

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01S 5/187 (2006.01)

H01S 5/32 (2006.01)

H01S 5/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710178312.1

[43] 公开日 2009年6月3日

[11] 公开号 CN 101447644A

[22] 申请日 2007.11.28

[21] 申请号 200710178312.1

[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 130033 吉林省长春市人民大街 140 号

[72] 发明人 刘星元

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 王波波

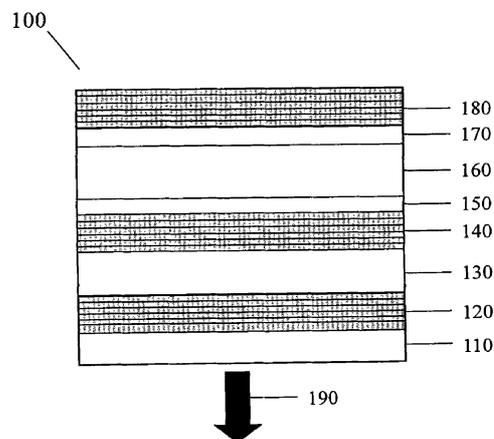
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 5 页

[54] 发明名称

电泵浦面发射耦合微腔有机激光器件

[57] 摘要

本发明所述的电泵浦面发射有机激光器件具有由多层有机材料放入一个高反微腔镜和一个高反镜之间而形成的耦合微腔结构。本发明的有机激光器件具体结构包括：衬底、底部镜、间隔层、耦合镜、阳极、有源层、阴极、顶部镜。本发明中的电极与反射镜的组合可以在有机/电极界面处实现低光学吸收和高反射电学接触。由于实现了有效的电子和空穴注入，电致发光效率得以提高。本发明实现了低损耗耦合微腔有机激光器件，在电泵浦下可获得面发射激光。



1. 一种有机激光器件，包括：

衬底；

底部镜，由分布式布拉格反射镜形成在衬底上；

间隔层，形成在底部镜上；

耦合镜，由分布式布拉格反射镜形成在间隔层上；

阳极，形成在耦合镜上；

有源层，包括：

阳极缓冲层，形成在阳极上；

空穴传输层，形成在阳极缓冲层上；

增益区，形成在空穴传输层上；

电子传输层，形成在增益区上；和

阴极缓冲层，形成在电子传输层上；

阴极，形成在有源层上；和

顶部镜，由分布式布拉格反射镜形成在阴极上。

2. 如权利要求 1 所述的有机激光器件，其特征在于，增益区包括电子势垒层、有机增益层和空穴势垒层，有机增益层位于电子势垒层和空穴势垒层中间。

3. 如权利要求 1 所述的有机激光器件，其特征在于，被动腔由底部镜和耦合镜构成，激光腔由耦合镜和顶部镜构成，被动腔和激光腔通过共有的耦合镜形成耦合微腔。

4. 如权利要求 1 所述的有机激光器件，其特征在于，调节有源层的厚度，从而使激光腔的腔长等于激光发射半波长的整数倍。

5. 如权利要求 1 所述的有机激光器件，其特征在于，被动腔和顶部镜在激光波长处的反射率大于等于 97%。

6. 如权利要求 5 所述的有机激光器件，其特征在于，被动腔和顶部镜在激光波长处的反射率大于等于 99%。

7. 如权利要求 1 所述的有机激光器件，其特征在于，增益区位

于激光腔驻波电磁场的波腹位置。

8. 如权利要求1所述的有机激光器件,其特征在于,有源层与阳极界面和有源层与阴极界面位于激光腔驻波电磁场的波节位置。

9. 如权利要求1所述的有机激光器件,其特征在于,阴极与顶部镜的组合在有源层与阴极界面获得低光吸收和高反射电接触。

10. 如权利要求1所述的有机激光器件,其特征在于,阳极与被动腔的组合在有源层与阳极界面获得低光吸收和高反射电接触。

11. 如权利要求2所述的有机激光器件,其特征在于,电子势垒层和空穴势垒层是可选层,由宽带隙的适当有机材料或无机材料构成。

12. 如权利要求2所述的有机激光器件,其特征在于,有机增益层是一层或多层,有机增益层含有一种有机材料,或包括一个或多个主体材料掺杂一个或多个受体掺杂剂。

13. 如权利要求12所述的有机激光器件,其特征在于,主体材料能有效地把能量传递给高发光效率的受体掺杂剂,受体掺杂剂是高荧光效率的染料或高磷光效率的染料。

14. 如权利要求1所述的有机激光器件,其特征在于,底部镜、间隔层、耦合镜和阳极采用等离子体增强化学气相沉积、电子束沉积、溅射沉积、热蒸发沉积中适当的技术制备。

15. 如权利要求1所述的有机激光器件,其特征在于,顶部镜采用溅射沉积、高真空热蒸发或电子束蒸发的方法制备。

16. 如权利要求1所述的有机激光器件,其特征在于,有机激光器件工作在正向偏压下,在垂直衬底的方向上发出圆形激光光束。

17. 如权利要求1所述的有机激光器件,其特征在于,有机激光器件从衬底侧的底部发出激光,或者从相反方向的顶部发出激光。

18. 如权利要求1所述的有机激光器件,其特征在于,有机激光器件发出单波长激光或双波长激光。

19. 如权利要求1所述的有机激光器件,其特征在于,有机激光器件能制成极小的尺寸,并构造二维激光列阵。

电泵浦面发射耦合微腔有机激光器件

政府权利

本发明工作是在中国国家自然科学基金项目 10174077 和 60376029, 以及吉林省科技发展计划项目 20050108 的支持下完成的。中国政府对本发明具有相应的权利。

技术领域

本发明涉及发光器件领域, 具体地说, 本发明涉及电泵浦有机激光器件。

背景技术

自从有机薄膜的光泵浦激光在各种谐振腔包括光波导、平面微腔、分布反馈等结构中实现以来, 人们对实现电泵浦有机激光器件产生了浓厚的兴趣(见 N. Tessler 等人, *Nature*, Vol. 382, 695, 1996 年 8 月; Ruidong Xia 等人, *Organic Electronics*, Vol. 4, 165, 2003 年; M. Reufer 等人, *Applied Physics Letters*, Vol. 84, 3262, 2004 年)。在本申请中, 名词“有机”包括用于制备有机光电子器件的聚合物材料、小分子有机材料和其它种类的有机发光材料。

