGa₂S₄ 比 SrS 更稳定,不易潮解.

表 1 中给出了最好的场致发光数据,可以明显看出,MGa₂S₄ 比 SrS 有更深的蓝色发光,SrGa₂S₄ 最低的 CIE 坐标中 y 值已接近标准的 CRT 显示.由于 SrGa₂S₄:Ce 发光峰在蓝区,CaGa₂S₄:Ce 发光峰在蓝绿区,人眼对绿光反应比较灵敏,所以对相同的能量效率,CaGa₂S₄:Ce 获得了 SrGa₂S₄:Ce 的两倍亮度.但 SrGa₂S₄:Ce 的发光峰比 CaGa₂S₄:Ce 蓝移,将发光体制成 Sr_{1-x}Ca_xGa₂S₄:Ce 的形式,可以获得亮度和色纯度较好的蓝色发光.采用该发光体,在 60Hz 时可得到的最好亮度为 10cd/m²,并且与它作为 CRT 显示时的稳定性相同,这种发光材料的亮度、稳定性和色坐标已基本符合彩色 TFEL 显示的要求.

6 发光显示

TFEL 显示器件是全固化的平板显示器,它具有主动发光、厚度薄、视角大、分辨率高、适用温度范围宽、响应快和对比度高等优点,而且比通常液晶(LCD)显示器件的制备工序少.根据美国 Standford 公司的统计数字表明,全世界 EL 显示器的销售额 10 年间的平均增长率达

63.7%,居所有显示器之首.下面主要讨论多色显示和全色显示.

6.1 多色显示

图5(a)是简单的单色显示器件的结构示意图,利用这种结构在 ZnS:Mn 发光体中用滤色膜可以得到红色和绿色发光.由于有机材料的滤色膜受不了 TFEL 器件制备时的高温,所以滤色膜必须在器件做完后加在 ITO 玻璃上.从生产的角度考虑,这种结构还有一个优点是,可以与现在已经开始商品化的单色显示屏共用同一条生产线.

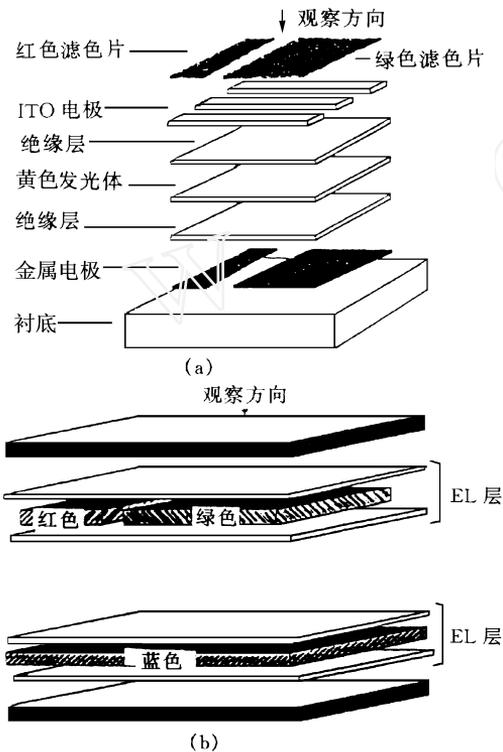


图5 TFEL 显示屏的结构
(a)单色;(b)双衬底彩色

6.2 全色显示

6.2.1 对宽带发光用滤色膜产生全色显示的方法

这种发光器件的结构与图5(a)类似,就是将发光层用白色发光体,加上红绿蓝三色滤色膜得到彩色发光. Planar 公司已经做出 25cm, 512(×3)×256 像元的 RGB 平板显示器,在驱动频率为 180Hz 下得到 23cd/m² 的白光.

6.2.2 利用双衬底结构的全色 TFEL 显示器件

图5(b)所示的是 Planar 公司设计的交叉的双衬底彩色 TFEL 器件的结构.前面的衬底上生长的是红色和绿色发光体,它们分别是用 ZnS:Mn 和 ZnS:Tb.在红绿色发光体下面用透明 ITO 电极代替了 Al 电极,但同时用窄 Al 条加在平行的电极上以增强导电性.后面衬底上是 CaGa₂S₄:Ce 蓝色发光薄膜.这种结构可以在不同的驱动电压下得到不同颜色的发光,而且蓝色薄膜阈值电压也不必与红绿色相匹配.在蓝色发光层还可以增加驱动频率提高蓝色发光亮度.在生产上,这种结构可分别测试红绿和蓝色发光薄膜的质量,提高了产品的合格率. Planar 公司已经用这种结构制出 180Hz 下 33cd/m² 的白光.

