

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01S 5/042 (2006.01)

H01S 5/10 (2006.01)

H01S 5/30 (2006.01)

H01S 5/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410011042.1

[43] 公开日 2006年2月8日

[11] 公开号 CN 1731635A

[22] 申请日 2004.8.13

[21] 申请号 200410011042.1

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130031 吉林省长春市东南湖大路16号

[72] 发明人 刘星元 刘云 王立军

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司
代理人 梁爱荣

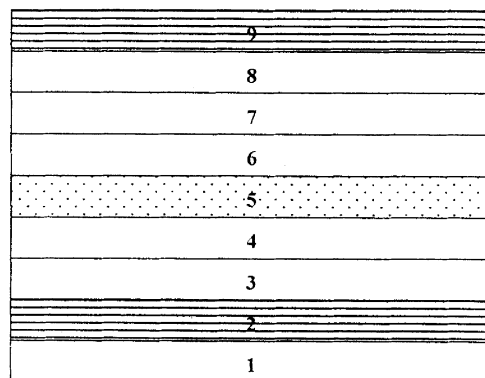
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

[54] 发明名称

电泵浦有机微腔激光器及其制作方法

[57] 摘要

本发明属于激光技术领域，是以有机半导体为增益介质的一种激光器结构设计及制备方法。结构包括：衬底1、底部激光反射镜2、阳极3、有机空穴传输层4、有机增益层5、有机空穴阻挡层6、有机电子传输层7、阴极8、顶部激光反射镜9。工艺方法是在衬底上沉积底部激光反射镜和阳极；然后沉积多层有机薄膜层，最后沉积阴极及顶部激光反射镜。本发明设计的激光反射镜与电极的组合体系，不但能达到高于99%的反射率，而且结合光学微型谐振腔结构的设计降低了电极的吸收损耗，并使总的光损耗降低了一个数量级以上，解决了电极吸收损耗及总光损耗太大的问题。本发明中构成顶部反射镜的多层介质膜有效地保护了激光器，简化了激光器的复杂封装步骤。



1、电泵浦有机微腔激光器，包括：衬底（1），其特征在于还包括：底部激光反射镜（2）、阳极（3）、有机空穴传输层（4）、有机增益层（5）、有机空穴阻挡层（6）、有机电子传输层（7）、阴极（8）、顶部激光反射镜（9）；底部激光反射镜（2）制备在衬底（1）上；把底部激光反射镜（2）与阳极（3）组合在一起，把阴极（8）与顶部激光反射镜（9）的组合在一起；底部激光反射镜（2）与阳极（3）组合体系和阴极（8）与顶部激光反射镜（9）组合体系之间构成光学微型谐振腔包括：有机空穴传输层（4）、有机增益层（5）、有机空穴阻挡层（6）、有机电子传输层（7），阳极（3）制备在底部激光反射镜（2）上；在阳极（3）上沉积有机空穴传输层（4）、有机增益层（5）、有机空穴阻挡层（6）、有机电子传输层（7）；在有机电子传输层（7）上沉积阴极（8），顶部反射镜（9）沉积在阴极（8）上。

2、根据权利要求1所述的电泵浦有机微腔激光器，其特征在于：底部激光反射镜（2）与阳极（3）组合体系的结构为 $[H_bL_b]^nH_b'E_A$ ，由多层介质膜和透明导电薄膜共同构成；其中： H_b 和 L_b 为两种不同的光学材料构成的两层光学薄膜， H_b' 是由光学材料构成的间隔层， E_A 为阳极（3）由透明导电薄膜构成。

3、根据权利要求1所述的电泵浦有机微腔激光器，其特征在于：阴极（8）与顶部激光反射镜（9）的组合体系结构为 $E_C H_i' [L_i H_i]^m$ ，其中 E_C 为阴极（8）由透明导电薄膜构成； H_i' 是由光学材料构成的间隔层； L_i 和 H_i 为两种不同的光学材料构成的两层光学薄膜。

4、根据权利要求1所述的电泵浦有机微腔激光器，其特征在于：

由有机空穴传输层(4)、有机增益层(5)、有机空穴阻挡层(6)、有机电子传输层(7)组成的多层有机薄膜总光学厚度控制为中心波长 λ_0 的二分之一的整数倍；有机增益层(5)位于光学微型谐振腔内驻波场强最大的波腹位置，阳极(3)和阴极(8)分别位于驻波场强最小的波节位置。