作为激光增益介质, 有机材料本质上属于准四能级激光系统。有机材料有高的荧光量子效率和低的吸收损耗, 并且成本低廉。在各种有机材料中观察到的光泵浦受激发射、增益以及激光的发射波长覆盖了可见光谱区。研究表明有机激光器件的激光阈值、发射波长和输出功率与无机半导体激光二极管相比有更高的温度稳定性(见 V.G. Kozlov 等人, *Journal of Applied Physics*, Vol. 84, 4096, 1998 年 10 月)。因此, 有机激光器件被认为是新型的可见光激光器件, 在显示、光存储和光通信等领域有广泛应用。

研究人员已发表了一些关于有机激光器件的专利（见 Chu 等人，美国专利 No. 6,498,802，2002 年 12 月发布；Kozlov 等人，美国专利 No. 6,160,828，2000 年 12 月发布；Forrest 等人，美国专利 No. 7,242,703，2007 年 7 月发布；Spoonhower 等人，美国专利 No. 6,853,660，2005 年 2 月发布；Kahen 等人，美国专利 No. 6,674,776，2004 年 1 月发布；Berggren 等人，美国专利 No. 5,881,089，1999 年 3 月发布；Kahen 等人，美国专利 No. 6,996,146，2006 年 2 月发布）。但是，到目前为止，制作电泵浦有机激光器件的各种努力都没有成功。人们仍然要面对并克服与电泵浦有机激光器件相关的挑战，例如，有机薄膜较低的载流子迁移率和电泵浦引起的较高的光学损耗。有机薄膜的低载流子迁移率使有机激光器件很难获得所需的高电流密度，并限制了器件只能采用很薄的有机薄膜，这种限制在波导和分布反馈结构的有机激光器中产生了很高的光学损耗（见 V.G. Kozlov 等人，*Journal of Applied Physics*, Vol.84, 4096, 1998 年 10 月；Michael D. McGehee 等人，*Advanced Materials*, Vol.12, 1655, 2000 年 11 月）。近年来，光泵浦有机激光器已经在波导和微腔结构中实现了低阈值的激射，这表明电泵浦有机激光器可以在较低的电流密度下工作，从而克服有机薄膜载流子迁移率较低的问题（见 T.W. Lee 等人，*Journal of Applied Physics*, Vol. 93,1367,2003 年 2 月；M. Berggren 等人，*Nature*, Vol. 389, 466, 1997 年 10 月；X. Liu 等人，*Applied Physics Letters*, Vol.84, 2727, 2004 年 4 月）。因此，当前发展电泵浦有机激光器的关键问题是如何降低激光器件的光学损耗（见 S. Lattante 等人，*Applied Physics Letters*, Vol.89,031108, 2006 年；P. Görrn 等人，*Applied Physics Letters*, Vol.91, 041113, 2007 年）。

电泵浦有机激光器的一种有效的结构是微腔结构，由厚几百纳米的单层或多层有机材料夹在两个反射镜之间形成。反射镜可以是多层介质镜或金属镜。为了工作在较低的阈值电流，典型的微腔有机激光器采用短的增益区。单程的光增益很小，因此为了实现激光需要在有机层与电极的界面处获得大于等于 97%的反射率。电泵浦有机激光器

需要从两个电极，即阳极和阴极分别注入电子和空穴。如何降低阴极/有机层界面的电子注入势垒和阳极/有机层界面的空穴注入势垒是有机激光器的关键问题之一。为了利于空穴注入，阳极材料通常采用高功函数的透明导电氧化物（TCO），例如氧化铟锡材料（ITO）。为了利于电子注入，阴极材料通常采用低功函数的金属材料（例如铝（Al）、锂（Li））或双层结构（如 Al/ITO 等）。金属镜经常用在微腔中，因为它们能提供适当的反射和极好的电接触。已经知道绝大多数的厚金属镜的反射率不超过 96%。而为发展微腔有机激光器，采用两个高反射镜以构造高品质因子（高 Q 值）微腔是基本的要求。因此在各种高反射镜中，分布式布拉格反射镜（DBR）成为最好的选择。在微腔有机激光器中，电极需放置在有机层与反射镜之间。为了降低光吸收，微腔有机激光器应采用薄且透明的电极。常见的阳极 ITO 薄膜在厚度 30nm 时的平均透射率为 85%，吸收率为 0.5%。而常见的阴极金属铝膜厚度为 10nm 时，其可见光谱区的平均透射率为 42%，吸收率达到 37%。

为了实现低损耗微腔有机激光器，一个挑战是如何在有机层与电极界面位置，尤其是有机层与金属界面的位置处，获得大于等于 97% 的反射率并实现良好的电接触。另一个挑战是如何降低电极引入的光学损耗。因此有需要发展能克服上述问题的微腔有机激光器。

发明内容

考虑到上述问题，本发明的目标是提供一种特别适合电泵浦工作的低损耗微腔有机激光器。有机激光器件具有由多层有机材料放入一个高反微腔镜和一个高反镜之间而形成的层状耦合微腔结构。本发明的有机激光器件具体结构包括：衬底、底部镜、间隔层、耦合镜、阳极、有源层、阴极、顶部镜。本发明中的有源层包括阳极缓冲层、空穴传输层、增益区、电子传输层、阴极缓冲层。本发明中的电极与反射镜的组合可以在有机/电极界面处实现低吸收和高反射的电接触。电致发光效率因电子和空穴的有效注入而得到提高。从而获得了低损耗耦合微腔结构的有机激光器件，可在电泵浦下产生面发射激光。

本发明的有益效果

本发明的一个优点是在有机和电极界面位置提供高反射电接触。本发明的另一个优点是获得低损耗微腔有机激光器件，在电泵浦下发出激光。

附图说明

通过下面结合附图说明本发明的优选实施例，将使本发明的上述及其它目的、特征和优点更加清楚，其中：

图 1A 所示为本发明中电泵浦有机激光器的横截面结构图；

图 1B 所示为本发明中有源层的横截面结构图；

图 1C 所示为本发明中增益区的横截面结构图；

图 2 所示为在实施例 1 中测量的顶部镜的反射光谱（点线）以及金属阴极与顶部镜组合结构的反射光谱（实线），同时给出了测量的被动腔的反射光谱（短线）以及阳极与被动腔镜组合结构的反射光谱（空心圆线）；

