论文

高温环境中掺杂Ir(ppy)₃的红荧烯型有机发光二极管的光-电-磁性能及激子演化过程

朱洪强², 屈芬兰¹, 贾伟尧¹, 汤仙童¹, 赵茜¹, 马彩虹¹, 王影¹, 叶晟楠¹, 涂琳垚¹, 熊祖洪^{1*}

1. 西南大学物理科学与技术学院, 重庆 400715;

2. 重庆师范大学物理与电子工程学院, 重庆 401331

*联系人, E-mail: zhxiong@swu.edu.cn

收稿日期: 2020-08-28; 接受日期: 2020-11-06; 网络出版日期: 2021-06-10

国家自然科学基金(编号: 11874305)、重庆市自然科学基金(编号: cstc2019jcyj-msxm0953)和重庆市教委科学技术研究计划(编号: KJQN201800510)资助项目

摘要 本文制备了掺杂Ir(ppy)₃的红荧烯(Rubrene)型有机发光二极管(OLED), 并利用磁电致发光效应(MEL)研究了高温环境中器件的光-电-磁性能及激子演化过程. 研究发现, 器件的发光均来自Rubrene, 而Ir(ppy)₃不发光, 其能量全部转移给了Rubrene. 高温使得器件产生陷阱, 阻碍了极化子对和激子的扩散与相互作用, 导致MEL的特征线型由单重态激子分裂转变为系间窜越. 利用自旋轨道耦合作用和能量转移, 掺杂Ir(ppy)₃能有效增强Rubrene型OLED的光电性能和耐热性能. 本研究不仅加深了对高温环境下Rubrene型OLED的光-电-磁性能及其微观机制的认识, 同时为增强器件的热稳定性提供了一种新方法.

关键词 有机发光二极管, 高温, 磁场效应

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

1 引言

有机半导体发光器件又被称作有机发光二极管(OLED), 因其发光效率高、响应时间短、低温特性好、制备工艺简单、柔韧轻薄等特点, 被广泛运用在照明、显示等领域^[1-5]. 经过30多年的发展, OLED制备技术已越发成熟, 其性能也得到了巨大的提升^[6-9]. 但是这些研究主要集中在室温环境(300 K)或低温环

境(<300 K)下^[10-13], 高温环境(>300 K)下相关研究还属于相对空白的领域. OLED在实际的生产和使用中不可避免地会接触到高温环境, 而高温容易引起器件内部结构和光-电-磁性能的改变^[14,15]. 要对工作状态中的OLED进行实时地、无损伤地分析和监控并不容易, 磁场效应作为一种高效灵敏、非接触的探测手段, 不但能完美地解决上述技术难题, 还能分析出器件内部复杂的激子演化过程^[16]. 人们把电致发光强度随磁场

引用格式: 朱洪强, 屈芬兰, 贾伟尧, 等. 高温环境中掺杂Ir(ppy)₃的红荧烯型有机发光二极管的光-电-磁性能及激子演化过程. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2021, 51: 117311
Zhu H Q, Qu F L, Jia W Y, et al. The optical-electro-magnetic properties and exciton evolution process of Ir(ppy)₃ doped rubrene-based organic light-emitting diode in high temperature environment (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2021, 51: 117311, doi: 10.1360/SSPMA-2020-0337

变化的现象称作磁电致发光效应(MEL), 定义为:

$$\text{MEL} = \frac{\Delta EL}{EL} \times 100\% = \frac{EL(B) - EL(0)}{EL(0)} \times 100\%^{[17]}. \text{ 所以无论}$$

是从理论探究角度出发, 还是从实际应用角度出发, 把磁场效应作为探测手段来研究高温环境中OLED的相关性能有着重要的现实意义和实用价值.

