

УДК 541(64+49):54.6.93

НОВЫЕ МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЛИГАНДЫ С БОКОВЫМИ ПИРИДИЛ-ХИНОЛИНОВЫМИ ГРУППАМИ И ИХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ С ИРИДИЕМ¹

© 2011 г. М. Я. Гойхман, И. В. Подешво, Н. Л. Лорецян,
Т. Д. Ананьева, Р. Ю. Смыслов, Т. Н. Некрасова, М. А. Смирнов,
Е. Н. Попова, А. В. Якиманский

*Учреждение Российской академии наук
Институт высокомолекулярных соединений РАН
199004 Санкт-Петербург, Большой пр., 31*

Поступила в редакцию 10.02.2010 г.
Принята в печать 03.06.2010 г.

На основе метакрилоильного производного гидразида 2-пиридил-хинолин-4-карбоновой кислоты синтезированы сополимеры N-винилкарбазола и метилметакрилата с боковыми пиридил-хинолиновыми группами. Показано, что сополимеры образуют стабильные металлополимерные комплексы с $\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{Cl}$ (ppy – 2-фенилпиридин). Исследованы спектральные и фотолюминесцентные свойства металлополимерных комплексов.

Среди большого ряда комплексов переходных металлов с полимерами, содержащими органические лиганды в основной цепи или в боковых группах, повышенный интерес исследователей привлекают металлополимерные комплексы на основе иридия.

В литературе комплексы иридия(III) принято разделять на два класса. К первому относят нейтральные комплексы, содержащие циклометаллированные фрагменты [1]. Эти соединения обладают высоким квантовым выходом люминесценции и являются перспективными для изготовления высокоэффективных электролюминесцентных приборов. К другому классу относят катионные иридиевые комплексы с такими бидентатными лигандами, как, например, 2,2'-дипиридин, 1,10-фенантролин [2]. Их синтез осуществляют в более мягких условиях по сравнению с соединениями первой группы. Они также обладают хорошими фотофизическими свойствами, а ионный характер придает им достаточно высокую растворимость в полярных органических растворителях. Нам представлялось интересным получить металлополимерные катионные комплексы иридия

на полимерных матрицах, содержащих в качестве боковых групп новые лиганды – фрагменты 2-пиридил-хинолина. В данном случае полимерная матрица, содержащая структурные элементы, способные к координации с ионом металла, может служить полидентатным макролигандом, образующим полямерные металлокомплексы с регулируемыми свойствами.

Структура и свойства люминесцирующих комплексов иридия с низкомолекулярными лигандами (2-фенилпиридином, бипиридилем, терпиридилем) достаточно детально изучены [3–6]. В литературе описаны низкомолекулярные комплексы иридия, обладающие интенсивной люминесценцией в красной [7], синей [8] и зеленой [9] областях спектра. Отмечается, что важнейшей особенностью указанных соединений (в отличие от комплексов редкоземельных металлов) является зависимость положения полосы люминесценции от химической структуры лиганда. Это дает возможность “тонкой настройки” фотофизических свойств комплексов и позволяет получать соединения с прогнозируемыми характеристиками [10].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Очистка исходных соединений и растворителей

Изатин, 2-ацетилпиридин, гидразин-гидрат, метакрилоилхлорид, метилметакрилат (товарные продукты фирмы “Aldrich”) не подвергали допол-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 09-03-00408 и 09-03-121173-офи_м).

E-mail: goikhman@hq.macro.ru (Гойхман Михаил Яковлевич).

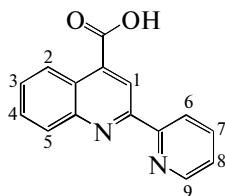
нительной очистке. Этанол сушили над гидридом кальция, очищали простой перегонкой ($T_{\text{кип}} = 78^\circ\text{C}$), ДМФА сушили над гидридом кальция, перегоняли под вакуумом ($T_{\text{кип}} = 55^\circ\text{C}$ при 3 мм рт. ст.).

Синтез двуйдерного иридиевого комплекса с 2-фенилпиридином $[\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{Cl}]_2$ проводили по методике [11].

