

离子型黄光铱磷光配合物的合成、结构及光物理性能研究

陈 力^{1,2}, 晏彩先², 常桥稳^{1,2}, 胡昌义^{1,2}

(1. 昆明理工大学 材料科学与工程学院, 昆明 650093;

2. 昆明贵金属研究所 稀贵金属综合利用新技术国家重点实验室, 昆明 650106)

摘 要: 设计合成了一种新的离子型铱配合物 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$, 该配合物以 2-(3,5-二甲基苯基)-4-甲基喹啉为主配体, 4,4'-二叔丁基-2,2'-联吡啶为辅助配体, 六氟磷酸根为阴离子。通过核磁共振谱($^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$)、质谱(MS)、单晶 X 射线衍射(XRD)确认了配合物的化学结构, 采用光致发光光谱(PL)和紫外可见光谱(UV-Vis)对其光物理性能进行了研究。结果表明, 该配合物为单斜晶系, 空间群为 $C2/c$; 配合物在二氯甲烷溶液中的最大发射波长为 579 nm, 为典型的黄光发射离子型铱磷光配合物。

关键词: 铱磷光配合物; 离子型; 合成; 结构; 光物理性能

中图分类号: O627.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2018)04-0018-07

Synthesis, Structure and Photophysical Property of a Yellow Ionic Iridium Phosphorescent Complex

CHEN Li^{1,2}, YAN Caixian², CHANG Qiaowen^{1,2}, HU Changyi^{1,2}

(1. Faculty of Material Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. State Key Laboratory of Advanced Technologies for Comprehensive Utilization of Precious Metals,

Kunming Institute of Precious Metals, Kunming 650106, China)

Abstract: A new ionic iridium phosphorescent complex $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$ was designed and synthesized with 2-(3,5-dimethylphenyl)-4-methylquinoline as the main ligand, 4,4'-di-tert-butyl-2,2'-bipyridine as ancillary ligand, and PF_6^- as anion. The chemical structure of the complex was confirmed by $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$, MS, IR, and single X ray diffraction(XRD). Its photophysical properties were studied by photoluminescence and ultraviolet-visible absorption. XRD studies revealed that the complex belongs to monoclinic system with space group of $C2/c$. In CH_2Cl_2 solution, the iridium complex exhibit yellow emission with a maximum emission peak at 579 nm.

Key words: iridium phosphorescent complex; ionic type; synthesis; structure; photophysical property

近年来, 铱磷光配合物已经发展成为性能最优异的电致发光材料^[1-2], 主要包括中性铱磷光配合物和离子型铱磷光配合物两大类。中性铱磷光配合物已经在 OLED 产业中得到了应用, 同时离子型铱磷光配合物在电致发光、催化反应、化学传感、细胞成像等方面也有着很好的应用前景^[3-7], 尤其是在发

光电化学池(LEC)中备受关注^[8-9]。

离子型铱磷光配合物具有较高的发光效率、良好的热稳定性、连续可逆的氧化还原性质、较长的激发态寿命、发光颜色易调节、制备工艺简单和提纯方便等优势成为有机光电分子材料中的明星分子。但离子型铱配合物存在浓度淬灭引起的发光效

率较低, 发光分子容易与亲核试剂相互交换, 产生新的淬灭物质, 进一步降低器件的稳定性, 这些因素制约了其在电致发光领域的应用。因此, 设计合成新型离子型铱磷光配合物仍具有重要的意义。如何设计能够满足电致发光领域使用要求的离子型铱磷光配合物至关重要。中性铱配合物的激发态是 MLCT 态, 通常寿命相对较短。离子型铱配合物中铱的电子云密度更低, 更加难以被氧化, 配合物的激发态相对复杂, 可归属于 $^3\text{MLCT}$ 和 ^3LC 二者混合的激发态。

大量研究表明, 配体的结构对铱配合物的分子前线轨道分布等性质影响很大, 从而影响铱配合物的发光颜色和发光强度^[10-16]。苯基喹啉类中性铱磷光配合物作为一类高效的红光发射铱磷光配合物, 在 OLED 得到了深入的研究和应用^[17-18]。然而, 基于苯基喹啉类的离子型铱磷光配合物的研究较少。为了得到性能更优异的离子型铱磷光配合物, 本文设计了一个新的离子型铱磷光配合物(图 1), 配阳离子中主配体是 3,5-二甲基苯基-4-甲基喹啉, 辅助配体是 4,4'-二叔丁基-2,2'-联吡啶, 阴离子为六氟磷酸根, 并测试表征所合成配合物的结构、热稳定性及光物理性能。

