利用发光磁效应分析高温环境对OLED中激子演化的影响

朱洪强¹, 陈亚丽², 霍雅洁^{3*}

1. 重庆师范大学物理与电子工程学院, 重庆 401331;

2. 漯河职业技术学院电气工程系, 漯河 462000;

3. 重庆邮电大学移通学院数理教学部, 重庆 401520

*联系人, E-mail: hyjhmm@126.com

收稿日期: 2019-02-21; 接受日期: 2019-04-24; 网络出版日期: 2019-05-31

国家自然科学基金(编号: 11874305)、集成光电子学国家重点实验室课题(编号: IOSKL2017KF19)、重庆市教委科学技术研究计划(编号: KJQN201800510)和重庆市基础研究与前沿探索项目(编号: cstc2018jcyjAX0820)资助

摘要 本文制备了基于红荧烯(Rubrene)材料的有机发光二极管(OLED), 并利用磁电致发光效应(MEL)分析了高温环境对器件中激子演化的影响. 器件的MEL在高、低外加磁场范围内的线型特征表明, 室温下激子的演化以单重态激子分裂(STT)过程为主, 而在420 K环境温度下, 器件的STT过程减弱, 但出现了系间窜越(ISC)这一激子演化过程. 结合器件的表面形貌、发光-电流特性、电流效率和光谱, 我们认为高温环境导致Rubrene薄膜中产生了大量的结构缺陷, 限制了器件内部极化子对和激子的扩散, 提高了单重态和三重态极化子对间的转换效率, 从而导致高温环境下出现不利于内量子效率的ISC过程. 但缺陷对激子的俘获作用会抑制单重态激子向三重态激子的转换, 导致STT过程在高温环境下减弱, 从而提升器件的内量子效率. 本研究不仅有利于理解高温环境对Rubrene型OLED器件中激子演化过程的影响, 还提供了一种利用有机发光磁效应无损探测器件发光层结构改变的技术方案.

关键词 有机发光二极管, 环境温度, 激子演化过程

PACS: 72.80.Le, 71.35.-y, 78.60.Fi, 78.55.Kz

1 引言

有机发光二极管(Organic Light-Emitting Diode, OLED)具有易制作、化学可调、透明、易弯曲等特点^[1-8]. OLED中存在很多与激子相关的演化过程, 如

系间窜越(Intersystem Crossing, ISC)^[9]、单重态激子分裂(Singlet Fission, STT)^[10]、三重态激子湮灭(Triplet Fusion, TTA)^[11]等. 在OLED制备和研发过程中, 分析器件内部激子相关的演化过程及它们对器件稳定性、效率和寿命的影响显得十分必要. 目前这方面的研究

引用格式: 朱洪强, 陈亚丽, 霍雅洁. 利用发光磁效应分析高温环境对OLED中激子演化的影响. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 077501
Zhu H Q, Chen Y L, Huo Y J. Using magneto-electroluminescence to analyze the influence of high temperature environment on exciton evolution processes in organic light-emitting diodes (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2019, 49: 077501, doi: [10.1360/SSPMA-2019-0054](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2019-0054)

工作主要集中在室温或低温环境^[12-16], 但在实际工作和生产当中, 高温环境对器件的影响又是必须考虑的一个重要因素. 在工作状态下, 环境温度可能会引起器件有机薄膜材料局部温度升高, 诱使膜层产生结构陷阱或者结晶, 改变极化子对之间或激子之间的相互作用^[17-19]. 这不会加速设备的老化, 在极端情况下甚至会导致灾难性故障. 因此, 研究高温环境对OLED器件中激子的演化过程的影响, 不管在理论层面还是技术层面都具有重要意义. 然而, 对处于工作状态中的器件内部的激子演化过程进行实时地、无损地分析和监控并不容易. 研究发现, OLED内部激子演化过程往往会对外加磁场产生响应, 使器件的电致发光(ElectroLuminescence, EL)成为外磁场的函数, 其磁效应曲线被称之为磁电致发光效应(Magneto-ElectroLuminescence, MEL). 定义为

$$MEL = \frac{\Delta EL}{EL} \times 100\% = \frac{[EL(B) - EL(0)]}{EL(0)} \times 100\%,$$

式中, $EL(B)$ 和 $EL(0)$ 分别表示器件在有、无外加磁场时的发光强度^[20]. 一般来讲, 不同的激子演化过程具有不同的MEL特征曲线, 它们可以作为一种高效率、高灵敏性、无损非接触的探测手段探究有机半导体内部的微观机制^[21,22].