Синтез 2-пиридил-хинолин-4-карбоновой кислоты по реакции Пфитцингера

В трехгорлую колбу емкостью 1 л, снабженную мешалкой и обратным холодильником, помещали 104 мл 33%-ного водного раствора КОН и 20 г (0.136 моля) изатина и перемешивали суспензию до полного растворения осадка. Затем в раствор добавляли 14.9 мл (0.124 моля) 2-ацетилпиридина и 104 мл этанола. Полученный раствор нагревали при кипении 12 ч, после чего охлаждали до комнатной температуры. Раствор разбавляли 200 мл воды, кипятили без обратного холодильника 30 мин для удаления этанола, охлаждали, трижды экстрагировали серным эфиром порциями по 200 мл, повторно кипятили 30 мин без обратного холодильника для удаления остатков серного эфира и подкисляли 10%-ной соляной кислотой до pH 5.

Выпавший осадок 2-пиридил-хинолин-4-карбоновой кислоты отфильтровывали, сушили, перекристаллизовывали из 200 мл этанола. Кристаллы белого цвета, $T_{\text{пл}} = 310^\circ\text{C}$, выход 21 г (62%).



Найдено, %: C 71.94; H 4.07; N 11.13; O 12.86.

Для $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$

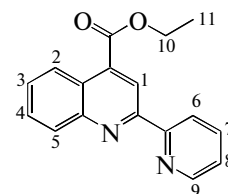
вычислено, %: C 71.99; H 4.03; N 11.19; O 12.79.

Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д.): 9.0 (с, 1H, H(1)), 8.78 (д, 2H, H(2), H(5)), 8.62 (д, 1H, H(9)), 8.2 (д, 1H, H(6)), 8.05 (т, 1H, H(3)), 7.85 (т, 1H, H(4)), 7.72 (т, 1H, H(8)), 7.55 (т, 1H, H(7)). Спектр ИК (ν , cm^{-1}): 3475 (O–H), 2062, 1696 (C=O), 1588, 1475 (C=C, аром.), 1280 (C–O), 757 (C–H).

Синтез этилового эфира 2-пиридил-хинолин-4-карбоновой кислоты

3.5 г (0.029 моля) 2-пиридил-хинолин-4-карбоновой кислоты растирали с 75 мл этилового спирта, насыщенного HCl (концентрация HCl

25%). При этом образовывалась трудно растворимая солянокислая соль 2-пиридил-хинолин-4-карбоновой кислоты, которая за 24 ч переходила в раствор. Этот раствор выпаривали при 60°C на плоской фарфоровой чашке. Остаток растворяли в воде и высаживали эфир, добавляя соду. Продукт кристаллизовывали из 20 мл этанола. Кристаллы белого цвета, $T_{\text{пл}} = 310^\circ\text{C}$, выход 3 г (77%).



Найдено, %: C 73.40; H 5.02; N 10.02; O 11.56.

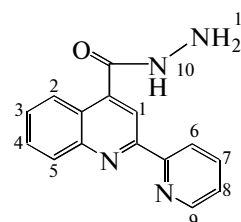
Для $\text{C}_{17}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_2$

вычислено, %: C 73.37; H 5.07; N 10.07; O 11.50.

Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д.): 9.0 (с, 1H, H(1)), 8.7 (д, 2H, H(2), H(5)), 8.65 (д, 1H, H(9)), 8.3 (д, 1H, H(6)), 8.1 (т, 1H, H(3)), 7.8 (т, 1H, H(4)), 7.68 (т, 1H, H(8)), 7.5 (т, 1H, H(7)), 1.3 (т, 3H, H(11)), 4.3 (к, 2H, H(10)). Спектр ИК (ν , cm^{-1}): 2066 (аром.), 1730 (C=O), 1586 (C=C, аром.), 1460 (C–H, метил.), 765 (C–H аром.).

Синтез гидразида 2-пиридил-хинолин-4-карбоновой кислоты

В одногорлую колбу емкостью 100 мл, снабженную обратным холодильником, помещали 13.9 г (0.05 моля) этилового эфира 2-пиридил-хинолин-4-карбоновой кислоты и 7.5 мл (0.15 моля) гидразингидрата. Суспензию нагревали на масляной бане в течение 40 ч при 105°C . По окончании нагревания осадок гидразида 2-пиридил-хинолин-4-карбоновой кислоты отфильтровывали на фильтре Шотта, тщательно отжимали и перекисталлизовывали из 300 мл воды. Кристаллы белого цвета. $T_{\text{пл}} = 301^\circ\text{C}$, выход 11 г (78%).



Найдено, %: C 68.19; H 4.56; N 21.19; O 6.06.