5、根据权利要求1所述的电泵浦有机微腔激光器，其特征在于：顶部激光反射镜(9)的多层介质膜沉积在阴极(8)上。

6、电泵浦有机微腔激光器的制作方法，其特征在于制作步骤如下：

a.在已抛光衬底上高温或常温下沉积底部激光反射镜，然后沉积阳极3；并在阳极上刻出适当的电极形状；

b.当有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层选用小分子材料时，则在阳极上通过高真空热蒸发方式沉积有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层；或当有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层选用聚合物材料时，则在阳极上在惰性气体保护下通过旋转涂复或喷涂或印刷的方式沉积有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层；

c.在有机电子传输层上沉积阴极，通过掩模板控制阴极的形状。除去掩模板后，继续在阴极上沉积顶部激光反射镜，从而完成激光器的制备。

电泵浦有机微腔激光器及其制作方法

技术领域

本发明属于激光技术领域，是以有机半导体为增益介质的一种激光器结构设计及制备方法。

背景技术

1996年美国加州大学的 Heeger 小组和英国剑桥大学的 Friend 小组首次观察到固态有机及聚合物薄膜在光泵浦下的激光现象，引起了世界范围内研究和开发有机聚合物激光的热潮。与传统的激光器相比，以有机及聚合物(以下简称有机)材料为增益介质的激光器具有发射波长可通过分子设计调节而覆盖整个可见光谱区、受激发射效率高和阈值低、可制备在刚性衬底上或柔性衬底上、制备工艺简单、容易实现垂直腔面发射及微碟型腔等新结构、成本低等优点。有机光泵浦激光实现以后，电泵浦激光的实现就成为人们追求的目标。

有机光泵浦激光器的主要结构有“边发射波导型及分布反馈型”，“面发射平面微型谐振腔型”，“微碟、微环型”等。本发明涉及的电泵浦有机激光器结构是面发射的光学微型谐振腔结构，其中光学微型谐振腔由两个激光反射镜构成。和光泵浦相比，电泵浦需要两个电极(阳极和阴极)注入载流子(空穴和电子)。通常采用半透明导电薄膜作阳极和金属薄膜作阴极。两个电极之间是一层或多层有机薄膜。电极注入的电子和空穴在有机层中产生发光的激子。为实现电泵浦激光，有机层内要达到足够的光限制和电限制而产生粒子数反转。

大部分有机薄膜的载流子迁移率较低，约 $10^{-3} - 10^{-5} \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ ，为达足够的电限制有机层的总厚度不能太厚，一般应在 200nm 以内。在

这种情况下的电泵浦有机微腔结构，由于增益区很短，因而需要反射率高达 99%以上的激光反射镜以提供足够的光反馈。这样的激光反射镜可以由普通光学材料组成的多层介质膜来制备。但是普通光学材料是不导电的。如果两个激光反射镜均由多层介质膜构成，谐振腔内有机层与两个激光反射镜之间还需分别制备阳极和阴极。那么电泵浦有机微腔激光器中光学微型谐振腔内来自两个电极的吸收损耗，将使总的光损耗(高于 2000cm^{-1}) 高达增益(可以达到 500cm^{-1}) 难以克服的程度，从而使激光难以实现。如果一个激光反射镜采用多层介质膜，另一个激光反射镜由金属电极(通常为阴极)构成，那么采用反射率最高的金属 Ag，其反射率也只能达到 96%，这时总的光损耗仍高于 1500cm^{-1} ，而且采用 Ag 作为电极，Ag 将和有机层在界面处形成较高的肖特基势垒，不利于电子的注入。采用高效的阴极材料如镁银合金(MgAg)，其反射率只有 86%，使总的光损耗超过 4000cm^{-1} 。综上所述，实现电泵浦有机微腔激光器的难点在于如何有效地降低激光器中来自两个电极的吸收损耗以及总的光损耗。

本发明的详细内容：为了解决上述背景技术中电泵浦有机微腔激光器的两个电极的吸收损耗大，以及总光损耗大的问题，本发明采用光学微型谐振腔结构，把阳极和阴极纳入底部和顶部反射镜的设计中，通过合理的反射镜结构，电极结构以及微腔总体结构设计，极大地降低了电泵浦有机微腔激光器中来自两个电极的吸收损耗以及总的光损耗，从而提供了一种实现电泵浦有机微腔激光的结构及方法。

本发明的激光器结构见图1，它包括：衬底、底部激光反射镜、阳极、有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层、阴极、顶部激光反射镜；