1 实验

1.1 试剂与仪器

水合三氯化铱($\omega(\text{Ir}) \geq 54\%$)由贵研铂业股份有限公司提供; 无水乙醇、二氯甲烷、丙酮、乙二醇单乙醚和甲醇均为分析纯, 购自西陇化工股份有限公司; 分析纯 3,5-二甲基苯基-4-甲基喹啉为昆明贵金属研究所提供; 分析纯无水碳酸钠购自天津市化学试剂一厂; 柱层硅胶(200~300 目)购自烟台化学工业研究所。核磁共振谱($^1\text{H-NMR}$ 和 $^{13}\text{C-NMR}$)在 Bruker DRX-500 核磁共振仪上测试, 质谱在 ATI-QSTAR 型质谱仪上测试, 红外光谱在 FTS-135 型红外光谱仪上测试, 晶体结构在 Bruker SMART

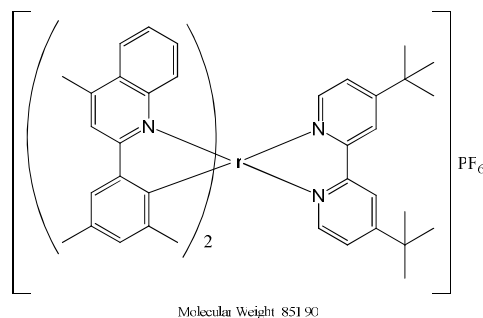


图 1 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbp})]\text{PF}_6$ 的化学结构

Fig.1 Chemical structure of $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbp})]\text{PF}_6$

APEX CCD 型单晶 X 衍射仪(XRD)上测试, 紫外可见光谱(UV-Vis)在 Carry 50 Bio 型紫外可见分光光度计上测试, 光致发光光谱(PL)在 F-7000 荧光分光光度计上测试。

1.2 离子型铱磷光配合物的合成与纯化

称取水合三氯化铱(5 g, 14 mmol)、3,5-二甲基苯基-4-甲基喹啉(10.39 g, 42 mmol)置于 1000 mL 三颈圆底烧瓶, 加入 300 mL 乙二醇单乙醚、100 mL 二次去离子水(乙二醇单乙醚和水体积比为 3:1), 加热回流反应 24 h。冷却后过滤, 依次用水、丙酮洗涤, 得到红色的铱氯桥二聚体 9.28 g, 收率 92%。

将上述制备得到的铱氯桥二聚体(5 g, 3.47 mmol)和 4,4'-二叔丁基-2,2'-联吡啶(1.86 g, 6.94 mmol)置于 500 mL 三颈圆底烧瓶中, 加入 200 mL 二氯甲烷和 100 mL 甲醇, 氩气保护下, 加热回流反应 4 h。冷至室温后, 加入六氟磷酸钾(1.28 g, 6.94 mmol)反应 1 h, 过滤、浓缩滤液, 用二氯甲烷溶解得到的固体, 在硅胶柱上快速过柱, 旋转蒸发除去二氯甲烷溶液。进一步用二氯甲烷和正己烷混合溶剂重结晶得到黄色固体 5.76 g, 收率 87%。

2 结果与讨论

2.1 配合物的合成

图 2 为配合物的合成路线图。

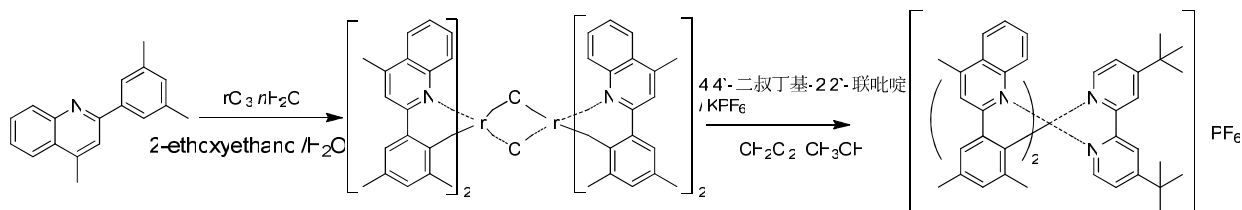


图 2 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbp})]\text{PF}_6$ 的合成路线

Fig.2 Synthesis route of $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbp})]\text{PF}_6$