红荧烯(Rubrene)是制备OLED最为常用的明星有机材料^[18], 得益于材料较好的光电性能、较高的载流子迁移率、且单重态(S_1)激子能量与三重态(T_1)激子能量的两倍值相当($E_S \approx 2E_T$), 使得单线态激子分裂过程(STT)和三线态激子湮灭过程(TTA)都容易发生^[19]. 本课题组在室温环境和低温环境下对Rubrene型OLED做了大量基础研究, 对于Rubrene型OLED的光-电-磁性质及器件内部微观机制有较深刻的认识, 积累了丰富的研究经验^[19-22]. 因此, 我们选择Rubrene型OLED为实验对象, 在发光层中掺入不同浓度的磷光材料Ir(ppy)₃, 利用磁场效应手段研究高温环境中掺杂Ir(ppy)₃的Rubrene型OLED的光-电-磁性能及激子演化过程, 分析器件内部复杂的微观机制. 研究发现, 高温环境下, 器件的MEL从STT特征线型转变为系间窜跃(ISC)特征线型. Ir(ppy)₃不发光, 而掺入Ir(ppy)₃能有效提高器件的光电性能和耐热性能. 文献中尚未报道过此类实验现象, 我们认为这是高温环境下的陷阱机制和磷光材料与荧光材料之间的能量转移共同作用的结果.

2 器件制备与测量

实验采用Rubrene作为发光层, Ir(ppy)₃为发光层掺杂材料, NPB和BCP分别为空穴传输层、电子传输层, ITO和Al分别为器件的阳极、阴极. 器件的结构为ITO/PEDOT:PSS/NPB (60 nm)/Rubrene:xIr(ppy)₃ (40 nm)/BCP (40 nm)/LiF/Al, 其中x为0%, 5%, 50%. 器件的有效发光面积为6 mm². 加入PEDOT:PSS和LiF能提高空穴和电子的注入率. 器件制备方法如下: (1) 将浸在去离子水中的ITO基片反复超声清洗; (2) 加入4%的Decon90玻璃清洗剂反复擦拭基片正反两面; (3) 分别用无水乙醇和丙酮多次超声清洗, 对基片进行彻底的清洗和脱水处理; (4) 臭氧处理基片表面; (5) 用匀胶机将PEDOT:PSS均匀旋涂在氧化铟锡(ITO)上并烘干; (6) 分别利用有机分子束外延沉积法以及热阻蒸

发法在超高真空状态下生长各功能层和Al电极, 其中超高真空($\sim 10^{-6}$ Pa)由三级真空泵系统获得. 将有机材料的沉积速率控制在0.4–0.6 nm/s, 并使用石英振荡器监测各功能层的厚度. 器件制备完成后, 将其安装在闭环恒温加热器的加热头上, 采用东方晨景公司TC 202型控温仪进行原位加热控制, 其温度在280–500 K范围内可调. 加热头位于Lakeshore公司的EM 647电磁头的两个磁极间. 平行于器件表面施加磁场可达到 ± 300 mT; 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光谱仪测量其光谱; 整个测量系统由计算机中自行编程的Labview软件进行操控.

3 结果与讨论

3.1 器件基本性能

测试Rubrene型OLED磁场效应的实验仪器如图1(a)所示. 器件放在恒温加热器的加热头上, 加热探头位于电磁头的两个极之间, 磁场方向与器件平行. 器件的能级结构如图1(b)所示. 从最高占据分子轨道(HOMO)和最低未占分子轨道(LUMO)能级可以看出, NPB与阳极之间能级差形成空穴注入跃迁阶梯, 同时NPB与发光层之间的能级差可以阻挡电子的跃迁; BCP与阴极之间能级差形成电子注入的跃迁阶梯, 并且BCP与发光层之间的能级差可以阻挡电子的跃迁, 这利于提升器件的光电性能. 图1(c)展示了Rubrene的吸收谱(Absorption, Abs)、光致发光谱(PL)和Ir(ppy)₃的PL. Rubrene的吸收谱与Ir(ppy)₃的PL之间存在大范围交叠, 有利于它们之间的能量传递^[23]. 图1(d)中纯的Rubrene器件(x=0%)与掺杂器件(x=5%和50%)的电致发光谱(EL)的峰位一致, 说明Ir(ppy)₃不直接发光, 即Ir(ppy)₃与Rubrene之间确实存在能量传递. 图1(d)插图Ir(ppy)₃和Rubrene的分子式.