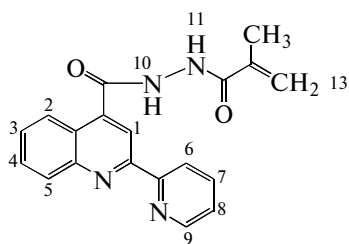
Для $\text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{N}_4\text{O}$

вычислено, %: C 68.17; H 4.58; N 21.20; O 6.05.

Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д.): 10.1 (с, 1H, H(10)), 8.85 (д, 1H, H(8)), 8.7 (д, 1H, H(9)), 8.6 (с, 1H, H(1)), 7.75–8.2 (м. 6H, H(2), H(3), H(4), H(5), H(6), H(7)), 4.75 (с, 1H, H(11)). Спектр ИК (ν , cm^{-1}): 3250 (N–H), 2066 (аром.), 1650 (C=O), 1586 (C=C, аром.), 765 (C–H аром.).

Синтез 1-метакрилоил-2-(2-пиридил-4-карбоксихинолил) гидразина

В двугорлую круглодонную колбу емкостью 100 мл, снабженную мешалкой, термометром и капельной воронкой, помещали 1.04 г (0.0039 моля) гидразида 2-пиридил-хинолин-4-карбоновой кислоты, 4 мл N-метилпирролидона и 0.8 мл триэтиламина. Раствор охлаждали до -15°C (лед – соль) и в течение 30 мин прикапывали раствор 0.045 г (0.0045 моля) хлорангидрида метакриловой кислоты в 3.8 мл N-метилпирролидона. После прикапывания раствор перемешивали при охлаждении еще 1 ч, добавляли 0.1 мл триэтиламина и оставляли на ночь. Раствор отфильтровывали от соли триэтиламина и высаживали в 50 мл воды. Выпавший продукт отфильтровывали, промывали 200 мл воды, перекристаллизовывали из 5 мл смеси этанол : вода = 50 : 50, сушили на воздухе. Хлопья белого цвета. Выход 0.6 г (46%).



Найдено, %: С 68.20; Н 4.56; N 21.22; О 6.02.
Для $\text{C}_{19}\text{H}_{16}\text{N}_4\text{O}_2$
вычислено, %: С 68.17; Н 4.58; N 21.20; О 6.05.

Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6 , δ , м.д.): 10.6 (с, 1H, H(10)), 10.4 (с, 1H, H(11)), 7.45–10.05 (м. 9H, H(1), H(2), H(3), H(4), H(5), H(6), H(7), H(8), H(9)), 5.5–6.0 (2с. 2H, H(13)), 2.0 (с. 3H, H(12)). Спектр ИК (ν , cm^{-1}): 3250, 3100 (N–H), 2920 (CH_3), 2080 (аром.), 1670 (C=O), 1586 (C=C, аром.), 1150 (C=C, алиф.), 765 (C–H аром.).

Результаты анализа синтезированных соединений методами элементного анализа, ИК-спектроскопии и ЯМР ^1H однозначно подтверждают их строение и находятся в соответствии с данными, приведенными в литературе [12, 13].

Синтез (со)поли(N-винилкарбазол)-(1-метакрилоил-2-(2-пиридил)-4-карбоксихинолил) гидразина

В ампулу объемом 10 мл помещали 1.8 мл ДМАА и присыпали 0.05 г (0.00016 моля) 1-метакрилоил-2-(2-пиридил-4-карбоксихинолил) гидразина, 0.463 г (0.0024 моля) N-винилкарбазола и 0.006 г ДАК. Ампулу вакуумировали, запаивали и выдерживали в термостате 120 ч при 75°C . По окончании полимеризации раствор полимера высаживали в 100 мл смеси вода : метанол = 50 : 50, фильтровали, промывали водой, метанолом, сушили под лампой. Порошок белого цвета. Выход 0.38 г (74%).

Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3 , δ , м.д.): 0.6–3.5 (м. 5H протоны групп CH_2 и CH_3 метакриловых и N-винилкарбазольных звеньев), 4.5–8.8 (м. 16H, протоны N-винилкарбазольной и пиридил-хинолиновой групп). Из интенсивностей сигналов в областях 0.6–3.5 м.д. и 4.5–8.8 м.д. рассчитано соотношение звеньев в сополимере $n : m$, равное 95 : 5.