底部激光反射镜制备在衬底上；本发明把底部激光反射镜与阳

极的设计组合在一起考虑,把阴极与顶部激光反射镜的设计组合在一起考虑;底部激光反射镜与阳极组合体系和阴极与顶部激光反射镜组合体系之间构成光学微型谐振腔;光学微型谐振腔结构包括:有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层;阳极制备在底部激光反射镜上;在阳极上沉积有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层;在有机电子传输层上沉积阴极,顶部反射镜沉积在阴极上。

底部激光反射镜与阳极组合体系的结构为 $[H_bL_b]^nH_b'E_A$,由多层介质膜和透明导电薄膜共同构成;其中: H_b 和 L_b 为两种不同的光学材料构成的两层光学薄膜, n 表示周期数, $n=1,2,3,4,\dots,n$, H_b' 是由光学材料构成的间隔层, E_A 为阳极由透明导电薄膜构成;各种导电薄膜都具有一定的吸收。利用薄膜的诱导透射原理,薄膜的吸收不仅决定于它自身的光学常数和厚度,而且与相邻介质的导纳密切相关。常见阳极的吸收率高于3%,把底部激光反射镜与阳极的设计结合在一起考虑,对阳极的厚度进行优化,可以在把空穴有效地注入到有机层中的前提下,使阳极的吸收率降低至0.3%以下,同时保证底部激光反射镜与阳极组合体系在激光发射波长处的反射率超过99%。图2给出了本发明中典型的底部激光反射镜与阳极组合体系的吸收光谱、透射光谱和反射光谱。

阴极与顶部激光反射镜的组合体系结构为 $E_C H_c' [L_c H_c]^m$,其中 E_C 为阴极由透明导电薄膜构成; H_c' 是由光学材料构成的间隔层; L_c 和 H_c 为两种不同的光学材料构成的两层光学薄膜, m 表示周期数, $m=1,2,3,4,\dots,m$ 个周期。常见阴极的吸收率高于6%,把阴极与顶部激光反射镜的设计结合在一起考虑,对其中阴极的厚度进行优化,可以在把电子有效地注入到有机层中的前提下,使阴极的吸收率降低至

0.5%以下,同时保证阴极与顶部激光反射镜的组合体系在激光发射波长处的反射率超过99%。图3给出了本发明中典型的阴极与顶部激光反射镜组合体系的吸收光谱、透射光谱和反射光谱。

光学微型谐振腔内多层有机薄膜的总光学厚度控制为中心波长 λ_0 的二分之一的整数倍。光学微型谐振腔的设计要使有机增益层位于光学微型谐振腔内驻波场强最大的波腹位置,阳极和阴极分别位于驻波场强最小的波节位置;从而使光学微型谐振腔总的光损耗低于 150cm^{-1} 。光学微型谐振腔内驻波场分布与有机增益层、阳极和阴极8的位置关系见图4。由此可见,为了降低电极的吸收损耗,本发明一方面把电极设计成为激光反射镜的一部分,在保证载流子注入的前提下,使底部激光反射镜与阳极组合体系和阴极与顶部激光反射镜组合体系的反射率都高于99%,并使阳极和阴极的吸收率都降低到0.5%以下。本发明另一方面通过光学微型谐振腔结构的设计使阳极和阴极分别位于光学微型谐振腔内驻波场强最小的波节位置,可以使阳极和阴极的吸收损耗进一步降低。为了产生足够大的增益,本发明通过结构设计一方面使有机增益层位于光学微型谐振腔内驻波场强最大的波腹位置,在有效地降低了自发辐射噪声的同时,使激光增益介质具有最大的增益;另一方面使光学微型谐振腔总的光损耗低于 150cm^{-1} ,降低了一个数量级以上,从而使有机增益层能在较低的注入电流下产生足够的净光增益而实现激光。有机增益层厚度的选择要根据所用材料的受激发射特性以及光学微型谐振腔的增益与损耗特性进行调节。

本发明激光器的工作机理是:在正向电压驱动下(即阳极接电源正极,阴极接电源负极),从阳极注入的空穴经过有机空穴传输层进入有机增益层,从阴极注入的电子经有机电子传输层及有机空穴阻挡层进入有机增益层。电子和空穴在有机增益层中结合生成发光的激子。