3.2 室温下器件MEL和电流-发光强度曲线

我们测试了室温时掺杂Ir(ppy)₃浓度为0%, 5%和50%的三种Rubrene型OLED在不同电流下的MEL曲线, 分别如图2(a)–(c)所示. 对比观察图2(a), (b)可知, 室温下发光层中掺杂Ir(ppy)₃浓度为0%和5%的器件在不同电流下的MEL都表现为: MEL随磁场增加先小幅减弱再快速增强, 即为STT过程的特征线型^[21]. 有趣的是,

图 1 (网络版彩图) (a) 实验装置和设备结构的示意图; (b) OLED 的能级结构; (c) Rubrene 的 Abs 谱、PL 谱和 Ir(ppy)₃ 的 PL 谱; (d) x 分别为 0%, 5%, 50% 时 OLED 的 EL 谱

Figure 1 (Color online) (a) Schematic illustration of the experimental setup and device structure; (b) energy-level structure of the OLED; (c) normalized absorption spectra of Rubrene and normalized PL spectra of Ir(ppy)₃ and Rubrene; (d) EL spectra of the OLEDs when x is 0%, 5%, and 50%, respectively.

图 2 (网络版彩图) 室温时器件 MEL 曲线随电流的变化 ((a) $x=0\%$; (b) $x=5\%$; (c) $x=50\%$); (d) 室温时器件发光亮度随电流的变化

Figure 2 (Color online) MEL responses at different injection currents at 300 K ((a) $x=0\%$; (b) $x=5\%$; (c) $x=50\%$); (d) the brightness intensity of devices with different concentrations under various injection currents at 300 K.

当掺杂 Ir(ppy)_3 浓度进一步增加到50%时, 器件的MEL虽然高磁场处仍表现为STT特征线型, 但低磁场处却出现了随磁场增加而快速增加的现象, 即ISC过程占主导^[24], 如图2(c)所示. 插图为注入电流为200 μA 时MEL的局部放大图, 能更清楚地观察到这种变化. 这种线型变化的现象引起了我们极大的研究兴趣. 室温时, 掺杂 Ir(ppy)_3 浓度较低时, 器件的MEL主要表现为Rubrene的特性, 其对电流依赖性不明显^[21]; 掺杂 Ir(ppy)_3 浓度达到50%时, 器件的MEL则表现出电流密度越大, MEL越强. 这是因为电流密度越大时, 注入的载流子密度就会越大, T激子增多, 导致STT越弱. 此外, 我们还测试了三种Rubrene型OLED的电流-发光强度(I - B)曲线, 如图2(d)所示. 可以明显看出, 随着掺杂 Ir(ppy)_3 浓度的增大, 器件的发光强度越强.

3.3 高温环境下器件的MEL和EL随温度的变化

考虑到上述MEL线型变化中的STT与ISC过程对温度的敏感程度不同, 我们测试了高温环境下掺杂 Ir(ppy)_3 浓度为5%和50%的器件在50 μA 电流密度下的MEL随温度的变化. 如图3(a)所示, 掺杂 Ir(ppy)_3 浓度为5%的器件在300–420 K范围内的MEL均表现为STT特

征线型. 但是继续升温至440 K, MEL出现了线型转变, 其特征线型由STT转变成ISC, 插图为440 K时MEL的局部放大图. 当掺杂 Ir(ppy)_3 浓度达到50%, MEL的特征线型由STT转变为ISC对应的温度提高到480 K, 如图3(b)所示. 众所周知, MEL线型的转变说明器件的微观机制发生了改变^[25]. 根据文献报道, 高温环境容易引起Rubrene结构发生变化^[26], 且纯Rubrene器件(掺杂 Ir(ppy)_3 浓度为0%)在高温下, MEL的特征线型由STT转变为ISC所对应的温度为420 K^[27]. 对比发现, 掺杂 Ir(ppy)_3 能有效增强Rubrene型OLED的耐热性能, 并且掺杂浓度越高, 其耐热性能越好. 此外, 我们还测量了器件的EL随温度的变化, 如图3(c)和(d)所示. 不同温度下器件的EL均与Rubrene的EL一致^[22], 说明环境温度以及掺杂浓度对器件的发光峰位无明显影响.