По аналогичной методике синтезировали (со)поли(метилметакрилат)(1-метакрилоил 2-(2-пиридил)-4-карбоксихинолил) гидразина.

Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3 , δ , м.д.): 0.7–2.3 (м. 5H, протоны групп CH_2 и CH_3 метакриловых звеньев) 3.6 (с. 3H, OCH_3), 7.3–9.0 (м., 8H, протоны пиридил-хинолиновой группы). Соотношение звеньев в сополимере $n : m$ составило 95 : 5.

Синтез металлополимерных комплексов и методики их исследования

В трехгорлую круглодонную колбу, снабженную мешалкой, вводим для аргона и обратным холодильником, помещали раствор 0.2 г (0.001 моля) (со)поли(N-винилкарбазол)-(1-метакрилоил-2-(2-пиридил)-4-карбоксихинолил) гидразина в 7.3 мл хлороформа. Добавляли раствор 0.0222 г (2.5×10^{-5} моля) комплекса $[\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{Cl}]_2$ в 8.6 мл метанола, перемешивали 30 мин под аргоном, затем смесь кипятили в течение 12 ч, после чего полимер высаживали в гексан. Высаженный полимер красного цвета отмывали от избытка иридиевого комплекса экстракцией в этаноле и сушили под вакуумом. По аналогичной методике получали металлополимерный комплекс (со)поли(метилметакрилат)-(1-метакрилоил 2-(2-пиридил)-4-карбоксихинолил) гидразина.

УФ-спектры снимали на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ “Спектр”, Санкт-Петербург) в диапазоне 250–500 нм в виде растворов комплексных соединений в хлороформе с концентрацией 4.2×10^{-4} , 2.3×10^{-4} и 8.1×10^{-6} моль/л для полимера, макромолекулярного комплекса и низкомолекулярного $[\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{Cl}]_2$ соответственно. Длина оптического пути кюветы составляла 1 см.

ИК-спектры регистрировали на ИК-Фурье спектрометре “Bruker IFS-88” (таблетки с KBr).

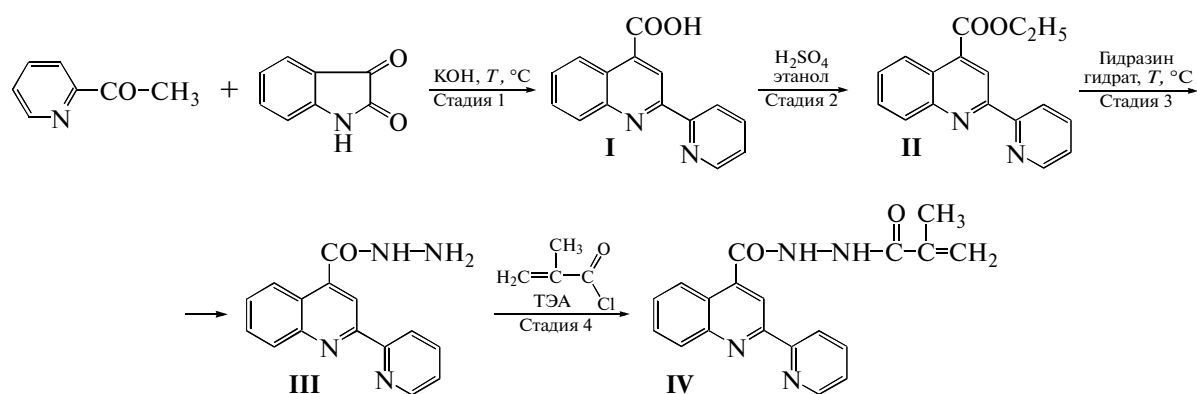
Спектры люминесценции записывали на спектрофотометре LS-100 (фирма РТИ, Канада). Ширина щелей на входе и выходе 4 нм. Длину волны возбуждающего света варьировали от 380 до 230 нм.

Характеристическую вязкость $[\eta]$ полимеров определяли вискозиметрическим методом на приборе Уббелодде (растворы в ДМФА).

Испытания образцов проводили методами термического анализа на приборах фирмы NETZSCH TG 209 F1-Термомикровесы ($T = 30\text{--}600^\circ\text{C}$, скорость нагревания 10 град/мин, инертная среда (аргон); расход аргона, пропускаемого через термомикровесы, 10 мл/мин, масса образцов 1–2 мг) и DSC 204 F1-Дифференциальный сканирующий калориметр теплового потока ($T = 30\text{--}270^\circ\text{C}$, скорость нагрева 10 град/мин, инертная среда (аргон); расход аргона, пропускаемого через образец, 25 мл/мин, расход аргона для обдува измерительной ячейки 70 мл/мин, масса образцов 2–3 мг).