红荧烯(5,6,11,12-Tetraphenyl-naphthalene, Rubrene)是一种性能优异的有机半导体发光材料. 它的单重态能量约为三重态能量的2倍, 使得其STT和TTA都可能发生, 且具有较高的空穴迁移率, 在有机太阳能电池、有机场效应晶体管和OLEDs中均有广泛应用^[10,22,23]. 我们对这种器件在低温和室温下的激子相关演化过程及其MEL特征了解得比较全面^[8-12], 可以根据MEL的特征对温度的响应来实时探测与分析高温环境对激子演化过程的影响. 基于此, 本文制作了Rubrene型OLED器件, 并利用磁效应手段研究高温环境对器件激子演化的影响. 需要指出的是, Rubrene型OLED器件中的 $\pi\pi$ 堆积易通过非线性辐射能量转移的方式使荧光猝灭. 但 $\pi\pi$ 堆积导致的荧光猝灭对外加磁场不敏感, 它不易干扰我们通过MEL研究高温环境下器件激子的演化过程. 实验发现, 器件在室温和高温时的激子演化过程明显不同, 室温时主要以STT过程为主. 当环境温度达到420 K时, STT过程减弱并出现了ISC过程. 这种现象在文献中还未见报道过. 我们把

它归因于高温环境下Rubrene薄膜中产生的极化子对和激子缺陷.

2 器件制备及测量

本实验制备器件以Rubrene作为发光层, N,N' -Bis-(1-naphthalenyl)- N,N' -bis-phenyl-(1,1'-biphenyl)-4,4'-diamine (NPB)作为空穴传输层, 2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-Phenanthroline (BCP)作为电子传输层; 铟锡氧化物(Indium Tin Oxide, ITO)和铝(Al)分别作为器件的阳极和阴极. 器件结构为: ITO/poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrenesulfonate) (PEDOT: PSS) (40 nm)/NPB (60 nm)/Rubrene (30 nm)/BCP (50 nm)/LiF (1 nm)/Al (120 nm); 其中PEDOT:PSS和氟化锂(LiF)分别用于提高空穴和电子的注入效率, 其有效发光面积为1 mm×1 mm. 实验采用的带有ITO阳极的玻璃基片是从商业公司购买. 采用机械泵、分子泵和离子泵组合的三级真空泵体系, 真空蒸镀过程腔体真空度优于 10^{-6} Pa, 各功能层有机材料采用有机分子束沉积制备, 生长速率控制在0.4–0.6 nm/s. 采用INFICON公司的XTM/2型膜厚仪进行有机材料的生长速率和厚度的原位监测. 器件制备完成后, 将其安装在闭循环恒温加热器的加热头上, 采用东方晨景公司TC202型控温仪进行原位加热控制, 其温度可在280–450 K范围内调控. 加热头位于INFICON公司生产的Lakeshore-EM-647电磁头的两个极之间, 平行于器件表面施加磁场可达到300 mT, 磁场大小可通过Lakeshore-421高斯计测量, Keithley-2400对器件施加偏压并测量器件电流. 器件的光信号通过硅光探头、亮度计和Keithley-2000测量, SpectraPro-2300i光谱单元测量其光谱. 整个测量系统由计算机中自行编程的Labview软件进行操控, 每个温度的数据采集均间隔1 h.

3 实验结果与讨论

3.1 MEL随温度的变化

器件的结构如图1(a)所示. 注入电流恒定设置为50 μ A, 器件在300–400 K温度范围的MEL如图1(b)所示. 在300 K时, 在外加磁场作用下器件的MEL幅值在低磁场范围(0–25 mT)内缓慢降低; 在高磁场范围(25–300 mT)内快速上升, 在300 mT处的最大值

图 1 (网络版彩图) (a) 器件结构图; (b) 300–400 K 范围内器件的 MEL; (c) 420 K 时器件的 MEL; (d) MEL_{300 mT} 随温度的变化
Figure 1 (Color online) (a) Architecture of the organic light emitting diodes; (b) MEL response in the range of 300–400 K; (c) MEL responses at 420 K; (d) MEL_{300 mT} response at different temperatures.