以水合三氯化铱为原料、以 3,5-二甲基苯基-4-甲基喹啉为环金属配体,在乙二醇单乙醚和水(体积比为 3:1)混合溶剂中加热回流反应得到二(3,5-二甲基苯基-4-甲基喹啉)氯化铱二聚体,然后再和 4,4'-二叔丁基-2,2'-联吡啶在甲醇和二氯甲烷混合溶剂中加热回流反应,冷至室温,加入六氟磷酸钾,即

得到离子型黄光铱磷光配合物。

2.2 配合物的结构表征

2.2.1 红外光谱

产物经 KBr 压片,测试其红外光谱,结果如图 3 所示。

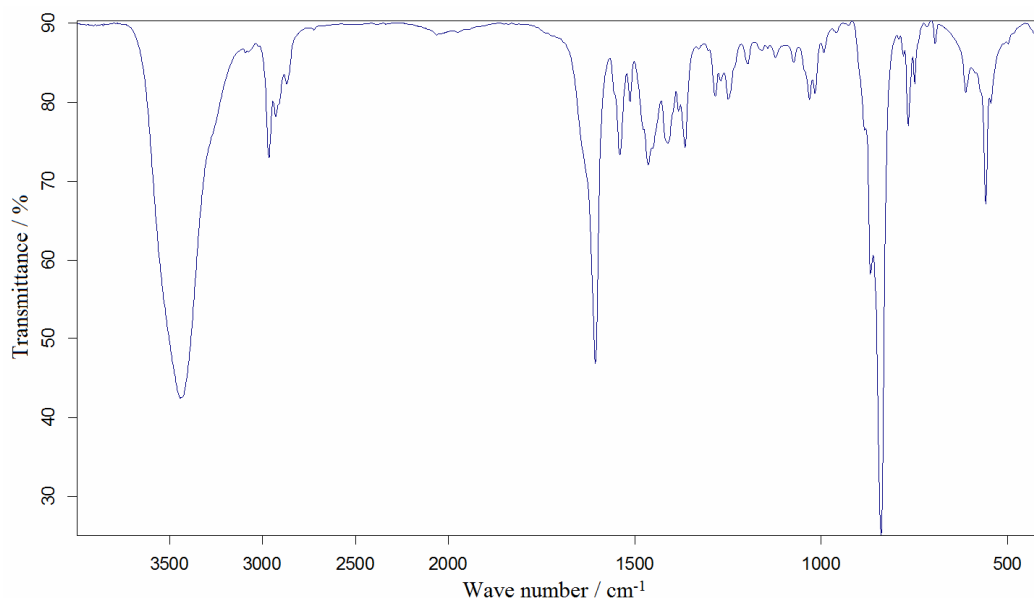


图 3 [Ir(dmpmq)₂(dtbpy)]PF₆ 的红外光谱 Fig.3 IR of [Ir(dmpmq)₂(dtbpy)]PF₆

图 3 中, 1452、1464、1476、1513、1540 和 1606 cm⁻¹ 处的吸收峰可归属于苯环 C=C 的吸收谱带, 2928 和 2964 cm⁻¹ 归属于 Ar-H 伸缩振动, 1382 和 1411 cm⁻¹ 处的吸收峰归属于 C-H 收缩振动, 1031 和 1365 cm⁻¹ 归属于 C-N 收缩振动。766 cm⁻¹ 是苯环的间二取代, 839 cm⁻¹ 是苯环的对位取代, 红外光谱与 [Ir(dmpmq)₂(dtbpy)]PF₆ 的结构相吻合。

2.2.2 核磁共振谱

图 4 为配合物在 CDCl₃ 溶剂中测试得到的核磁共振氢谱。氢的化学位移($\delta/10^{-6}$)及归属为: 8.37 (t, 1H), 7.94 (s, 1H), 7.94~7.71 (m, 2H), 7.52~7.46 (m, 2H), 7.27~7.14 (m, 2H), 7.12 (d, 1H), 6.85 (t, 1H), 6.69 (s, 1H), 2.72 (s, 3H), 2.44 (s, 3H), 1.33~1.25 (m, 12H)。其中, δ 为 8.37、7.94~7.71、7.52~7.46 的信号峰归属于主配体 3,5-二甲基苯基-4-甲基喹啉上的质子信号峰; δ 为 2.72、2.44 的峰分别归属于主配体喹啉环上的甲基质子信号以及主配体 3,5-二甲基苯基上的甲基质子信号峰; δ 为 7.94、7.12 的峰则