激子辐射复合产生的光子在光学微型谐振腔内通过受激发射作用而得到放大。当注入电流超过阈值电流时，器件增益大于损耗，产生的面发射型的激光从反射率较低的一侧反射镜中输出。

本发明激光器的制备工艺方法是：

a. 在已抛光衬底上高温或常温下沉积底部激光反射镜，然后沉积阳极；沉积过程中通过掩模板控制阳极形状；

b. 当有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层选用小分子材料时，则在阳极上通过高真空热蒸发方式沉积有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层；或当有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层选用聚合物材料时，则在阳极上在惰性气体保护下通过旋转涂复或喷涂或印刷的方式沉积有机空穴传输层、有机增益层、有机空穴阻挡层、有机电子传输层；

c. 在有机电子传输层上沉积阴极，通过掩模板控制阴极的形状；除去掩模板后，继续在阴极上沉积顶部激光反射镜，从而完成激光器的制备。

本发明的优点是：

本发明设计的底部激光反射镜与阳极组合体系以及阴极与顶部激光反射镜组合体系不但能达到高于 99% 的反射率，而且极大地降低了来自阳极和阴极的吸收损耗，解决了电极吸收损耗太大的问题，如图 2、3 所示。本发明设计的光学微型谐振腔，与普通腔结构相比，使总的光损耗降低了一个数量级以上（如图 2、3、4 所示），解决了电泵浦激光器光损耗太大的问题，而有利于在较低的注入电流下实现电泵浦激光。本发明中顶部反射镜的多层介质膜沉积在阴极上同时起到封装的作用，可以有效地保护光学微型谐振腔内的阳极和阴极以及

有机薄膜层免受空气中的水汽和氧的侵蚀，提高了激光器的工作稳定性，简化了激光器的复杂封装步骤。

附图说明：

图 1 本发明电泵浦有机微腔激光器结构示意图

图 2 实施例 1 中底部激光反射镜与阳极组合体系的吸收光谱、透射光谱和反射光谱

图 3 实施例 1 中阴极与顶部激光反射镜组合体系的吸收光谱、透射光谱和反射光谱

图 4 实施例 1 中光学微型谐振腔内驻波场强分布与有机增益层、阳极和阴极的位置关系

图 5 实施例 2 中底部激光反射镜与阳极组合体系的反射光谱

图 6 实施例 2 中阴极与顶部激光反射镜组合体系的反射光谱

图 7 实施例 2 中光学微型谐振腔的反射光谱

图 8 实施例 2 中有机增益介质 Alq:DCM 的荧光谱(虚线)和激光发射谱(实线)

图 9 实施例 2 中有机增益介质 Alq:DCM 的吸收截面和受激发射截面

图 10 实施例 2 中激光器的电流-电压-输出功率特性

图 11、图 12、图 13 实施例 2 所用有机材料的分子结构

图 14 实施例 3 底部激光反射镜与阳极组合体系的反射光谱

图 15 实施例 3 中阴极与顶部激光反射镜组合体系的反射光谱

图 16 实施例 3 中有机增益介质 NPB:Perylene 的荧光谱(虚线)和激光谱(实线)

具体实施方式：如图2所示它包括：衬底1、底部激光反射镜2、

阳极3、有机空穴传输层4、有机增益层5、有机空穴阻挡层6、有机电
子传输层7、阴极8、顶部激光反射镜9。

实施例1:

(1) 衬底1可以采用高精度抛光的玻璃或半导体衬底, 如硅、磷
化铟等, 以及塑料及其它柔性衬底。

(2) 底部激光反射镜2与阳极3组合体系的结构为 $[H_bL_b]^nH_b'E_A$ 。
 H_b 和 L_b 为两种不同的光学材料构成的两层光学薄膜。其中 H_b 为光学
厚度为中心波长 λ_0 (激光反射镜反射率最大的波长位置, 也是有机增
益介质荧光峰值波长)四分之一的一种高折射率材料 (指折射率大于
1.85的光学材料, 如 ZrO_2 、 ZnS 、 TiO_2 、 Ta_2O_5 等)。 L_b 为光学厚度为中
心波长四分之一的一种低折射率材料 (指折射率小于1.65的光学材
料, 如 MgF_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 LiF 、 YF 等)。 $[H_bL_b]^n$ 表示 n 个周期的高低
折射率的材料组合, $n=1,2,3,4,\dots,n$ 。 H_b' 是由光学材料构成的一层或
多层间隔层。 E_A 为阳极, 由一层或多层透明导电薄膜构成, 可选材料
有ITO、 ZnO 等, 或各种较高功函数金属如Au、Al、Ag等。底部激光
; 反射镜2与阳极3组合体系的设计要求在增益介质中心发射波长的反
射率超过99%。