MEL_{300 mT}~16.3%, 且未饱和. MEL 线型特征为典型的 STT 过程^[23]. 原位加热至 330 K 时, MEL_{300 mT}~17.8%; 原位加热至 400 K 时, MEL_{300 mT} 降低至 11.1%. 虽然 MEL_{300 mT} 有所变化, 但 MEL 线型仍是 STT 过程的特征曲线. 当原位加热至 420 K 时, MEL 在低磁场范围内出现了 ISC 过程的特征曲线, 在高磁场范围内幅值继续快速上升, 在 300 mT 处达到 1.6%, 如图 1(c) 所示. 图 1(d) 为 MEL_{300 mT} 随温度的变化. 在高温环境下, 器件的 MEL 在低磁场范围内出现反常的磁效应现象, 说明器件内部结构发生了改变, 引起激子演化过程的变化. 原位加热引起器件有机薄膜材料温度升高, 可能会诱使膜层产生缺陷^[18,19], 缺陷会影响极化子对之间和激子之间的相互作用, 引起磁效应改变. 从结构来看, 我们的器件属于电荷直接注入型, 即电子和空穴直接通过 BCP 和 NPB 注入发光层, 并在发光层中复合, 发光仅源于 Rubrene 层. 而电子、空穴传输层中不会产生电子-空穴对, 也不会发生能量传递过程, 所以电子、空穴传输层的结构变化对 MEL 结果影响不是主要因素. 综合分析发现, 器件在高温环境下 MEL 的线型变化是源于发光层 Rubrene 的结构改变.

3.2 表面形貌随温度的变化

使用光学显微镜(Optical Microscope, OM)观察器件表面形貌, 发现 300 K 时薄膜在室温下是均匀分布的, 如图 2(a) 所示. 但是原位加热至 420 K, 器件表面出现大量颗粒状物质, 说明器件的结构发生了变化, 如图 2(b) 所示. 为了进一步探究发光层的变化, 我们制作了单层 Rubrene 薄膜进行原位加热, 并通过更高分辨率的原子力显微镜(Atomic Force Microscope, AFM)观察表面形貌, 如图 2(c) 所示. 可以看出, 室温下 Rubrene 薄膜相对光滑, 表面均方根粗糙度为 RMS=5.7 nm; 但原位加热至 420 K 后, 薄膜发生较大改变, 产生缺陷变得粗糙, 其表面均方根粗糙度为 RMS=10.6 nm, 如图 2(d) 所示. Rubrene 薄膜产生的缺陷容易成为极化子对和激子的诱捕点, 影响极化子对之间和激子之间的相互作用, 从而引起 MEL 发生改变^[22,24]. 通过观察器件的表面形貌, 证明了高温环境下器件中 Rubrene 薄膜确实产生了结构缺陷.

3.3 发光-电流特性曲线和电流效率随温度的变化

器件的发光强度与单重态激子数量成正比, 即

图 2 (网络版彩图)光学显微镜图像和原子力显微镜图像. (a) 300 K 时器件光学显微镜图像; (b) 420 K 时器件光学显微镜图像; (c) 300 K 时 Rubrene 薄膜原子力显微镜图像; (d) 420 K 时 Rubrene 薄膜原子力显微镜图像

Figure 2 (Color online) OM image and AFM image. (a) OM image of device at 300 K; (b) OM image of device at 420 K; (c) AFM image of a Rubrene film at 300 K; (d) AFM image of a Rubrene film at 420 K.

STT过程越强, 单重态激子分裂数量越多, 器件内量子效率就越低^[25]. 虽然升温有利于载流子迁移, 但温度对发光效率的影响力远低于单重态激子数量对发光效率的影响. 我们测量了不同温度环境中器件在 1 mA/cm^2 电流密度下的发光-电流特性曲线, 如图3(a)所示. 可以清楚地看到, 在注入电流密度相同时, 室温时器件的发光效率最高; 温度升高至330 K, 器件的发光效率最低; 继续升温至420 K, 器件的电流效率有所提高. 不同温度环境中器件在 1 mA/cm^2 的电流密度下的电流效率如图3(b)所示, 其变化趋势与发光-电流特性随温度的变化趋势一致. 结合图1(d)可以看出, 从室温加热至330 K, MEL幅值增加, STT过程增强, 单重态激子数量减少, 所以330 K时器件的发光效率和电流效率降低; 继续升温至420 K, MEL的幅值降低, STT过程减弱, 单重态激子数增多, 器件的发光效率和电流效率增加. 器件的发光-电流特性和电流效率随温度的变化与单重态激子分裂程度随温度的变化趋势一致. 但是由于升温导致的器件老化和产生缺陷都会影响载流子的迁移, 所以420 K时器件的发光效率和电流效率较室温时的低.