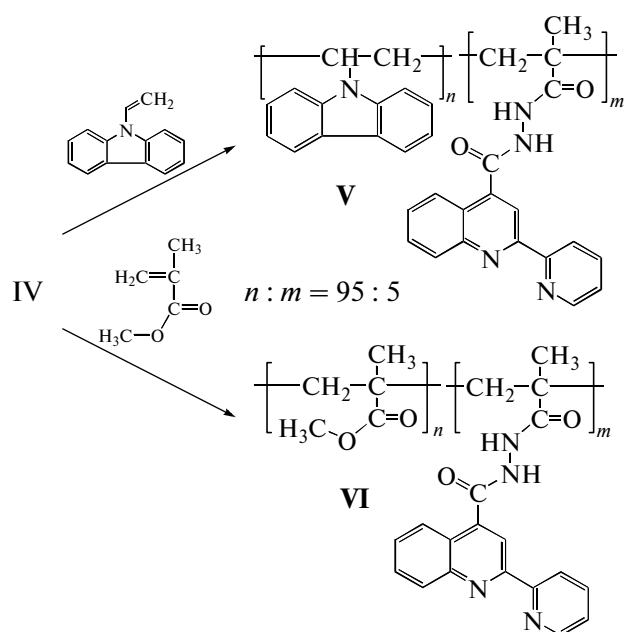
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пиридил-хинолиловые лиганды, как известно [12, 14, 15], широко применяются для получения низкомолекулярных комплексов с рутением, иридием и редкоземельными металлами, причем указанные комплексы обладают практически значимыми окислительно-восстановительными и люминесцентными характеристиками. В то же время публикации, посвященные синтезу полимеров с боковыми пиридил-хинолиловыми группами, в литературе встречаются очень редко [13]. Это, очевидно, связано с трудностями, возникающими при синтезе пиридил-хинолиловых мономеров. Отмечается, что для получения макромолекулярных лигандов с боковыми функциональными группами используется главным образом реакция радикальной полимеризации. Таким образом, на данном этапе работы перед нами стояла задача получения мономера винилового ряда, содержащего пиридил-хинолиловую группу. Эта задача была решена с помощью синтеза низкомолекулярного лиганда – 2-(2-пиридил)-хинолин-4-карбоновой кислоты из изатина и 2-ацетилпиридина по реакции Пфитцингера. На основе указанной кислоты были получены мономер – метакрилоил-2-(2-пиридил-4-карбоксихинолил) гидразин и его сополимеры с N-винилкарбазолом и метилметакрилатом. Ниже приведена общая схема синтеза мономера, включающая четыре стадии: 1) получение 2-(2-пиридил)-хинолин-4-карбоновой кислоты (I); 2) получение этилового эфира 2-(2-пиридил)-хинолин-4-карбоновой кислоты (II); 3) получение гидразида (III); 4) получение 1-метакрилоил-2-(2-пиридил-4-карбоксихинолил) гидразина (IV).



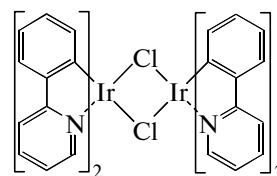
На основе синтезированного мономера методом радикальной полимеризации в растворе были получены сополи(N-винилкарбазол)-(метакрилоил)-2-

(2-пиридил-4-карбоксихинолил) гидразин (V) и (со)поли(метилметакрилат)-(1-метакрилоил-2-(2-пиридил)-4-карбо-ксихинолил) гидразина (VI).