(3) 有机空穴传输层4由一或二层有机薄膜构成, 它能有效的从
阳极注入空穴并把空穴传输到有机增益层5中。有机空穴传输层4应具
有比有机增益层5更大的能带隙宽度, 并能在有机空穴传输层4与有机
增益层5之间的界面形成有效的电子阻挡势垒。

(4) 有机增益层5由一或多层有机薄膜构成。选用的有机激光材
料要求受激发射截面达到 $10^{-16}cm^2$ 量级以上, 例如聚合物材料
Polyfluorene及其衍生物, LPPP, BuEH-PPV等, 以及Alq:DCM,
NPB:Perylene和CBP:DCM2等小分子掺杂材料。

(5) 有机空穴阻挡层6应具有比有机增益层5更大的能带隙宽度, 并能在有机空穴阻挡层6与有机增益层5之间的界面形成有效的空穴阻挡势垒。

(6) 有机电子传输层7由一或二层具有较高电子传输能力的有机薄膜构成, 它能从阴极8有效地注入电子并能把电子经过有机空穴阻挡层6传输到有机增益层5中。

(7) 阴极8与顶部激光反射镜9组合体系的结构为 $E_c H_i' [L_i H_i']^m$ 。其中 E_c 为阴极8由一层或多层透明导电薄膜构成, 沉积在有机电子传输层7上。阴极8可选材料包括具有较低功函数的金属如Li、Mg、Ca, 或合金如Mg:Ag、LiF:Al或透明导电薄膜, 如ITO、ZnO等。其中 H_i' 是由光学材料构成的一或多层间隔层。 L_i 和 H_i' 为两种不同的光学材料构成的两层光学薄膜(制备材料见底部激光反射镜2, 通常要选用可以在常温下沉积的光学材料), m 表示周期数, $m=1,2,3,4,\dots m$ 个周期, 阴极8与顶部激光反射镜9组合体系的设计要求在增益介质中心发射波长的反射率超过99%。顶部激光反射镜9中的多层介质膜同时可以有效地保护光学微型谐振腔内的阳极3和阴极8以及有机薄膜层免受空气中水汽和氧的侵蚀, 起到封装的效果。

(8) 由反射率高于99%的底部激光反射镜2与阳极3组合体系和阴极8与顶部激光反射镜9组合体系构成光学微型谐振腔。腔内多层有机薄膜的总光学厚度控制为中心波长 λ_0 的二分之一的整数倍。光学微型谐振腔结构的设计要使有机增益层5位于光学微型谐振腔内驻波场强最大的波腹位置, 阳极3和阴极8分别位于驻波场强最小的波节位置。有机增益层5厚度的选择要根据所用材料的受激发射特性以及光学微型谐振腔的增益与损耗特性进行调节。

实施例 2:

采用的结构顺序为：玻璃衬底 1/底部激光反射镜 2/阳极 3/有机空穴传输层 4 (NPB) /有机增益层 5 (NPB:DCM/Alq:DCM) /有机电子传输层 7 (Alq) /阴极 8/顶部激光反射镜 9。

