

研究简报

Alq/DCM 薄膜中的放大自发发射

赵家民¹, 王淑梅², 王立军², 刘 云¹, 刘星元¹, 宁永强¹,

吴东江¹, 武胜利¹, 付德惠¹, 金长清¹, 王利祥³, 景遐斌³, 王佛松³

(1. 中国科学院长春物理研究所; 2. 中国科学院激发态物理开放研究实验室, 吉林 长春 130021;

3. 中国科学院长春应用化学研究所, 吉林 长春 130022)

关 键 词: 平板波导; 受激辐射; 放大自发发射; 增益窄化

中图分类号: O484.41;

文献标识码: A

文章编号: 1000-7032-(2000)01-0071-03

自从在以 8-羟基喹啉铝(Alq) 掺杂小分子激光染料 DCM 为激活介质的波导结构中^[1], 光泵浦下观察到激光现象以来, 这种以高效发光有机半导体材料代替以往的溶胶、凝胶或透明聚合物材料来稀释激光染料的方法, 引起了人们广泛的关注和巨大的兴趣。因为 Alq 的发射谱和 DCM 的激发谱有很大的重叠, 所以经光泵浦后的 Alq/DCM 薄膜中处于激发态的 Alq 分子很容易与附近的 DCM 分子形成能量迁移^[1], 从而其发射谱表现为 DCM 的荧光谱, 而不是 Alq 和 DCM 的荧光谱的简单叠加。由于材料的发射谱相对于激发谱红移很大, 所以很大程度上降低了材料的自吸收损耗, 从而降低了激发阈值。到目前为止, 在 DBR^[2] (分布布拉格反射) 及 F-P (Fabry-Perot) 平面微腔^[3] 结构中也已相继实现了 Alq/DCM 的受激辐射。文中报道了光泵浦下 Alq/DCM 薄膜中的放大自发发射现象。

以石英晶片为衬底, 采用热蒸发的方法同时蒸镀 Alq 和 DCM 两种材料, 真空度为 1×10^{-3} Pa, 适当控制蒸发速率, 使其重量比为 100 : 3, 膜厚为 300nm。泵浦源采用 Nd:YAG 三次谐波输出, 波长为 355nm, 脉宽约 300ps, 重复频率为 2Hz。采用焦距为 10cm 的柱面透镜将泵浦光束汇聚成 10mm × 0.2mm 的细条对样品进行激发, 分别在垂直于激发细条的端面和膜表面对辐射光进行接收, 图 1 所示为实验装置示意图。所有实验均在室温空气中进行。

在泵浦能量低于 0.1μJ 时, 无论从 Alq/DCM 薄膜的侧面还是表面对辐射光进行接收,

测得的谱线线形均是很宽的宽带, 表现为自发辐射性质, 如图 2 中曲线 a 所示。当能量约为 0.2μJ 时, 从薄膜侧面对辐射光进行接收, 测得的谱线形状开始发生变化, 在谱线的 620nm 附近出现了相对增强的尖峰, 继续增加脉冲能量到 0.5μJ, 谱线显著窄化, 4μJ 时谱线半高宽(FWHM)降至 12nm, 如图 2 所示。随泵浦能量增加, 谱线的变化情况表明, 增益窄化的能量阈值约为 0.2μJ。在泵浦能量高于阈值时, 这种谱线的增益窄化是由于自发辐射在薄膜内传输时在增益区域内发生了受激辐射, 即形成了放大自发发射(ASE)。

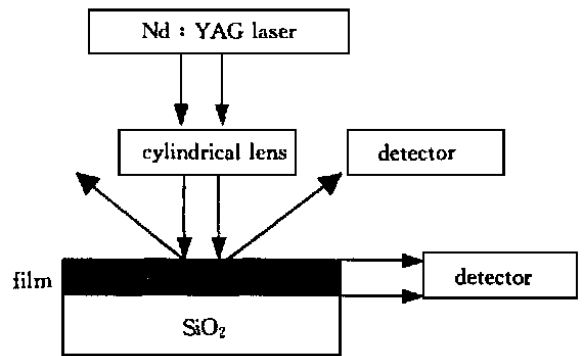


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 The experiment schematic setup.

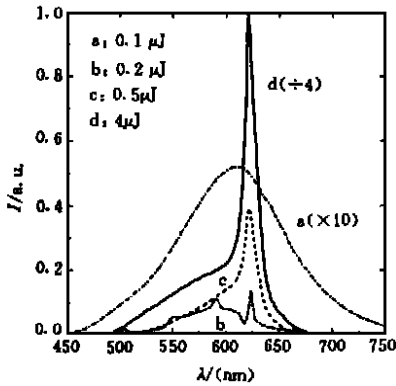
Alq/DCM 薄膜的折射率约为 $1.7^{[1]}$, 比空气($n = 1$)和石英($n = 1.46$)都高, 所以样品实际上是一个由衬底/薄膜/空气三层结构构成的非对称平板波导。当薄膜经激光泵浦后, 满足导模条件(在增益方向传输又在两个界面上均能发生全反射)的光波, 能沿波导层传输, 并在端面输出。

收稿日期: 1999-06-23; 修订日期: 1999-10-14

基金项目: 中国科学院九五重大项目

作者简介: 赵家民(1975-), 男, 山东人, 现攻读硕士学位, 主要从事有机及聚合物激光研究。

那些不满足导模条件的光则会从膜表面透射而损耗掉^[4]。当激发能流密度较小时,按统计规律,各种频率的满足导模条件的自发发射光子数与该频率处的荧光强度成正比,所以从端面接收到的辐射谱线线形仍是荧光谱。当能流密度增大到一定程度时,形成粒子数反转,导波光沿增益方向传输时发生受激辐射,形成以受激辐射波长为中心的增益放大和其它位置的相应抑制,出现光谱



a: 0.1 μJ; b: 0.2 μJ; c: 0.5 μJ; d: 4 μJ

图 2 不同激发能量下 Alq/DCM 薄膜侧面发射谱

Fig. 2 Emission spectra from the edge of Alq/DCM film at different excitation energy.