图 3 所示为本发明实施例 1 中测量的有机激光器衬底侧的反射谱和顶部侧反射谱（实线），以及相应的理论模拟曲线（点线），图中箭头指向腔模式位置；

图 4 所示为本发明实施例 1 中有机激光器的电流密度与电压关系曲线；内图为本发明实施例 1 中有机激光器低于阈值和高于阈值的发射光谱，测量角度为 15° 全角， J_{th} 为阈值电流密度；

图 5 所示为本发明实施例 1 中有机激光器光谱的半高全宽以及积分强度随电流密度的变化曲线，积分强度通过对光谱范围 605 nm 到 631 nm 积分而得到。

具体实施方式

下面参照附图对本发明的优选实施例进行详细说明，在描述过程中省略了对于本发明来说是不必要的细节和功能，以防止对本发明的理解造成混淆。

本发明是为了实现低损耗和高Q值微腔结构的电泵浦有机激光器件(OLD)。微腔是指至少有一维的尺寸在光波长量级的谐振腔。

本发明的电泵浦有机激光器件具有耦合微腔(CMC)的结构。它包括两个平面法珀微腔。其中一个没有有机材料的称为被动腔。另一个含有有机材料的称为激光腔。这两个单独的微腔通过一个共同的反射镜连接在一起。每一个单独的微腔可以支持一个单纵模。耦合微腔中模式的相互作用产生两个光模式,分别称为长波长模式(λ_L)和短波长模式(λ_S)。两个腔模式的强度与被动腔和激光腔腔长的失配程度有关(见L. Pavesi等人, Phys. Rev. B, Vol. 58, 15 794, 1998年12月)。当把被动腔作为一个特殊的高反镜时,耦合微腔可以看作是一个特殊结构的单一微腔。这样,激光腔是由一个高反微腔镜和一个高反镜构成的微腔。

与普通微腔相比,耦合微腔能显著地抑制横电场泄漏模式(见R. P. Stanley等人, Applied Physics Letters, Vol. 65, 2093, 1994年10月; P. Bienstman等人, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 36, 669, 2000年6月; P. Michler等人, Applied Physics Letters, Vol. 70, 2073, 1997年4月)。因此,耦合微腔有利于构造低损耗微腔。

图1A所示为本发明中电泵浦有机激光器100的横截面结构图。有机激光器100由衬底110,底部镜120,间隔层130,耦合镜140,阳极150,有源层160,阴极170和顶部镜180构成。图1B所示为本发明中有源层160的横截面结构图。有源层160包括阳极缓冲层162,空穴传输层163,增益区164,电子传输层165,阴极缓冲层166。图1C所示为本发明中增益区164的横截面结构图。增益区164包括电子势垒层164a,有机增益层164b和空穴势垒层164c。

本发明中有机激光器100在加正向电压时,电子从阴极170注入到电子传输层165中,空穴从阳极150注入到空穴传输层163中。注入的载流子向电荷相反的电极迁移,在增益区164中形成电子空穴对,又称为激子。激子辐射跃迁产生的光子在激光腔中可以经受激发射作用而放大。当注入电流超过阈值电流,并且光增益超过光损耗时,增

益区 164 产生的面发射激光 190 会从反射率相对较低的反射镜输出。有机激光器 100 可以顶发射，也可以底发射。衬底 110 可以是刚性的或柔性的，可以是透明的或不透明的。当激光 190 从顶部发射时，衬底 110 可以采用适当的透明材料如石英、玻璃、蓝宝石和塑料，或者不透明材料如硅衬底。当激光 190 从底部发射时，衬底 110 采用对可见光透明的适当材料。

构成被动腔的两个反射镜是底部镜 120 和耦合镜 140。构成激光腔的两个反射镜是耦合镜 140 和顶部镜 180。耦合镜 140 是被动腔和激光腔的共有反射镜。通常底部镜 120、耦合镜 140 和顶部镜 180 由周期结构的高折射率和低折射率介质材料交替组成。高折射率材料包括二氧化锆 (ZrO_2)、五氧化二钽 (Ta_2O_5)、二氧化钛 (TiO_2)、硫化锌 (ZnS)、硒化锌 ($ZnSe$) 以及其它折射率大于 1.8 的光学介质材料。低折射率材料包括二氧化硅 (SiO_2)、氟化镁 (MgF_2)、氟化锂 (LiF)、氟化钇 (YF_3)、氟化钡 (BaF_2) 以及其它折射率小于 1.6 的光学介质材料。间隔层 130 位于底部镜 120 和耦合镜 140 之间，由适当的介质材料如 SiO_2 构成。间隔层 130 是被动腔的腔层。通过调节间隔层 130 的折射率和厚度，被动腔可以在预定的波长位置产生谐振。由于有机激光器 100 在激光方向上的腔长很短，腔镜反射率需要增加以弥补单程光增益的降低。通常，由底部镜 120 与耦合镜 140 构成的被动腔以及顶部镜 180 在激光波长处的反射率至少大于等于 97%，最好大于等于 99%。

阳极 150 采用厚度为 $\lambda_0/4n$ 或更薄的透明导电材料，其中 λ_0 为激光波长， n 为阳极 150 的折射率。适当的阳极 150 材料包括铟锡氧化物 (ITO)、锌锡氧化物 (ZTO)、氟锡氧化物 (FTO)、铟钒氧化物 (IVO) 等。阳极 150 制备在耦合镜 140 上。底部镜 120、耦合镜 140、间隔层 130 和阳极 150 可以采用等离子体增强化学气相沉积 (PECVD)、电子束沉积、溅射沉积、热蒸发沉积等适当的技术制备，通常沉积时衬底 110 温度超过 200 摄氏度。顶部镜 180 可以采用溅射沉积、高真空热蒸发或电子束蒸发等方法制备，通常衬底 110 温度小于 80 摄氏度以免损害有机材料。