归属于辅助配体 4,4'-二叔丁基-2,2'-联吡啶上的质子信号峰, δ 1.33~1.25 归属为辅助配体上的叔丁基甲基质子信号峰。综上, 配合物的氢谱中出现与 [Ir(dmpmq)₂(dtbpy)]PF₆ 的化学位移吻合的氢谱峰。

图 5 为配合物在 CDCl₃ 溶剂中测试得到的核磁共振碳谱。碳谱中出现了 24 组不同化学位移($\delta/10^{-6}$)的碳: 168.89, 164.10, 155.11, 147.85, 147.39, 147.09, 147.05, 145.11, 133.49, 132.60, 128.97, 126.84, 126.02, 125.21, 125.16, 124.65, 124.47, 118.86, 118.78, 35.38, 30.15, 22.98, 21.04 和 19.00, 与 [Ir(dmpmq)₂(dtbpy)]PF₆ 的结构相吻合。

2.2.3 质谱

图 6 为配合物的质谱图。[Ir(dmpmq)₂(dtbpy)]PF₆ 的分子量为 1098。该配合物在正离子轰击下不稳定, 没有出现分子离子峰; 谱图中 $m/z=953$ 的峰归属于 [Ir(dmpmq)₂(dtbpy)]⁺ 峰; $m/z=685$ 峰归属为 [Ir(dmpmq)₂]⁺ 峰。

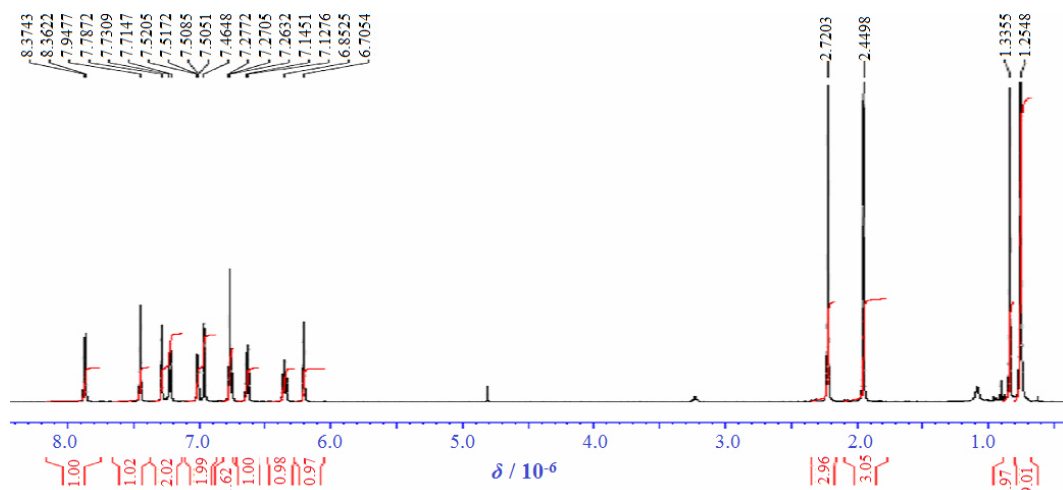


图 4 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$ 的核磁共振-氢谱 Fig.4 $^1\text{H-NMR}$ of $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$

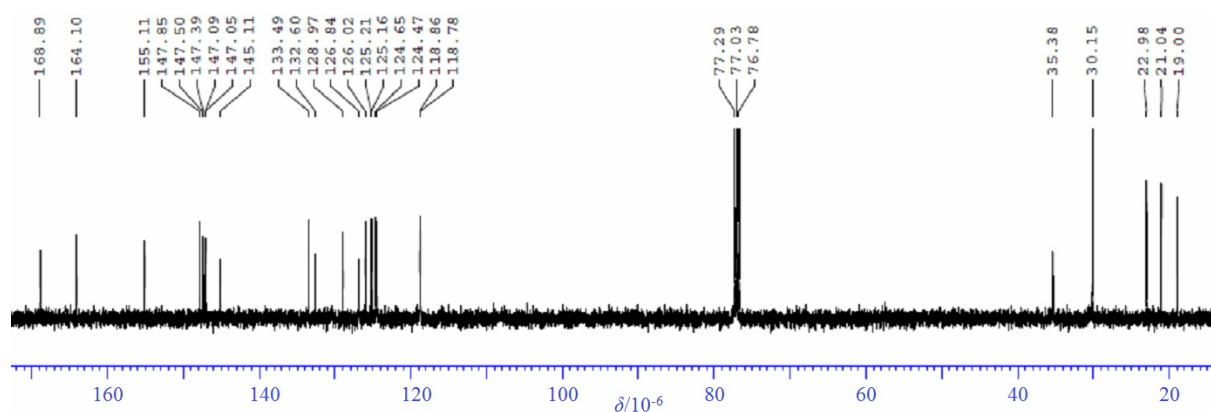


图 5 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$ 的核磁共振-碳谱 Fig.5 $^{13}\text{C-NMR}$ of $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$