3.4 电致发光光谱随温度的变化

器件的归一化EL光谱如图4所示. 器件在300–400 K范围内, 光谱主峰值约为562 nm, 右肩峰值约为600 nm, 这与文献中报道的Rubrene的光谱峰值一致, EL光谱未发生改变^[23]. 但是继续加热器件至420 K, 右肩峰位明显展宽. 根据能量与波长关系公式 $E=hc/\lambda$ (其中 h 为普朗克常数, c 为光速, λ 为波长), 可以算出展宽的光谱波长值对应的 ΔE 能量约为0.04 eV. 这个 ΔE 能量对应的是缺陷平均能量深度, 也就是说束缚在缺陷中的激子必须克服缺陷势垒, 损失掉 ΔE 的能量才能辐射出光子, 因此光谱峰位展宽. 通过EL光谱分析发现光谱峰位展宽, 进一步证明了高温环境下Rubrene薄膜确实存在缺陷.

3.5 微观机制

注入器件的电子和空穴在Rubrene层中结合形成极化子对. 单重态极化子对(Singlet Polaron Pair) PP_S 和三重态极化子对(Triplet Polaron Pair) PP_T 分别可以形成单线态激子(Singlet Exciton) S_1 和三线态激子(Triplet Exciton) T_1 , 而 PP_S 与 PP_T 之间可以通过ISC过程相互转

图 3 (网络版彩图)不同温度下器件的发光-电流特性曲线(a)和器件的电流效率随温度的变化曲线(b)

Figure 3 (Color online) Luminescence-current density characteristics of devices with different temperatures (a) and current efficiency of the device at different temperatures (b).

图 4 (网络版彩图)器件归一化电致发光光谱随温度的变化

Figure 4 (Color online) Normalized EL spectra of the device at different temperatures.

化^[21,26]. 室温时, 极化子对形成激子的速度远远大于 PP_S 与 PP_T 之间相互转化速度, 所以ISC被严重抑制. 因此, 器件在室温下的MEL表现为STT为主导过程的特征线型, 其微观机制如图5中绿色箭头所示. 当环境温度达到420 K时, Rubrene层中产生大量缺陷, 使得载流子迁移率大幅度降低, 同时载流子也容易被缺陷俘获. 被俘获的电子与空穴配对形成被俘获的单线态极化子对 PP_{St} 和三重态极化子对 PP_{St} , 进而形成被俘获的单重态激子 S_1 和三重态激子 T_1 ^[14]. 大量的激子被缺陷俘获不容易扩散, 导致STT过程受阻, MEL幅值大大降低; 被俘获的极化子对相对于自由的极化子对有更长的寿命, 更有利于 PP_{St} 和 PP_{St} 的相互转化, 并且ISC的发生不需要依赖极化子对的扩散, 所以ISC过程相对增强^[10]. STT过程受到抑制, ISC过程受到促进, 两者效果相叠

图 5 (网络版彩图)器件的微观机制

Figure 5 (Color online) Microscopic mechanism diagram of the device.

加, 所以器件在低磁场范围内出现了ISC过程为主导的特征线型, 而在高磁场范围内仍表现为STT过程为主导的特征线型, 但幅值较低. 不同的激子演化过程具有不同的MEL特征曲线, 通过研究有机发光磁效应的变化能灵敏地分析出器件内部激子演化过程的变化, 能帮助我们研究和检测器件的内部结构变化.

4 结论

我们利用有机发光磁效应研究高温环境对Rubrene型OLED的激子演化的影响. 室温时器件以STT过程为主; 环境温度升至420 K时, STT过程受到抑制, 并在低磁场范围内出现了ISC的特征线型. 我们认为高温环境产生的有机功能层结构陷阱限制了极化子对和

激子扩散, 从而对激子相关的演化过程产生重要影响. 而与这些陷阱相关的激子演化过程具有完全不同的 MEL 特征曲线, 可以很容易地被识别出来. 本实验不

仅加深了对高环境温度下 Rubrene 型 OLED 器件微观机制的认识, 同时也为研究器件结构变化提供了一种高效灵敏性、无损非接触的磁效应测量手段.