阳极缓冲层 162 可以增加阳极 150 的平整度并提高有机膜的成膜性。阳极缓冲层 162 可以使空穴容易地从阳极 150 注入到空穴传输层 163 中。适当的阳极缓冲层 162 材料包括但不限于, 掺杂有机电子受体材料的三芳胺衍生物, 无机氧化物例如氧化钒(VO_x)、氧化钼(MoO_x)、氧化镍(NiO_x) 和氧化钨(WO_x) 等。空穴传输层 163 传输空穴到增益区 164。空穴传输层 163 可以是一层或多层。空穴传输层 163 可以是单一的有机材料, 也可以是掺杂的有机材料以增加电导。空穴传输层 163 包括三芳胺衍生物或其它适当的材料, 如 N,N-双(a-萘基-苯基)-4,4-联苯二胺(NPB)、2T-NATA、聚乙烯基咔唑(PVK)、m-MTDATA 和聚(3,4-二氧乙基噻吩)/聚(对苯乙烯磺酸)(PEDOT/PSS)等。

增益区 164 位于空穴传输层 163 和电子传输层 165 之间。图 1C 所示的增益区 164 中的有机增益层 164b 夹在电子势垒层 164a 和空穴势垒层 164c 之间。电子势垒层 164a 是可选层, 作为势垒阻止电子向阳极 150 迁移, 从而限制电子处于增益区 164 内。电子势垒层 164a 包括禁带宽度大的有机材料以及无机材料如 LiF 和 YF_3 。空穴势垒层 164c 是可选层, 作为势垒阻止空穴向阴极 170 迁移, 从而限制空穴处于增益区 164 内。空穴势垒层 164c 包括适当的有机材料如双(2-甲基-8-羟基喹啉-N1,08)-(1,1'-联苯-4-羟基)铝(BALQ)、2,9-二甲基-4,7-二苯基-1,10-邻二氮杂菲(BCP)等材料。空穴势垒层 164c 也包括禁带宽度大的无机材料如 LiF 和 YF_3 。电子势垒层 164a 和空穴势垒层 164c 也可以用来阻挡激子扩散出增益区 164。有机增益层 164b 可以是一层或多层。有机增益层 164b 通常包括一个或多个主体材料掺杂一个或多个受体掺杂剂。适当的主体材料能有效地把能量传递给高发光效率的受体掺杂剂。主体材料包括 BCP、4,4'-双(咔唑-9-基)-联苯(CBP)、八羟基喹啉铝(ALQ)及其它合适的材料。受体掺杂剂可以选择高荧光效率的染料或高磷光效率的染料, 例如香豆素(Coumarin)、4-二氰基亚甲基-2-甲基 6-对-二甲胺苯乙炔基-4H-吡喃(DCM)、红荧烯(Rubrene)、花(Perylene)、10-(2-苯并噻唑基)-2,3,6,7-四氢化-1,1,7,7-四甲基-1H,5H,11H-[1]苯并吡喃[6,7,8-ij]喹啉-11-酮(C545T)、4-(氰亚甲基)-2-三氯苯酚-异丁基-6-(1,1,7,7-四甲基久洛

尼定-9-烯炔烃)-4H-吡喃丁 (DCJTB), 以及其它的适当材料。有机增益层 164b 可以只含有一种有机材料, 例如聚对苯撑乙炔 (PPV) 衍生物、聚芴 (PF) 衍生物等。

电子传输层 165 传输电子到增益区 164。电子传输层 165 可以是一层或多层。电子传输层 165 包括 ALQ、3-(4-biphenyl)-4-phenyl-5-(4-tert-butylphenyl)-1,2,4-triazole (TAZ)、1,3-bis(N,N-t-butyl-phenyl)-1,3,4-oxadiazole (OXD-7)、BCP 以及其它适当的材料。阴极缓冲层 166 容易地使电子从阴极 170 注入到电子传输层 165 中。适当的阴极缓冲层 166 材料包括但不限于, 碱金属或碱土金属掺杂的有机材料、碱金属卤化物、稀土金属氟化物、过渡元素金属氟化物, 例如 LiF、YF₃ 和 BaF₂ 等。阴极 170 制备在阴极缓冲层 166 上。阴极 170 选用金属材料, 要求具有低功函数 (一般 <4.0 eV) 和良好成膜性, 并能与有机层形成良好的电接触。常见的阴极材料有铝 (Al)、锂 (Li)、银 (Ag)、钙 (Ca)、镁 (Mg) 以及它们的合金材料等。本发明中所用的有机材料和金属材料可以采用任何适当的技术沉积, 例如真空热蒸发。

对于薄的吸收薄膜, 其光谱透射率、反射率和吸收率的总和是 100%。光的诱导透射原理表明薄膜的吸收不仅与该薄膜的光学常数有关, 而且受到周围光学介质的显著影响 (见 P.H. Berning 等人, J. Opt. Soc. Am. Vol. 47, 230, 1957 年; S. Y. Zheng 等人, Can. J. Phys., Vol. 61, 361, 1983 年; J. A. Dobrowolski 等人, Appl. Opt., Vol. 31, 5988, 1992 年 10 月)。在金属薄膜上蒸镀适当的多层介质结构, 在某波长区域的吸收和反射会由于光干涉作用而得到增强或抑制。这一原理已被用来增加显示器件的对比度, 也能用来实现高反和低吸收的电接触。

本发明中阴极 170 所用金属薄膜的厚度为 5~15 nm。这样阴极 170 与适当结构的顶部镜 180 的结合可以获得综合的光电性能, 例如在某一波长处的高反射和低吸收。因为低吸收性能与高反射性能是相关联的, 所以顶部镜 180 的高反射率可以使阴极 170 的光损耗充分地降低。实验发现这种结构能在有源层 160/阴极 170 界面实现良好的电

接触。

激光腔中存在电场强度极大值和极小值周期变化的驻波电磁场。可通过调节有源层 160 的厚度，使激光腔的腔长等于激光发射半波长的整数倍。有源层 160 与阳极 150 的界面以及有源层 160 与阴极 170 的界面位于驻波电磁场的波节（最小值）位置，而增益区 164 位于驻波电磁场的波腹（最大值）位置。这种结构安排能进一步降低了阳极 150 和阴极 170 在激光波长处的光吸收，显著增强有机激光器 100 的微腔效应。本发明中的电泵浦有机激光器 100 能够在垂直衬底的方向发出圆形激光光束。本发明中的电泵浦有机激光器 100 可以制成极小的尺寸，从而方便地制造二维激光阵列。本发明中的电泵浦有机激光器 100 有广泛应用，包括激光光源、集成光电子回路、光互连、光计算、光开关、图像处理、光探测、光谱元件、光记忆元件等。