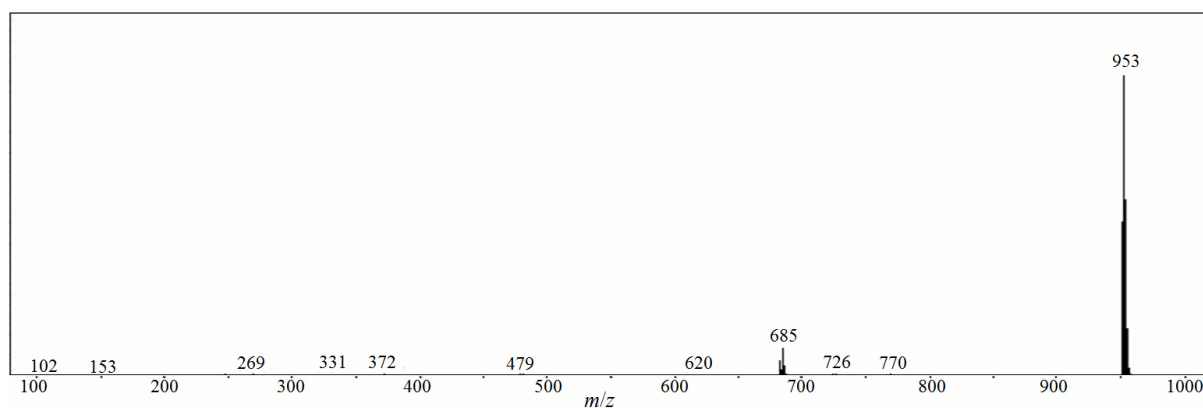


图 6 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$ 的质谱 Fig.6 Mass spectrum of $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$

2.2.4 晶体结构

将样品溶于二氯甲烷中,加入适量的无水乙醇,常压过滤,滤液置于室温中,随着二氯甲烷的缓慢挥发,培养出配合物的单晶。在 100(2)K 条件下,选取大小为 $0.980 \times 0.180 \times 0.130 \text{ mm}^3$ 的黄色透明晶体进行 XRD 表征。在 Bruker Smart 1000 CCD 面探

衍射仪上,用经石墨单色器单色化的 $\text{Mo K}\alpha$ 射线($\lambda = 0.071073 \text{ nm}$),采集 θ 在 $1.771^\circ \sim 31.111^\circ$ 范围内的衍射点 25935 个,其中独立衍射点为 6956 个($R_{\text{int}} = 0.0296$)。结构的衍射数据使用 SADABS 程序进行吸收校正。用 SHELXS-97 和 SHELXL-97 进行结构精修。配合物的晶体结构参数见表 1,主要键长键

角列于表 2 和表 3, 晶体结构见图 7。

表 1 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$ 的晶体结构参数

Tab.1 Crystal structure parameters of $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$

化学式	$\text{C}_{54}\text{H}_{56}\text{IrN}_4\cdot\text{F}_6\text{P}$	$\alpha/(\circ)$	90	θ 范围/ $(\circ)$	1.771~31.111
分子量	1098.19	$\beta/(\circ)$	101.2220(10)	h	$-18 \leq h \leq 19$
晶系	单斜(Monoclinic)	$\gamma/(\circ)$	90	k	$-31 \leq k \leq 30$
空间群	$C2/c$	V/nm^3	4.6854(10)	l	$-22 \leq l \leq 21$
a/nm	1.37761(14)	Z	4	GOF on F^2	1.116
b/nm	2.1908(2)	$D_c/(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.557	最终 R 指数 [$I > 2\sigma(I)$]	$R_1=0.0186, wR_2=0.0517$
c/nm	1.5827(2)	$F(000)$	2216	R 指数(all data)	$R_1=0.0211, wR_2=0.0526$

表 2 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$ 的主要键长

Tab.2 Selected bond lengths of $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$

化学键	$\text{Ir}(1)-\text{N}(1)$	$\text{Ir}(1)-\text{N}(2)$	$\text{Ir}(1)-\text{C}(12)$	$\text{Ir}(1)-\text{N}(1)\#1$	$\text{Ir}(1)-\text{N}(2)\#1$	$\text{Ir}(1)-\text{C}(12)\#1$
键长/nm	0.20829(15)	0.21905(14)	0.20223(16)	0.20829(15)	0.21905(14)	0.20224(16)