底部激光反射镜 2 与阳极 3 组合体系结构为 $[HL]^nHE_A$ ，其中 H 层材料为 Ta_2O_5 ，折射率 2.1，厚度 75.6nm；L 层材料为 SiO_2 ，折射率 1.45，厚度 109.4nm，n 为 10。 E_A 为 ITO，厚度可根据需要选择。图 5 给出了实施例 2 中底部激光反射镜 2 与阳极 3 组合体系的反射光谱。底部激光反射镜 2 与阳极 3 组合体系在中心波长 635nm 处的反射率为 99.7%。有机空穴传输层 4 采用的有机小分子材料为 NPB，其结构见图 12。有机增益层 5 为 NPB:DCM/Alq:DCM，其中 Alq 和 DCM 的分子结构见图 11 和图 13。有机电子传输层 6 采用的材料为 Alq。有机层的总厚度为 138nm。阴极 8 与顶部激光反射镜 9 组合体系结构为 $E_cH_i'[L_iH_i]^m$ ，其中 E_c 采用 MgAg/ITO 材料。 H_i 层材料为 ZnS，折射率 2.35，厚度 67.6nm； L_i 层材料为 MgF_2 ，折射率 1.38，厚度 115nm。 H_i' 为间隔层，材料为 ZnS，厚 28nm。图 6 为实施例 2 中阴极 8 与顶部激光反射镜 9 组合体系的反射光谱。阴极 8 与顶部激光反射镜 9 组合体系在中心波长 635nm 处的反射率为 99.4%。阳极 3、阴极 8 两个电极的形状设计使发光区面积小于 $0.5 \times 0.5 \text{mm}^2$ 。图 7 给出了实施例 2 中光学微型谐振腔的反射光谱，表明光学微型谐振腔的谐振峰位于 635nm。图 8 给出了实施例 2 中有机增益介质 Alq:DCM 的荧光谱(虚线)和激光发射谱(实线)。增益介质 Alq:DCM 的荧光峰位于 635nm、半宽约 100nm。激光发射峰为 635nm，半宽 1nm。图 9 为实施例 2 中有机增益介质 Alq:DCM 的吸收截面和受激发射截面，表明 Alq:DCM 的受激发射截面高于 $4 \times 10^{-16} \text{cm}^2$ 。图 10 为实施例 2 中激光器的电流-电压-输出功率特性，表明激光的阈值电流为 5mA 左右。

实施例 3:

采用的结构顺序为：玻璃衬底 1/底部激光反射镜 2/阴极 8/有机电子传输层 7 (Alq) /有机空穴阻挡层 6 (TAZ) /有机增益层 5 (NPB:Perylene) /有机空穴传输层 4 (NPB/CuPc) /阳极 3/顶部激光反射镜 2。

其中底部激光反射镜 2 与阴极 8 组合体系结构为[HL]¹⁰HE_C, H 层材料为 Ta₂O₅, 厚度 57.7nm; L 层材料为 SiO₂, 厚度 83nm。E_C 为 ITO/MgAg。顶部激光反射镜 2 与阳极 3 组合体系结构为 E_AH_i'[L_iH_i]⁶, 其中 E_A 为阳极采用 ZnO 材料。H_i'和 H_i 层材料为 ZnS, 厚度 51.6nm; L_i 层材料为 MgF₂, 厚度 87nm。有机层的总厚度为 254nm。增益介质 NPB:Perylene 的激光发射波长为 485nm。

实施例 4:

采用的结构顺序为：玻璃衬底 1/底部激光反射镜 2/阳极 3/有机空穴传输层 4 (聚合物掺杂材料 PSS:PEDOT) /有机增益层 5 (聚合物激光材料 Polyfluorene) /阴极 8/顶部激光反射镜 9。

其中底部激光反射镜 2 和顶部激光反射镜 9 均采用 Ta₂O₅ 和 SiO₂ 材料, 在中心波长 450nm 处的反射率均超过 99.3%。阳极材料为 ITO, 阴极材料为 LiF/Al/ITO。聚合物的总厚度为 230nm。增益介质 Polyfluorene 的激光发射波长为 450nm。