实施例 1

作为图 1 中的一个具体的实施例，有机激光器件 100 制备过程如下，在玻璃衬底 110 上沉积底部镜 120。然后底部镜 120 上沉积 $\lambda/2$ 厚的 SiO_2 作为间隔层 130。在间隔层 130 上沉积耦合镜 140。底部镜 120 和耦合镜 140 由 $\lambda/4$ 厚的 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 周期结构构成，周期分别为 4.5 个和 4 个，其中布拉格波长 λ 为 595nm。在耦合镜 140 上，沉积一层厚度为 54 nm 的 ITO 层作为阳极 150。 TiO_2 、 SiO_2 和 ITO 薄膜均采用电子束蒸发的方法沉积，其中衬底加热温度 200 度，氧压 2×10^{-2} Pa。以下各层在高真空 5×10^{-4} Pa 下由热蒸发或升华的方法依次沉积：1) 阳极缓冲层 162 沉积在 ITO 上，材料 MoO_3 ，厚 1 nm；2) 空穴传输层 163，材料 2T-NATA，厚 17 nm；材料 NPB，厚 45 nm；3) 有机增益层 164b，包括 35 nm 的 NPB 掺杂 1.5 wt % DCM 和 40 nm 的 ALQ 掺杂 2 wt % DCM；4) 电子传输层 165，材料 ALQ，厚 58 nm；5) 阴极缓冲层 166，材料 LiF，厚 1 nm；6) 阴极 170，材料 Al，厚 10 nm。上述过程完成后，由 7.5 个周期 $\lambda/4$ 厚的 ZnS/MgF_2 周期结构构成的顶部镜 180 沉积在阴极 170 即 Al 膜上。顶部镜 180 在 590 nm 的最大反射率达到 99.5%。 ZnS 和 MgF_2 薄膜在高真空 1×10^{-3} Pa 下采用电子束蒸发

的方法沉积，其中衬底加热温度小于 80 度，以免损伤有机层。本实施例中的有机激光器 100 结构可以表示为，Glass/bottom mirror/SiO₂/coupling mirror/ITO (54 nm)/MoO₃ (1 nm)/2T-NATA (17 nm)/NPB (45 nm)/NPB:DCM (35 nm)/ALQ:DCM (40 nm)/ALQ (58 nm)/LiF (1 nm)/Al (10 nm)/top mirror。

有机激光器件 100 的工作电源采用半导体参数测试仪，它能产生全波整流脉冲波形，重复频率 100 Hz。电致发光谱和反射光谱通过 Avantes 光纤光谱仪在垂直于样品表面的方向上测量。图 2 所示为测量的本发明实施例 1 中顶部镜 180 的反射光谱(点线)以及铝阴极 170 与顶部镜 180 组合结构的反射光谱(实线)。测试结果表明与单层铝膜相比，铝阴极 170 与顶部镜 180 组合结构的反射率由于光干涉作用明显增加。超过 99% 的最大反射率位于 618nm 的波长位置，表明在该波长位置的吸收率小于 1%。与顶部镜 180 相比，铝阴极 170 与顶部镜 180 组合结构的高反射截止带变窄，并且最高反射峰发生红移。正确设计顶部镜 180 的结构可以使最高反射峰位于所需的波长位置。图 2 还给出了本发明实施例 1 中测量的被动腔的反射光谱(短线)以及阳极 150 与被动腔组合结构的反射光谱(空心圆线)。被动腔的谐振峰位于 595nm，高反截止带的反射率超过 99%。当被动腔上蒸镀一层 ITO 阳极 150 以后，这一反射率变化很小。在有机激光器件 100 中，和被动腔不同，激光腔的布拉格波长 λ 设计为 600nm。选择有机层的总厚度使所形成的 $\lambda/2$ 激光腔中有机增益层 164b 位于腔内电磁场的波腹位置，有源层 160 与阳极 150 的界面以及有源层 160 与阴极 170 的界面位于波节位置。

图 3 所示为本发明实施例 1 中测量的有机激光器 100 衬底侧的反射谱和顶部侧反射谱(实线)，并分别与模拟的反射谱(点线)进行对比(所用的传输矩阵方法见波恩，《光学原理》，剑桥出版社，剑桥，1999 年)。图中箭头指向腔模式位置。可以看到在被动腔中存在短波长模式 $\lambda_s = 591 \text{ nm}$ 和长波长模式 $\lambda_l = 618 \text{ nm}$ 。而在激光腔中，短波长模式非常弱，而长波长模式 $\lambda_l = 618 \text{ nm}$ 可以明显观察到。

图 4 所示为本发明实施例 1 中有机激光器 100 的电流密度与电压

关系曲线。在该测试曲线中电压小于 32 V 时，电流密度随电压线形增加，表明在有源层 160 与阳极 150 的界面以及有源层 160 与阴极 170 界面形成了良好的电接触。在有机激光器 100 中，当注入电流密度达到 430 mA/cm^2 ，对应于起亮电压 17V，才观察到光的输出。激光从顶部一侧输出。图 5 所示为本发明实施例 1 中有机激光器 100 光谱的半高全宽以及积分强度随电流密度的变化曲线。积分强度通过对光谱范围 605 nm 到 631 nm 积分而得到。当电流密度达到 612 mA/cm^2 时可观察到明显的激光阈值行为。阈值以上，光谱积分强度急剧增加，伴随着谱线半高全宽从 2.6 nm 窄化到 2.0 nm。图 4 的内图为本发明实施例 1 中有机激光器 100 低于阈值和高于阈值的发射光谱。低于阈值时，发射光谱中在 618nm 处存在一个腔模式，半高全宽为 2.6 nm，对应腔的品质因子 $Q=237$ 。当电流密度达到 1283 mA/cm^2 时，在激光峰 618 nm 的平均输出功率为 572 nW。