表 3 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$ 的主要键角

Tab.3 Selected bond angles of $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$

化学键	键角/ $(\circ)$	化学键	键角/ $(\circ)$	化学键	键角/ $(\circ)$
$\text{C}(12)-\text{Ir}(1)-\text{C}(12)\#1$	95.52(9)	$\text{N}(2)-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)\#1$	74.61(7)	$\text{N}(1)\#1-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)$	96.71(5)
$\text{C}(12)\#1-\text{Ir}(1)-\text{N}(1)$	101.20(6)	$\text{C}(9)-\text{N}(1)-\text{Ir}(1)$	128.76(11)	$\text{C}(12)\#1-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)\#1$	94.97(6)
$\text{C}(12)\#1-\text{Ir}(1)-\text{N}(1)\#1$	79.39(6)	$\text{C}(19)-\text{N}(2)-\text{Ir}(1)$	125.74(11)	$\text{N}(1)\#1-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)\#1$	82.60(5)
$\text{C}(12)-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)$	94.97(6)	$\text{C}(12)-\text{Ir}(1)-\text{N}(1)$	79.39(6)	$\text{C}(1)-\text{N}(1)-\text{Ir}(1)$	112.14(11)
$\text{N}(1)-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)$	82.60(5)	$\text{C}(12)-\text{Ir}(1)-\text{N}(1)\#1$	101.20(6)	$\text{C}(19)-\text{N}(2)-\text{C}(23)$	117.24(14)
$\text{C}(12)-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)\#1$	169.34(6)	$\text{N}(1)-\text{Ir}(1)-\text{N}(1)\#1$	179.14(7)	$\text{C}(23)-\text{N}(2)-\text{Ir}(1)$	117.02(11)
$\text{N}(1)-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)\#1$	96.71(5)	$\text{C}(12)\#1-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)$	169.34(6)	—	—

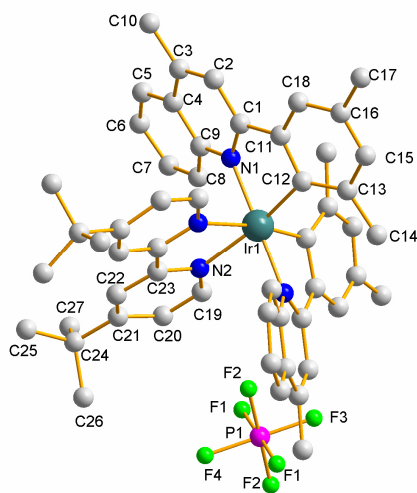


图 7 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$ 的分子结构图(注:省略氢原子)

Fig.7 Molecular structure of $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$

(note: Hydrogen atoms are omitted)

由图 7 可以看出, 配合物呈八面体构型, 三价铱处于八面体的中心位置, 分别与 2 个 3,5-二甲基苯基-4-甲基喹啉中的氮原子和碳原子、4,4'-二叔丁基-2,2'-联吡啶中的 2 个氮原子配位形成六配位的八面体配合物。该配合物为单斜晶系, 空间群为 $C2/c$, Ir-C 键的平均键长为 0.202235 nm, 环金属配体中 Ir-N 键的平均键长为 0.20829(15) nm, 辅助配体中 Ir-N 键的平均键长为 0.21905(14) nm, 辅助配体中的 Ir-N 键比环金属配体中的 Ir-N 键更长, 导致了更容易发生亲核取代反应^[17]。另外, 在该配合物中, $\text{C}(12)-\text{Ir}(1)-\text{N}(1)$ 和 $\text{C}(12)\#1-\text{Ir}(1)-\text{N}(1)\#1$ 的键角均为 $79.39(6)^\circ$, $\text{N}(1)-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)$ 的键角为 $82.60(5)^\circ$, 这些键角偏离 90° ; $\text{N}(1)-\text{Ir}(1)-\text{N}(1)\#1$ 的键角为 $179.14(7)^\circ$, $\text{C}(12)\#1-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)$ 和 $\text{C}(12)-\text{Ir}(1)-\text{N}(2)\#1$ 的键角均为 $169.34(6)^\circ$, 这些键角偏离 180° 。这些都说明铱原子位于一个畸变的八面体中心, 与图 7 中观