属于本发明的其它实施方式不在叙述。

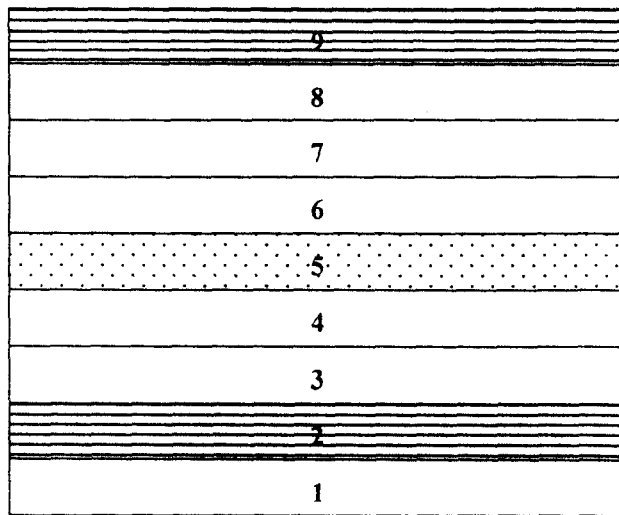


图 1

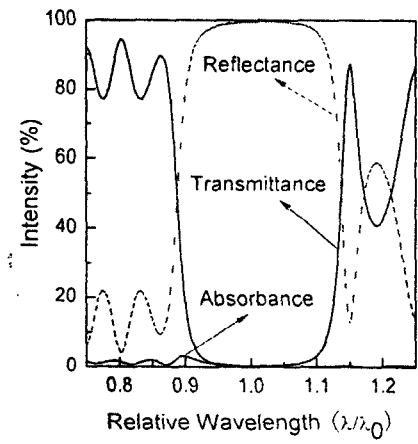


图 2

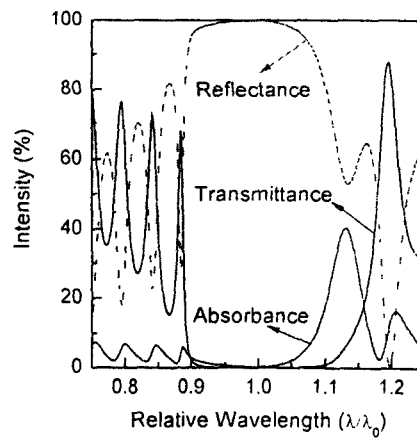


图 3

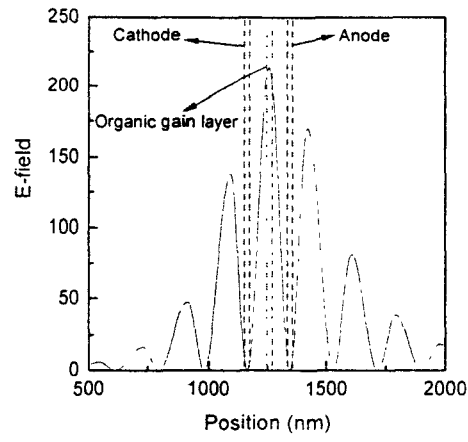


图 4

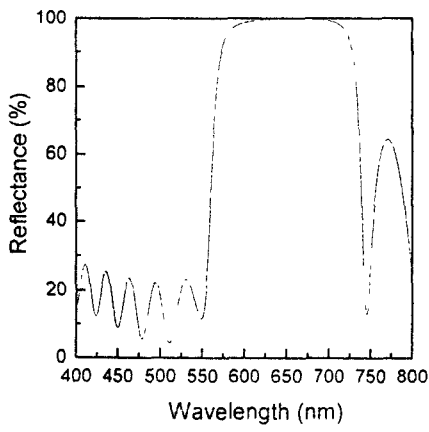


图 5

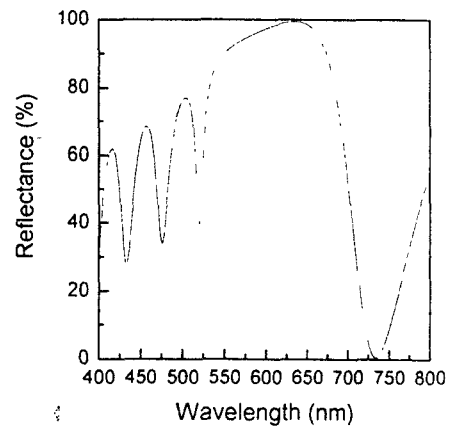


图 6

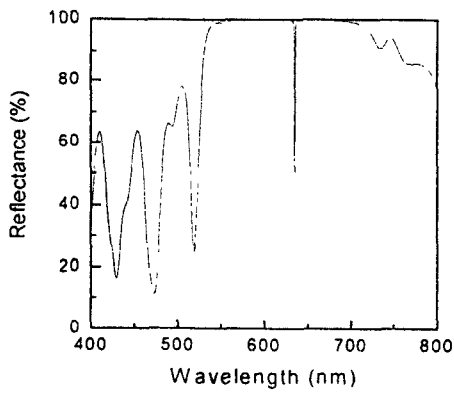


图 7

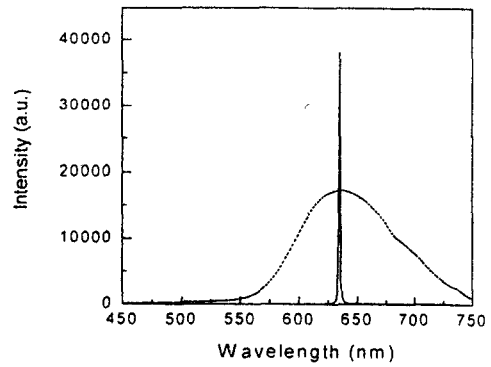


图 8