实施例 2

实施例 2 中的有机激光器件 100 的结构和制备与实施例 1 中的大致相同，但是有如下变化。衬底 110 采用硅衬底。底部镜 120 和耦合镜 140 由 $\lambda/4$ 厚的 $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ 周期结构构成，周期分别为 5.5 个和 4 个。间隔层 130 采用 $\lambda/2$ 厚的 SiO_2 。顶部镜 180 由 7.5 个周期的 $\lambda/4$ 厚的 ZnS/MgF_2 周期结构构成。所有反射镜的布拉格波长 λ 均为 500nm。阳极缓冲层 162 材料为 VO_x 。电子势垒层 164a 和空穴势垒层 164c 均采用厚 0.3 nm 的 LiF 材料。有机增益层 164b，包括 30 nm 的 NPB 掺杂 1wt % C545T 和 45 nm 的 ALQ 掺杂 1.5 wt % C545T。阴极缓冲层 166 采用 1 nm 厚的 YF_3 材料。阴极 170 材料是 10: 1 原子比例的 MgAg 合金。阴极 170 与顶部镜 180 组合系统在波长 515nm 处的反射率为 99%。实施例 2 中的完整的有机激光器 100 结构可以表示为，Si substrate/bottom mirror/ SiO_2 /coupling mirror/ITO (43 nm)/ VO_x (1 nm)/NPB (47 nm)/LiF (0.3nm)/NPB:C545T (30 nm)/ALQ:C545T (45 nm)/LiF (0.3 nm)/ALQ (42 nm)/ YF_3 (1 nm)/MgAg (10 nm)/Top mirror。

实施例 2 中电流电压关系特性由 Keithley 2400 数字源表测量。

有机激光器 100 的激光发射从顶部一侧输出。激光发射波长为 516 nm，谱线半高全宽为 1 nm。阈值电流密度为 892 mA/cm²。

实施例 3

实施例 3 中的有机激光器件 100 制备在衬底 110 上。底部镜 120 和耦合镜 140 由 $\lambda/4$ 厚的 Ta₂O₅/SiO₂ 周期结构构成，周期分别为 4.5 个和 4 个；间隔层 130 采用 $\lambda/2$ 厚的 SiO₂。顶部镜 180 由 9.5 个周期的 $\lambda/4$ 厚的 ZnSe/YF₃ 周期结构构成。所有反射镜的布拉格波长 λ 均为 645nm。阳极缓冲层 162 材料为 VO_x。电子势垒层 164a 和空穴势垒层 164c 均采用厚 0.2 nm 的 YF₃ 材料。有机增益层 164b，包括 36 nm 的 NPB 掺杂 1wt % DCJTB 和 40 nm 的 ALQ 掺杂 2.5 wt % DCJTB。

实施例 3 中的完整的有机激光器 100 结构可以表示为，Glass substrate/bottom mirror/SiO₂/coupling mirror/ITO (58 nm)/VO_x (1 nm)/NPB (60 nm)/YF₃ (0.2 nm)/NPB: DCJTB (36 nm)/ALQ: DCJTB (40 nm)/YF₃ (0.2 nm)/ALQ (61 nm)/LiF (1 nm)/Al (10 nm)/Top mirror。

实施例 3 中电流电压关系特性由 Keithley 2400 数字源表测量。有机激光器 100 的激光发射从底部衬底 110 一侧输出。激光的双发射波长分别为 635 nm 和 651 nm。阈值电流密度为 1439 mA/cm²。

至此已经结合优选实施例对本发明进行了描述。应该理解，本领域技术人员在不脱离本发明的精神和范围的情况下，可以进行各种其它的改变、替换和添加。因此，本发明的范围不局限于上述特定实施例，而应由所附权利要求所限定。