察到的结构完全吻合。

2.3 配合物的光物理性能

图8给出了配合物在二氯甲烷中的紫外可见光谱和光致发光光谱。由紫外可见光谱图可以看出配合物在二氯甲烷溶液中出现了3个明显的特征吸收峰,其中波长在279 nm处的吸收峰可归属于2-(3,5-二甲基苯基)-4-甲基喹啉和4,4'-二叔丁基-2,2'-联吡

啶配体的单线态跃迁,波长在347和453 nm处的吸收峰归属于金属铱和配体间的电荷转移态跃迁($^1\text{MLCT}$ 和 $^3\text{MLCT}$),表明中心金属铱有很强的自旋耦合,实现单重态和三重态的混合,有利于提高铱磷光配合物的发光效率。由光致发光光谱图可以看出,配合物的最大发射波长为579 nm,为典型的黄光离子型铱磷光配合物。

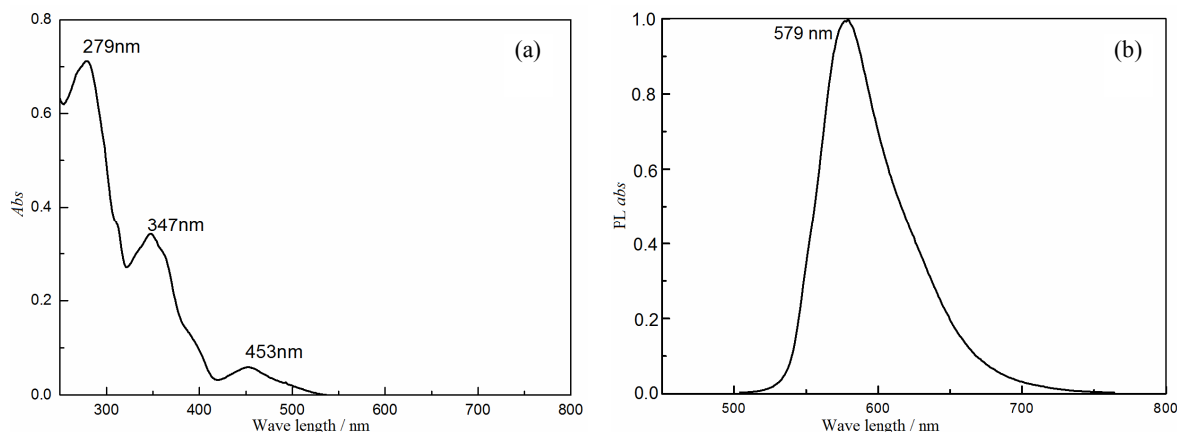


图8 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$ 的紫外可见光谱(a)和光致发光光谱(b)

Fig.8 UV-Vis absorption spectrum(a) and photoluminescence spectrum(b) of $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$

3 结论

本文合成了一种新的离子型铱配合物,采用核磁共振谱、红外光谱和质谱确证了配合物为 $[\text{Ir}(\text{dmpmq})_2(\text{dtbpy})]\text{PF}_6$,并获得了产物的晶体结构参数。配合物在279、347和453 nm处出现了特征吸收峰,分别归属于环金属配体间单线态跃迁,金属铱和配体间的电荷转移态跃迁($^1\text{MLCT}$ 和 $^3\text{MLCT}$),实现了单重态和三重态的混合,可以实现高效的磷光发射。配合物的最大光致发光发射波长在579 nm处,是一种典型的黄光发射离子型铱配合物。

参考文献:

- [1] LAMANSKY S, DJUROVICH P, MURPHY D, et al. Synthesis and characterization of phosphorescent cyclometalated iridium complexes[J]. *Inorganic chemistry*, 2001, 40(7): 1704-1711.
- [2] LAMANSKY S, DJUROVICH P, MURPHY D, et al. Highly phosphorescent bis-cyclometalated iridium complexes: Synthesis, photophysical characterization, and use in organic light emitting diodes[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2001, 123(18): 4304-4312.
- [3] DAI P, MA J, HUANG W, et al. Photoredox C-F quaternary annulations catalyzed by a strongly reducing iridium species[J]. *ACS catalysis*, 2018(8): 802-806.
- [4] CENSO D D, FANTACCI S, ANGELIS F D, et al. Synthesis, characterization, and DFT/TD-DFT calculations of highly phosphorescent blue light-emitting anionic iridium complexes[J]. *Inorganic chemistry*, 2008, 47(3): 980-989.
- [5] SU H, CHEN H, FANG F, et al. Solid-state white light-emitting electrochemical cells using iridium-based cationic transition metal complexes[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2008, 130(11): 3413-3419.
- [6] LÜ W, ZHANG Z, ZHANG K Y, et al. A mitochondria-targeted photosensitizer showing improved photodynamic therapy effects under hypoxia[J]. *Angewandte chemie international edition*, 2016, 55(34): 9947-9951.
- [7] LO K K W, CHUNG C K, LEE T K M, et al. New luminescent cyclometalated iridium(III) diimine complexes as biological labeling reagents [J]. *Inorganic chemistry*, 2003, 42(21): 6886-6897.
- [8] SLINKER J D, RIVNAY J, MOSKOWITZ J S, et al. Electroluminescent devices from ionic transition metal