3.4 表面形貌

我们使用光学显微镜观察了不同温度下掺杂 Ir(ppy)_3 浓度为5%和50%的器件的表面形貌. 室温时不同掺杂浓度的器件表面都是均匀分布的, 如图4(a)和(b)所示. 升温后器件的表面均出现了形貌变化, 有机材料聚集成多处云团状结构. 当升温达到有机材料

图 3 (网络版彩图)器件的MEL随温度的变化((a) $x=5\%$; (b) $x=50\%$). 器件的EL随温度的变化((c) $x=5\%$; (d) $x=50\%$)

Figure 3 (Color online) MEL responses at different temperatures ((a) $x=5\%$; (b) $x=50\%$). EL spectra of the device at different temperatures ((c) $x=5\%$; (d) $x=50\%$).

图 4 (网络版彩图)器件的表面形貌. (a) $x=5\%$, 300 K; (b) $x=50\%$, 300 K; (c) $x=5\%$, 420 K; (d) $x=50\%$, 480 K
Figure 4 (Color online) Surface morphology of devices. (a) $x=5\%$, 300 K; (b) $x=50\%$, 300 K; (c) $x=5\%$, 420 K; (d) $x=50\%$, 480 K.

的玻璃转换温度后, 有机材料会产生缺陷形成陷阱. 这些缺陷和陷阱容易成为极化子对和激子的诱捕点, 影响极化子对和激子的扩散与相互作用, 最终引起MEL发生改变^[26].

3.5 微观机制讨论

器件内部的微观机制如图5所示. 荧光材料Rubrene的HOMO能级(-5.4 eV)与LOMO能级(-3.2 eV)被完全包含在磷光材料Ir(ppy)₃的HOMO能级(-5.6 eV)与LOMO能级(-3.0 eV)中, 且两者之间的能级差仅为0.2 eV, 有利于Rubrene的电荷捕获过程. 当电子和空穴在偏压的作用下分别从阴极和阳极注入器件后, 根据自旋理论, 电子和空穴复合形成单重态极化子对(PP^1)和三重态极化子对(PP^3), 两者占比分别为25%和75%, 接着进一步形成对应的 S_1 激子和 T_1 激子^[28]. 对于Ir(ppy)₃来说, 受到重金属原子Ir的影响, 其电子的自旋轨道会发生耦合. Ir(ppy)₃的 S_1 激子与 T_1 激子的能级接近, 它们之间较容易发生ISC过程, 使得Ir(ppy)₃的 S_1 激子转化为 T_1 激子. 更重要的是, Ir(ppy)₃的 T_1 激子能量约为2.4 eV, 比Rubrene的 S_1 激子(2.2 eV)能级略高, 这为它们之间发生能量转移提供了先决条件^[23,29]. 通过分

析图1(d)与图3(c)和(d)中的EL不难发现, 无论在室温环境还是高温环境下, 掺杂Ir(ppy)₃器件的EL中只出现了Rubrene的特征峰位, 而无Ir(ppy)₃的特征峰位, 说明Ir(ppy)₃与Rubrene之间发生了有效的Focster能量转移, 磷光材料Ir(ppy)₃不发光.

对于Rubrene来说, 发光来自其 S_1 激子退激辐射. 产生 S_1 激子的渠道主要有3个: (1) Rubrene自身电荷捕

图 5 (网络版彩图)器件的微观机制
Figure 5 (Color online) Microscopic mechanism diagram of the device.

获直接转化成 S_1 激子; (2) 由TTA过程形成的二次 S_1 激子. 但由于TTA为放热过程, 高温环境会抑制TTA的发生, 因此TTA对 S_1 激子的贡献极小; (3) 来自磷光材料 Ir(ppy)_3 的Focster能量转移. 掺杂 Ir(ppy)_3 的浓度直接影响着Rubrene的 S_1 激子的数量. 当未掺杂 Ir(ppy)_3 时 ($x=0\%$), Rubrene中 S_1 激子仅由自身电荷捕获产生, 器件的发光较弱. 当 $x=5\%$ 时, Ir(ppy)_3 的能量全部转移到Rubrene的 S_1 激子, 使得器件中 S_1 激子数量增加, 器件的发光增强. 此时Rubrene中STT过程的占比减少, MEL幅值有所下降. 进一步加大掺杂浓度, 当 $x=50\%$ 时, Rubrene中 S_1 激子数量进一步增加, 器件的发光进一步增强. 由于 Ir(ppy)_3 掺杂比例增大, 重金属Ir使得 Ir(ppy)_3 内部自旋轨道耦合效应也随之增强, S_1 激子翻转到 T_1 激子的ISC过程占比也增大, 所以室温时MEL在低磁场范围内表现出了ISC过程的特征线型, 如图2(c)所示. 器件中 Ir(ppy)_3 占比增大, 削弱了Rubrene中STT过程, 同时增大的Rubrene分子间距, 进一步削弱了STT过程, 所以导致MEL的幅值大大降低.