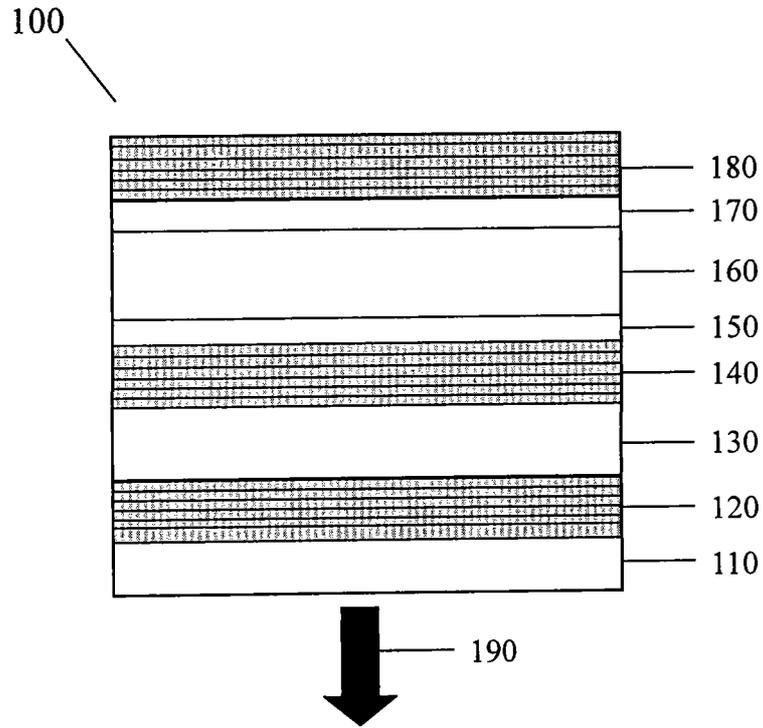


图 1A

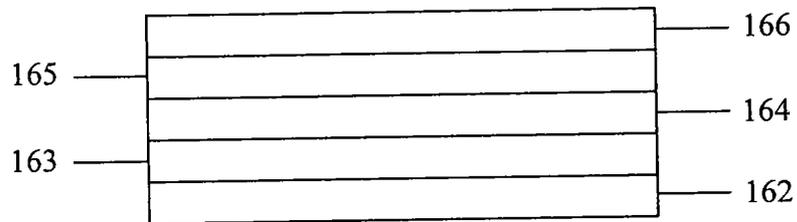


图 1B

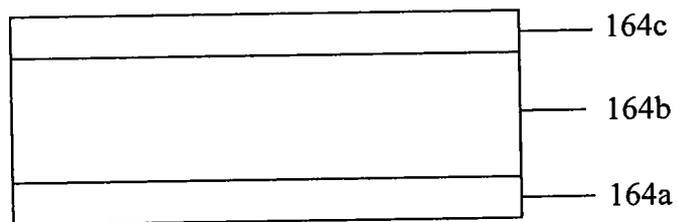


图 1C