- complexes[J]. Journal of material chemistry, 2007, 17(29): 2976-2988.
- [9] SU H C, CHEN H F, FANG F C, et al. Solid-state white light-emitting electrochemical cells using iridium-based cationic transition metal complexes[J]. Journal of the American Chemical Society, 2008, 130(11): 3413-3419.
- [10] NEVE F, DEDA M L, CRISPINI A, et al. Cationic cyclometalated iridium luminophores: photophysical, redox, and structural characterization[J]. Organometallics, 2004, 23(24): 5856-5863.
- [11] FERNANDEZ H J M, YANG C H, BELTRAN J I, et al. Control of the mutual arrangement of cyclometalated ligands in cationic iridium(III) complexes. Synthesis, spectroscopy, and electroluminescence of the different isomers [J]. Journal of the American Chemical Society, 2011, 133(27): 10543-10558.
- [12] SU H C, FANG F C, HWU T Y, et al. Highly efficient orange and green solid-state light-emitting electrochemical cells based on cationic Ir^{III} complexes with enhanced steric hindrance[J]. Advanced functional materials, 2007, 17(6): 1019-1027.
- [13] COSTA R D, ORTI E, BOLINK H J, et al. Archetype cationic iridium complexes and their use in solid-state light-emitting electrochemical cells[J]. Advanced functional materials, 2009, 19(21): 3456-3463.
- [14] ZHAO Q, LIU S J, SHI M, et al. Series of new cationic iridium(III) complexes with tunable emission wavelength and excited state properties: Structures, theoretical calculations, and photophysical and electrochemical properties[J]. Inorganic chemistry, 2006, 45(16): 6152-6160.
- [15] ZENG X, TAVASLI M, PEREPICHKA I F, et al. Cationic bis-cyclometallated iridium(III) phenanthroline complexes with pendant fluorenyl substituents: Synthesis, redox, photophysical properties and light-emitting cells[J]. Chemistry - A European journal, 2008, 14(3): 933-943.
- [16] 晏彩先, 常桥稳, 李杰, 等. 蓝光铱配合物的合成、结构表征及光物理性能测试[J]. 贵金属, 2016, 37(2): 13-18.
- YAN C X, CHANG Q W, LI J, et al. Synthesis, characterization and light-physical property of blue phosphorescent iridium complexes[J]. Precious metals, 2016, 37(2): 13-18.
- [17] EVANS R C, DOUGLAS P, WINSOM C J, et al. Coordination complexes exhibiting room-temperature phosphorescence: Evaluation of their suitability as triplet emitters in organic light emitting diodes [J]. Coordination chemical review, 2006, 250(15): 2093-2126.
- [18] XIAO L X, CHEN Z J, QU B, et al. Recent progresses on materials for electrophosphorescent organic light-emitting devices[J]. Advanced materials, 2011, 23(8): 926-952.

本刊声明

《贵金属》已加入科技期刊学术不端文献检测系统 (AMLC), 根据严重疑似学术不端文献 (ALM) 的判定标准:

- (1) 本文与发表在前的且本文未注明引用的其他文献的文字重合度大于 40%。
- (2) 一稿多发稿件中第一次发表以后重复发表的稿件, 包括同一作者改动已经发表的文献再次投稿发表的文章, 其改动部分少于 10%。

经系统检测, 对存在严重抄袭的稿件, 本刊将予以退稿处理。

凡本刊登载的文章, 将同时被中国知网、万方数据-数字化期刊群、维普中文科技期刊数据库和超星期刊域出版平台等全文收录, 并供本刊授权和合作媒体使用, 本刊支付的稿酬已包含作者著作使用费。作者向本刊投稿, 即视为同意将文章编入以上数据库。

投稿文稿需通过所在单位保密审查, 相关手续由作者自行办理。本刊不承担技术秘密被公开的责任。

《贵金属》编辑部

2018 年 11 月