在高激发能量下,放大自发发射谱的短波端始终存在一很宽的带尾,且随激发能量的增加而增强,而没有出现被抑制的现象^[5],对这一现象还没有完全清楚,初步认为是由于 Alq/DCM 薄膜中的掺杂不均匀性引起的。Alq 分子和 DCM 分子能够发生高效能量传递的距离是

的重新分布。

增益窄化谱只能在垂直于激发细条的膜边缘测得。仍旧在 4 μJ 脉冲能量激发下,从膜表面接收时,测得光谱仍为很宽的宽带,表现为荧光性质,如图 3 中曲线 a 所示。这是波导的包层模信号,即不满足导模条件的光子从膜表面折射到空气包层中形成的。由于包层模没有经过增益放大,仍是自发辐射,所以测得的谱线为荧光谱。

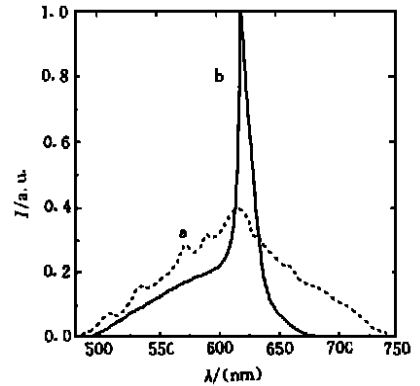


图 3 激发能量为 4 μJ 时 Alq/DCM 薄膜表面(a)和侧面(b)发射谱比较

Fig. 3 Comparison of the spectra detected from the surface (a) and the edge (b) of the Alq/DCM film at excitation energy of 4 μJ.

5~10 nm^[3],如果 Alq 分子的周围 10 nm 范围内没有 DCM 分子,处于激发态的 Alq 分子则不能形成能量传递,而通过自发辐射回到基态,表现出 Alq 分子自身的 PL(光致发光)性质。这一宽带尾则可能是由较弱的 Alq 荧光与 DCM 激射谱短波端的叠加而形成的。

参 考 文 献

- [1] Kozlov V G, Bulovic V. Laser action in organic semiconductor waveguide and double-heterostructure devices [J]. *Nature*, 1997, **389**: 362.
- [2] Bulovic, Kozlov V G, Khalfin V B, Forrest S R. Transform-limited, narrow linewidth lasing action in organic semiconductor microcavities [J]. *Science*, 1998, **279**: 553.
- [3] Berggren, Dodabalapur A, Slusher R E. Stimulated emission and lasing in dye-doped organic thin films with Forster transfer [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **71**: 2230.
- [4] Jin Feng, Fan Junqing. Integrated Optics (Vol. 1) Chap. 10~13 [M]. 1st ed. Defence Industry Press 1981 (in Chinese).
- [5] Fumitomo Hide, Maria A Diaz-Garcia, Benjamin J Schwartz, et al. Semiconducting Polymers: A new class of solid-state laser materials [J]. *Science*, 1996, **273**: 1833.

Amplified Spontaneous Emission in the Film of Alq Doped with Dye DCM

ZHAO Jia-min¹, WANG Shu-mei², WANG Li-jun², LIU Yun¹, LIU Xing-yuan¹,
NING Yong-qiang¹, WU Dong-jiang¹, WU Sheng-li¹, FU De-hui¹, JIN Chang-qing¹,
WANG Li-xiang³, JING Xia-bin³, WANG Fo-song³

(1. Changchun Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences; 2. Laboratory of Excited State Processes, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China; 3. Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract

Optically pumped stimulated emission behavior was demonstrated in a slab-waveguide structure formed by substrate/organic film/air. The organic film was deposited by high vacuum (1×10^{-3} Pa) co-evaporating of 8-hydroxyquinolino aluminum (Alq) and laser dye DCM. A wafer of quartz was used as the substrate. The thickness of the organic film was about 300nm, and the percentage of DCM was about 3%. The third harmonic output (355nm) of a Nd:YAG laser was used as the excitation source. The pulse width was about 300ps. The repetition rate was 2Hz. The pump beam was focused onto the sample with a cylindrical lens ($f=10$ cm). The excitation area was a typical 10mm \times 0.2mm stripe. Detected from the side or the surface of the organic film, the fluorescence spectrum with the FWHM (the full width at half maximum) of about 110nm was achieved at excitation pulses energy of 0.1 μ J. Increasing the excitation pulse energy to 4 μ J, the FWHM of the spectrum detected from the edge of the sample reduced to 13nm with the peak at 620nm and the spectrum from the surface was still a broad band. The change of the emission spectra detected from the edge of the sample showed a clear threshold action and gain narrowing phenomenon when increasing the excitation intensity. The spectrally gain narrowing results from the amplified spontaneous emission (ASE) of the waveguide along the excitation stripe in the film.

Key words: planar waveguide; stimulated emission; amplified spontaneous emission; gain narrowing