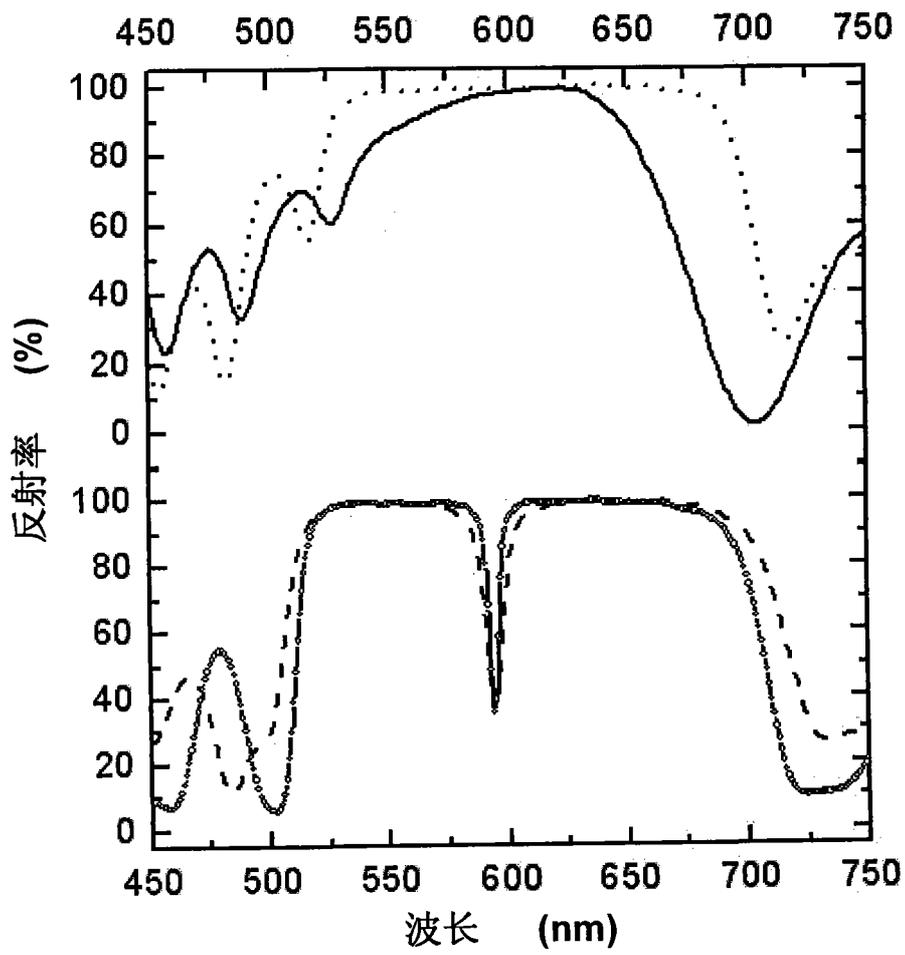


图 2

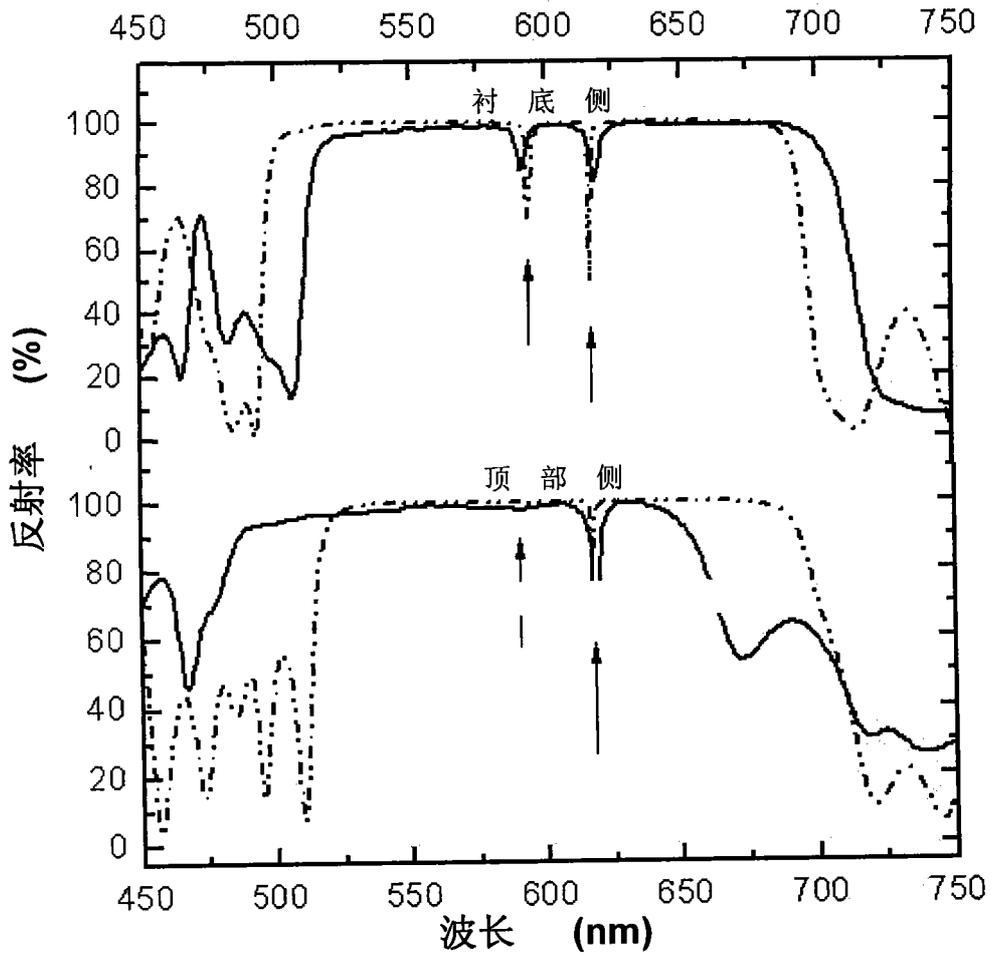


图 3

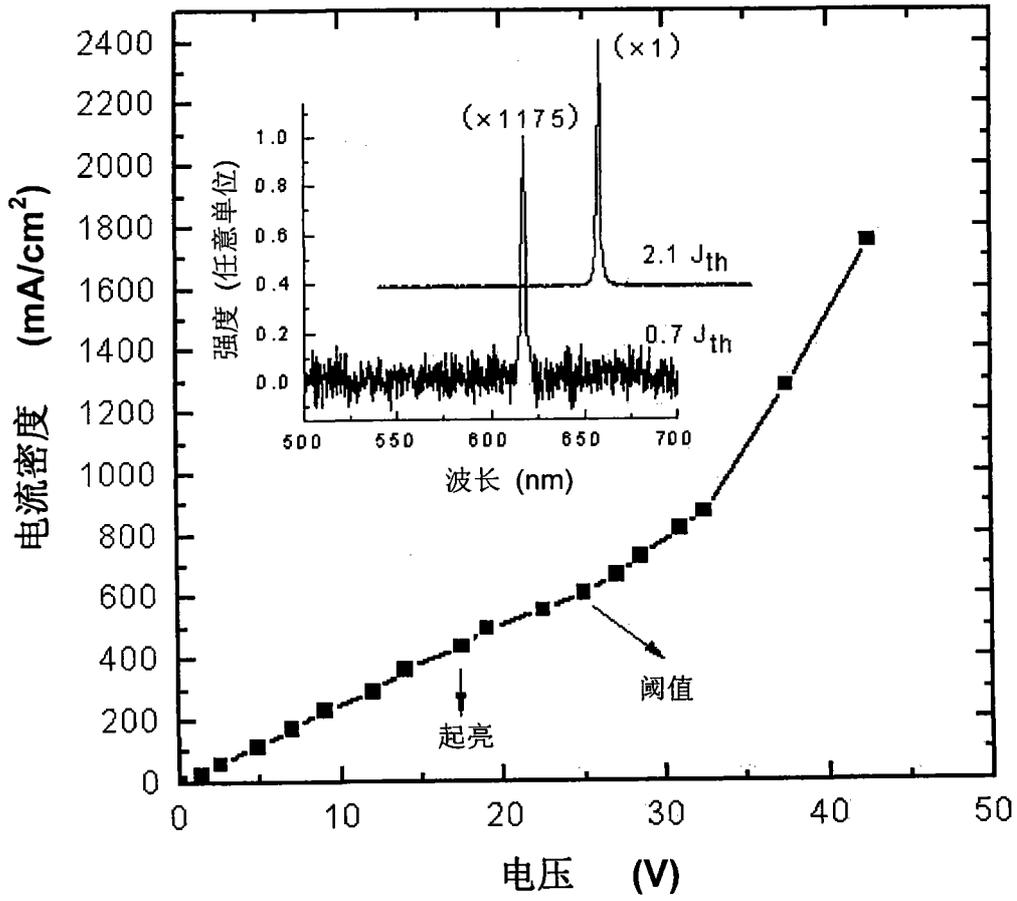


图 4

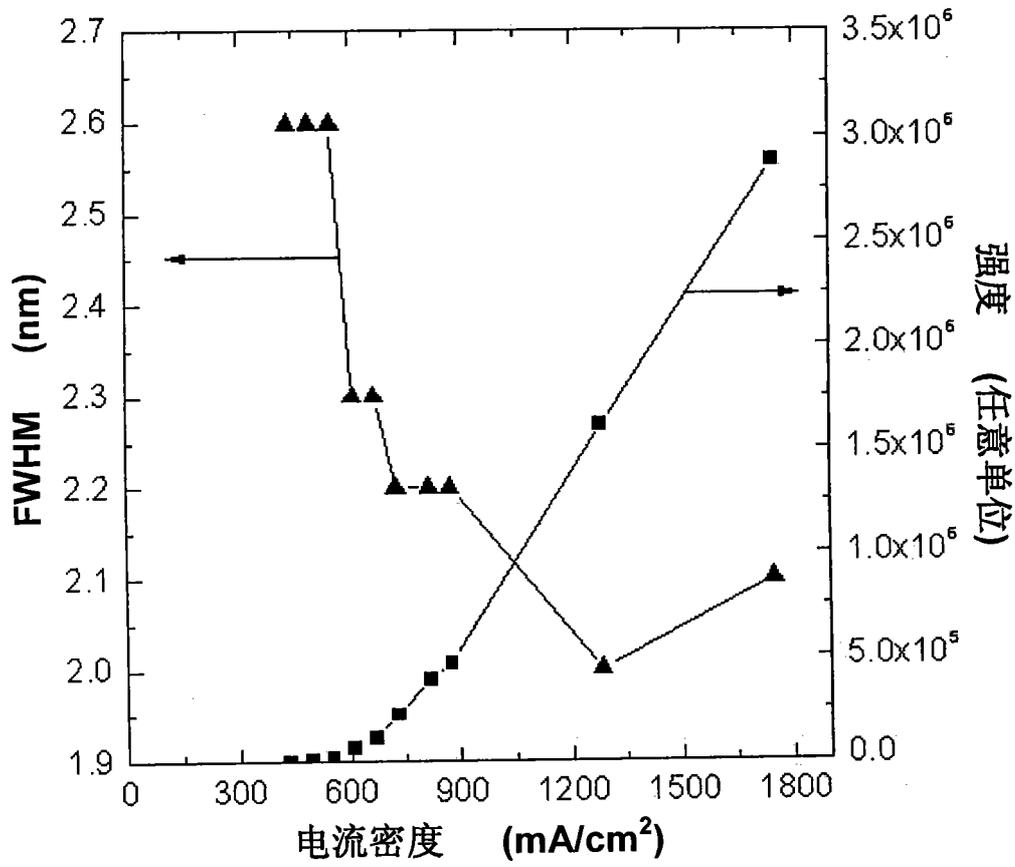


图 5