参考文献

- 1 Liu G, Liu Y, Li B, et al. Influence of electron transport layer thickness on optical properties of organic light-emitting diodes. *J Appl Phys*, 2015, 117: 214505
- 2 Ma L, Zhang K, Kloc C, et al. Singlet fission in rubrene single crystal: Direct observation by femtosecond pump-probe spectroscopy. *Phys Chem Chem Phys*, 2012, 14: 8307–8312
- 3 詹义强. 有机电致发光器件的稳定性研究. 博士学位论文. 上海: 复旦大学, 2005. 3–7
- 4 Deng J Q, Tang X T, Pan R H, et al. Abnormal magnetic field effects in doped organic light-emitting devices (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2018, 63: 2974–2984 [邓金秋, 汤仙童, 潘睿亨, 等. 有机发光掺杂器件中的反常磁效应. 科学通报, 2018, 63: 2974–2984]
- 5 Kalinowski J, Cocchi M, Virgili D, et al. Magnetic field effects on emission and current in Alq₃-based electroluminescent diodes. *Chem Phys Lett*, 2003, 380: 710–715
- 6 Tang X T, Xu J, Deng J Q, et al. Abnormal temperature dependent behaviors of intersystem crossing from rubrene guest dopant with Alq₃ and CBP hosts (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2018, 48: 117001 [汤仙童, 许静, 邓金秋, 等. 红荧烯客体分子掺入 Alq₃ 和 CBP 主体的系间窜越的反常温度效应. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2018, 48: 117001]
- 7 Podzorov V, Menard E, Borissov A, et al. Intrinsic charge transport on the surface of organic semiconductors. *Phys Rev Lett*, 2004, 93: 086602
- 8 Hu Y Q, Liu D Y, Zang K K, et al. Investigation of electroluminescence mechanism in deep blue exciplex devices by utilizing magneto-electroluminescence (in Chinese). *Sci Sin-Tech*, 2017, 47: 373–382 [胡叶倩, 刘冬玉, 臧克宽, 等. 利用有机发光磁效应研究深蓝色激基复合物的发光机理. 中国科学: 技术科学, 2017, 47: 373–382]
- 9 Lei Y, Zhang Q, Chen L, et al. Ultralarge magneto-electroluminescence in exciplex-based devices driven by field-induced reverse intersystem crossing. *Adv Opt Mater*, 2016, 4: 694–699
- 10 Tang X, Hu Y, Jia W, et al. Intersystem crossing and triplet fusion in singlet-fission-dominated rubrene-based OLEDs under high bias current. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2018, 10: 1948–1956
- 11 Xiang J, Chen Y, Yuan D, et al. Abnormal temperature dependent behaviors of intersystem crossing and triplet-triplet annihilation in organic planar heterojunction devices. *Appl Phys Lett*, 2016, 109: 103301
- 12 Pan R H, Tang X T, Deng J Q, et al. Investigation of micro-mechanism in thermally activated delayed fluorescence quantum well devices by utilizing organic magnetic effects (in Chinese). *Sci Sin-Tech*, 2018, 48: 745–754 [潘睿亨, 汤仙童, 邓金秋, 等. 利用有机磁效应研究热活化延迟荧光量子阱器件中的微观机制. 中国科学: 技术科学, 2018, 48: 745–754]
- 13 Chen Y B, Yuan D, Xiang J, et al. Analysis of triplet dissociation and electron scattering in the rubrene-based devices by utilizing magnetoconductance (in Chinese). *Sci Sin-Tech*, 2016, 46: 61–67 [陈颖冰, 袁德, 向杰, 等. 利用有机磁电导分析 rubrene 发光器件中三重态激子解离和电子散射过程. 中国科学: 技术科学, 2016, 46: 61–67]
- 14 Jia W, Chen Q, Chen Y, et al. Magneto-conductance characteristics of trapped triplet-polaron and triplet-trapped polaron interactions in anthracene-based organic light emitting diodes. *Phys Chem Chem Phys*, 2016, 18: 30733–30739
- 15 Chen L, Jia W, Lan Z, et al. Tuning the polarity of organic magnetic field effects in polymer light-emitting diodes by incorporating a colloidal quantum dots thin layer. *Org Electron*, 2018, 55: 165–169
- 16 Zhang Y, Forrest S R. Triplets contribute to both an increase and loss in fluorescent yield in organic light emitting diodes. *Phys Rev Lett*, 2012, 108: 267404
- 17 McEwan J A, Clulow A J, Nelson A, et al. Dependence of organic interlayer diffusion on glass-transition temperature in OLEDs. *ACS Appl Mater Interf*, 2017, 9: 14153–14161
- 18 Tyagi P, Srivastava R, Giri L I, et al. Degradation of organic light emitting diode: Heat related issues and solutions. *Synth Met*, 2016, 216: 40–50
- 19 Yoon Y, Kim S, Lee H, et al. Characterization of rubrene polycrystalline thin film transistors fabricated using various heat-treatment conditions. *Thin Solid Films*, 2011, 519: 5562–5566