如图6所示, 高温环境下随着掺杂 Ir(ppy)_3 浓度的增加, 器件的MEL特征线型出现由STT向ISC转变, 所对应的温度也有所升高, 并且在不同掺杂 Ir(ppy)_3 浓度下, $\text{MEL}_{300\text{ mT}}$ 的幅值随温度的变化均表现为先增加后降低的趋势, 且幅值下降拐点处所对应的温度随着掺杂浓度的增加而升高. 这是因为Rubrene型OLED内部机制以Rubrene的STT为主, 而STT为吸热过程, 因此随着环境温度增加STT过程表现出增强的趋势. 但是随着温度进一步升高, 达到有机材料的玻璃转换温度

图6 (网络版彩图) x 为0%, 5%, 50%时MEL的转变温度

Figure 6 (Color online) The transition temperature of MEL when x is 0%, 5%, and 50%, respectively.

后, 器件内部会产生大量陷阱^[25]. 这些陷阱会阻碍载流子和激子的输运, 导致发生在激子间的STT过程受到抑制^[26]. 此时在重金属Ir作用下, 极化子对间的ISC过程就被突显出来, 所以器件的MEL线型出现由STT向ISC转变的现象, 同时MEL幅值也大幅度降低.

4 结论

我们利用磁电致发光效应研究了高温环境中掺杂 Ir(ppy)_3 的Rubrene型OLED的光-电-磁性能及激子演化过程. 研究发现, 掺入磷光材料 Ir(ppy)_3 能有效增强器件的光电性能, 同时还能提高器件的耐热性能. 本实验不仅加深了对高温环境下Rubrene型OLED性能及微观机制的认识, 同时也为增强Rubrene型OLED的热稳定性提供了一种新方法.

参考文献

- Liu Y, Li C, Ren Z, et al. All-organic thermally activated delayed fluorescence materials for organic light-emitting diodes. *Nat Rev Mater*, 2018, 3: 18020
- Engmann S, Barito A J, Bittle E G, et al. Higher order effects in organic LEDs with sub-bandgap turn-on. *Nat Commun*, 2019, 10: 227
- Korshunov V M, Chmiovzh T N, Knyazeva E A, et al. A novel candle light-style OLED with a record low colour temperature. *Chem Commun*, 2019, 55: 13354–13357
- Chen Q, Jia W, Chen L, et al. Determining the origin of half-bandgap-voltage electroluminescence in bifunctional rubrene/ C_{60} devices. *Sci Rep*, 2016, 6: 25331
- 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
- Matsushima T, Bencheikh F, Komino T, et al. High performance from extraordinarily thick organic light-emitting diodes. *Nature*, 2019, 572: 502–506
- Kaji H, Suzuki H, Fukushima T, et al. Purely organic electroluminescent material realizing 100% conversion from electricity to light. *Nat*