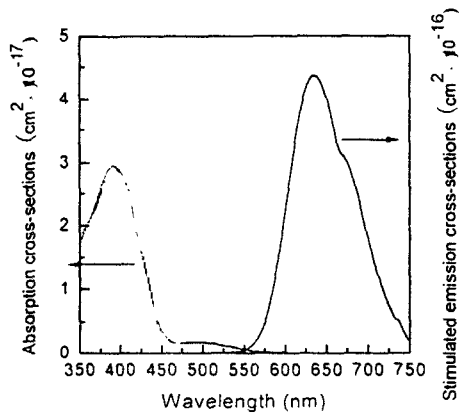


图 9

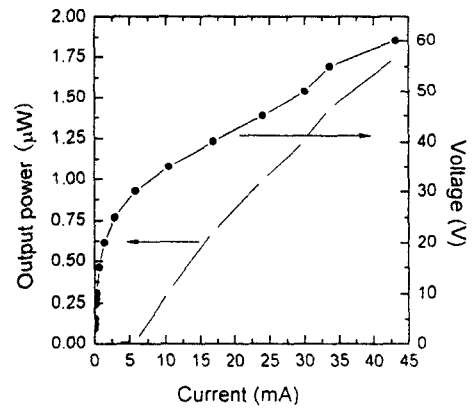
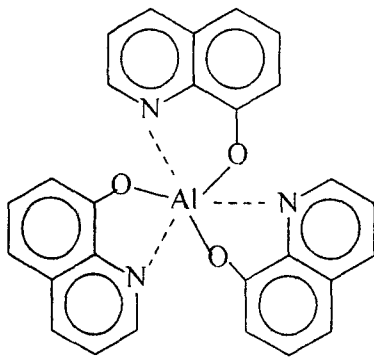
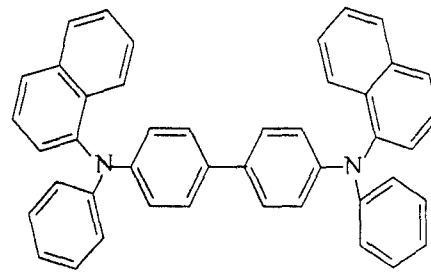


图 10



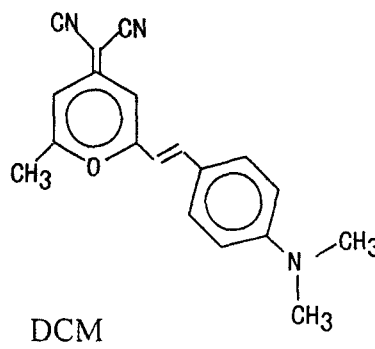
Alq

图 11



NPB

图 12



DCM

图 13

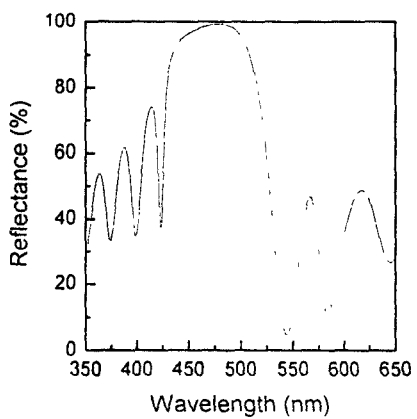


图 14

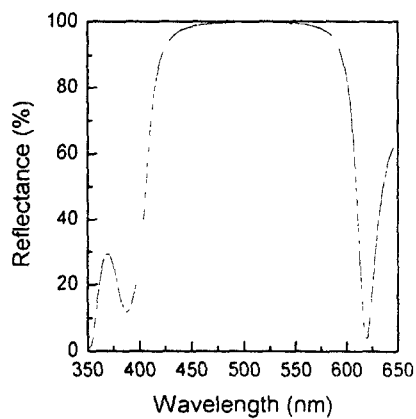


图 15

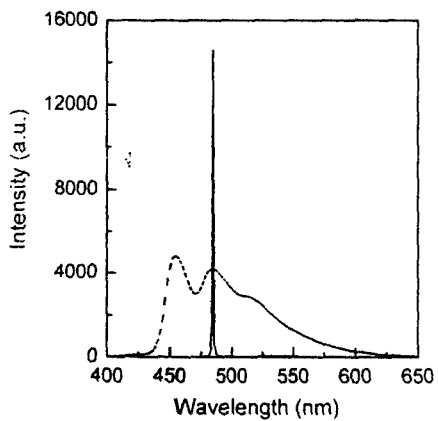


图 16