7 TFEL 显示前景

薄膜场致发光正以其独特的优势快速发展.单色显示器已经商品化,彩色 TFEL 显示器也逐渐走向市场.国内电子工业部五十五所和中国科学院长春物理研究所已掌握了夹层结构的 TFEL 器件的制备.北方交通大学主要用分层优化的结构进行了 TFEL 器件的研究,已经取得了比较好的蓝色发光^[18],可望早日制出国内的 TFEL 显示器.

参 考 文 献

- [1] G. Destriau, *J. Chem. Phys.*, **33**(1936), 620.
- [2] T. Inoguchi et al., *74SID Inter. Symp. Digest*, (1974), 84.
- [3] Xu Xurong et al., *Acta Polytechnica Scandinavia: Appl. Phys. Series*, **170**(1990), 133.
- [4] 徐叙、雷刚、申猛燕, *自然科学进展*, **1**(1990), 68.
- [5] Y. S. Chen, D. C. Krupka, *J. Appl. Phys.*, **43**(1972), 4089.
- [6] R. Mach, G. O. Muller, *Phys. Status Solidi A*, **81**(1984), 609.
- [7] Xu Xurong et al., *J. Cryst. Growth*, **101**(1990), 1004.
- [8] A. Boudghene et al., *Thin Solid Film*, **283**(1996), 204.

- [9] D. Poleman ,R.L. Van Meirhaeghe ,B. A. Vermeersch ,*J. Phys. D: Appl. Phys.* ,**30**(1997) ,465.
- [10] X. Ouyang , A. H. Kitai , T. Xiao , *J. Appl. Phys.* , **79** (1996) ,3229.
- [11] S. Tanaka et al. , *Proc. Soc. Inf. Display* , **29** (1988) , 305.
- [12] J. Mita et al. , *SID '91 Digest* ,(1991) ,290.
- [13] YUN - Hi Lee et al. , *IEEE Transaction on Electron Devices* ,**44**(1997) ,39.
- [14] E. Soininen et al. , *Proc. of the 7th International Workshop on Electroluminescence* ,Beijing ,China ,(1994) ,97.
- [15] B. Huttel ,K. O. Velthaus ,U. Troppenz ,*J. Cryst. Growth* , **159**(1996) ,943.
- [16] T. A. Oberacker , H. W. Schock , *J. Cryst. Growth* , **159** (1996) ,935.
- [17] T. E. Peterand ,J. A. Baglio , *J. Electrochem. Soc.* , **119** (1972) ,230.
- [18] Chunxiang Xu et al. , *Thin Solid Film* ,**306**(1997) ,160.

高功率钕玻璃激光放大器优化设计的研究现状与展望^{*}

张 华 范滇元

(中国科学院上海光学精密机械研究所,上海 201800)

摘 要 系统地分析了高功率钕玻璃激光放大器及其优化设计的研究现状和进一步发展的方向,简要报道了在钕玻璃放大器优化设计方面所取得的主要成果.

关键词 惯性约束核聚变,钕玻璃放大器,优化设计

OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF HIGH POWER Nd GLASS LASER AMPLIFIERS

Zhang Hua Fan Dianyuan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract The development of high power solid state lasers and the optimized design of Nd glass amplifiers are described. Our own successes in the optimized design of Nd glass amplifiers are reported.

Key words inertial confinement fusion , Nd glass amplifier , optimized design

1 引言

惯性约束核聚变(ICF)激光驱动器的发展在很大程度上代表了目前高功率固体激光技术发展的最高成就.在ICF开展以来的20多年内,世界各国不断提出新的发展计划,探索新的技术途径,使ICF激光驱动器的研究蓬勃发展,现在已经建成了输出能量达100kJ的高功率激光装置.在高功率固体激光的发展过程中又不断开拓新的物理领域,如X射线激光、强场物理等,取得了一系列令人瞩目的成就.

惯性约束核聚变的研究和发展对激光驱动器的要求越来越高,主要表现在两方面:首先是规模巨大,因而要尽可能降低造价;其次是精密程度日益提高,要求激光系统具有高度的稳定性、可重复性和多路光束性能的一致性,从而对激光系统的设计提出了十分严格的要求,每一种类型的器件都需要进行最佳化设计.

本文将从高功率钕玻璃激光器及其优化设计的发展现状、我们在钕玻璃放大器优化设计方面所取得的主要成果和钕玻璃固体激光器进

^{*} 国家高技术 863 - 416 主题资助项目
1998 - 05 - 11 收到初稿,1998 - 09 - 07 修回