- [Commun](#), 2015, 6: 8476
- 8 Yersin H, Mataranga-Popa L, Czerwieniec R, et al. Design of a new mechanism beyond thermally activated delayed fluorescence toward fourth generation organic light emitting diodes. [Chem Mater](#), 2019, 31: 6110–6116
 - 9 Guo X, Yuan P, Qiao X, et al. Mechanistic study on high efficiency deep blue AIE-based organic light-emitting diodes by magneto-electroluminescence. [Adv Funct Mater](#), 2020, 30: 1908704
 - 10 Nagata R, Nakanotani H, Potsavage Jr. W J, et al. Exploiting singlet fission in organic light-emitting diodes. [Adv Mater](#), 2018, 30: 1801484
 - 11 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
 - 12 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
 - 13 Ling Y, Lei Y, Zhang Q, et al. Large magneto-conductance and magneto-electroluminescence in exciplex-based organic light-emitting diodes at room temperature. [Appl Phys Lett](#), 2015, 107: 213301
 - 14 Kirch A, Fischer A, Liero M, et al. Experimental proof of Joule heating-induced switched-back regions in OLEDs. [Light Sci Appl](#), 2020, 9: 5
 - 15 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
 - 16 Pan R, Tang X, Hu Y, et al. Extraordinary magnetic field effects mediated by spin-pair interaction and electron mobility in thermally activated delayed fluorescence-based OLEDs with quantum-well structure. [J Mater Chem C](#), 2019, 7: 2421–2429
 - 17 Wang F J, Bässler H, Valy Vardeny Z. Magnetic field effects in π -conjugated polymer-fullerene blends: Evidence for multiple components. [Phys Rev Lett](#), 2008, 101: 236805
 - 18 Zhang L, Cheah K W. Thermally activated delayed fluorescence host for high performance organic light-emitting diodes. [Sci Rep](#), 2018, 8: 8832
 - 19 Chen L, Lei Y, Zhang Q, et al. Magnetic field dependence of photocurrent in thermally evaporated rubrene-based devices. [Appl Phys Lett](#), 2018, 112: 153301
 - 20 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
 - 21 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
 - 22 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
 - 23 Qu F, Jia W, Zhu H, et al. Enhanced electroluminescence efficiency using reverse intersystem crossing induced by the strong triplet fusion of rubrene as a sensitizer. [J Phys Chem C](#), 2020, 124: 9451–9459
 - 24 van Reenen S, Kersten S P, Wouters S H W, et al. Large magnetic field effects in electrochemically doped organic light-emitting diodes. [Phys Rev B](#), 2013, 88: 125203
 - 25 Zhu H, Jia W, Tang X, et al. Trap-enhanced intersystem crossing in tris(8-hydroxyquinoline) aluminum-based organic light-emitting diodes via *in situ* heating. [J Phys Chem C](#), 2020, 124: 3218–3223
 - 26 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
 - 27 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 [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]
 - 28 Deng J, Jia W, Chen Y, et al. Guest concentration, bias current, and temperature-dependent sign inversion of magneto-electroluminescence in thermally activated delayed fluorescence devices. [Sci Rep](#), 2017, 7: 44396
 - 29 Vadagaonkar K S, Yang C J, Zeng W H, et al. Triazolopyridine hybrids as bipolar host materials for green phosphorescent organic light-emitting diodes (OLEDs). [Dyes Pigments](#), 2019, 160: 301–314

The optical-electro-magnetic properties and exciton evolution process of Ir(ppy)₃ doped rubrene-based organic light-emitting diode in high temperature environment

ZHU HongQiang², QU FenLan¹, JIA WeiYao¹, TANG XianTong¹, ZHAO Xi¹,
MA CaiHong¹, WANG Ying¹, YE ShengNan¹, TU LinYao¹ & XIONG ZuHong^{1*}

¹ School of Physical Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

² College of Physics and Electronic Engineering, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China

An organic light-emitting diode (OLED) based on rubrene doped with Ir(ppy)₃ was fabricated, and the magneto-electroluminescence (MEL) was used to analyze the optical-electric-magnetic properties and the exciton evolutions of the device under high temperature environment. The study finds that the light emission of the device comes from rubrene. Ir(ppy)₃ does not emit light, and its energy is completely transferred to Rubrene. The high temperature causes traps in the device, which hinders the diffusion and interaction of polaron pairs and excitons, causing the characteristic line of MEL to change from singlet exciton splitting to intersystem crossing. Through spin-orbit coupling and energy transfer, doping Ir(ppy)₃ can effectively enhance the optoelectronic performance and heat resistance of the OLED based on rubrene. This research not only deepens the understanding of the optical-electrical-magnetic properties and micro-mechanism of the OLED based on rubrene under high-temperature environments, but also provides a new method for enhancing the thermal stability of the device.

organic light-emitting diode, high temperature, magnetic field effect

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

doi: [10.1360/SSPMA-2020-0337](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2020-0337)