- 20 Wang F J, Bässler H, Voly Vardeny Z. Magnetic field effects in π -conjugated polymer-fullerene blends: Evidence for multiple components. [Phys Rev Lett](#), 2008, 101: 236805
- 21 Jia W, Chen Q, Chen L, et al. Molecular spacing modulated conversion of singlet fission to triplet fusion in rubrene-based organic light-emitting diodes at ambient temperature. [J Phys Chem C](#), 2016, 120: 8380–8386
- 22 Zhu H, Jia W, Chen L, et al. Trap-induced conversion from singlet fission to intersystem crossing via *in situ* heating of rubrene-based organic light-emitting diodes. [J Mater Chem C](#), 2019, 7: 553–557
- 23 Chen Y, Jia W, Xiang J, et al. Identify triplet-charge interaction in rubrene-based diodes using magneto-conductance: Coexistence of dissociation and scattering channels. [Org Electron](#), 2016, 39: 207–213
- 24 Dai Q, Bai S, Li H, et al. Template-free and non-hydrothermal synthesis of CeO₂ nanosheets via a facile aqueous-phase precipitation route with catalytic oxidation properties. [CrystEngComm](#), 2014, 16: 9817–9827
- 25 Bai J W, Lei Y L, Zhang Q M, et al. Control of singlet fission processes through modifying the molecular space of rubrene in OLEDs (in Chinese). [Sci Sin-Phys Mech Astron](#), 2013, 43: 1046–1051 [白江文, 雷衍连, 张巧明, 等. Rubrene分子间距对有机发光二极管中单重态激子裂变过程的调控. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2013, 43: 1046–1051]
- 26 Jia W, Zhang Q, Chen L, et al. Spin-orbital coupling induced high-field decay of magneto-electroluminescence in pristine Alq₃-based organic light-emitting diodes. [Org Electron](#), 2015, 22: 210–215

Using magneto-electroluminescence to analyze the influence of high temperature environment on exciton evolution processes in organic light-emitting diodes

ZHU HongQiang¹, CHEN YaLi² & HUO YaJie^{3*}

¹ College of Physics and Electronic Engineering, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China;

² Department of Electrical and Electronic Engineering, Luohe Vocational Technology College, Luohe 462000, China;

³ Mathematical Teaching Department, College of Mobile Telecommunications, Chongqing University of Posts and Telecom, Chongqing 401520, China

An organic light-emitting diode (OLED) based on rubrene was fabricated, and the magneto-electroluminescence (MEL) was used to analyze the exciton evolutions in the device under high temperature environment. The MEL characteristics of the device in the high and low applied magnetic fields indicate that the exciton evolution at room temperature is dominated by singlet exciton splitting (STT) processes, 420 K ambient temperature the STT process weakens, but the exciton evolution process of intersystem crossing (ISC) occurs. Combined with the surface morphology, luminescence-current characteristics, current efficiency and spectrum of the device, we believe that the high temperature environment causes a large number of structure defect in the rubrene film. The defect limits the diffusion of the polaron pairs and excitons inside the device, and improves the conversion efficiency between the singlet polaron pairs and triplet polaron pairs, and results in an ISC process that is not conducive to internal quantum efficiency in high temperature. The capture of excitons inhibits the conversion of singlet excitons to triplet excitons, resulting in a weakening of the STT process in high temperature environments, thereby increasing the quantum efficiency of the device. It not only deepens the understanding of the influence of high temperature environment on the exciton evolution process in rubrene type OLED devices, but also provides a technical solution to monitor the structural changes of devices by using organic luminescence magnetic effect.

organic light-emitting diode, ambient temperature, exciton evolution

PACS: 72.80.Le, 71.35.-y, 78.60.Fi, 78.55.Kz

doi: [10.1360/SSPMA-2019-0054](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2019-0054)