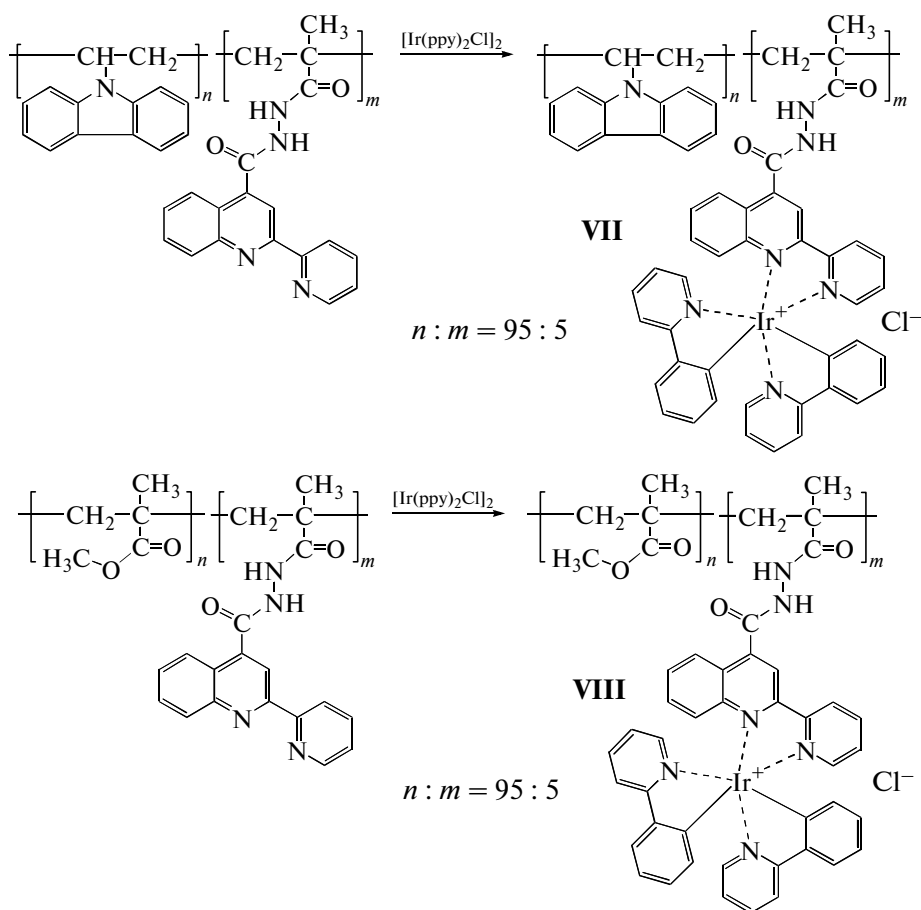


Синтезированные сополимеры содержат 5% звеньев с пиридил-хинолиновыми фрагментами. Характеристическая вязкость $[\eta]$ сополимеров V и VI составляет 0.41 и 0.52 дл/г соответственно.

Удобным методом формирования металлополимерных комплексов иридия является реакция двуядерного мостикового комплекса [16]



с полимерами, содержащими способные к комплексообразованию с иридием лиганды [17, 18]. Взаимодействием сополимеров V и VI с двуядерным мостиковым комплексом $[\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{Cl}]_2$ получены металлополимерные комплексы VII и VIII:



Металлополимерные комплексы VII и VIII представляют собой твердые соединения красного цвета, хорошо растворяющиеся в хлороформе, ТГФ, ДМФА, N-метилпирролидоне и образуя

щие оптически прозрачные покрытия на стеклянных подложках.

В спектре ЯМР¹H металлополимерного комплекса VIII в области 6.0–9.0 м.д. появляется

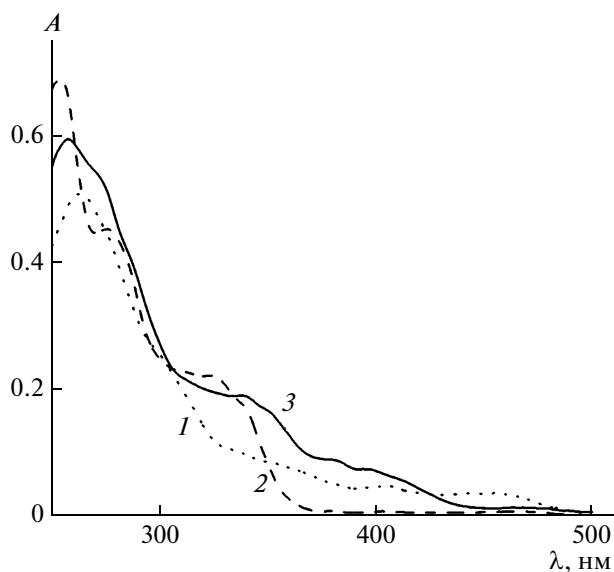


Рис. 1. Спектры поглощения мономерного иридиевого комплекса $[\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{Cl}]_2$ (1) и полимеров VII (2) и VIII (3).

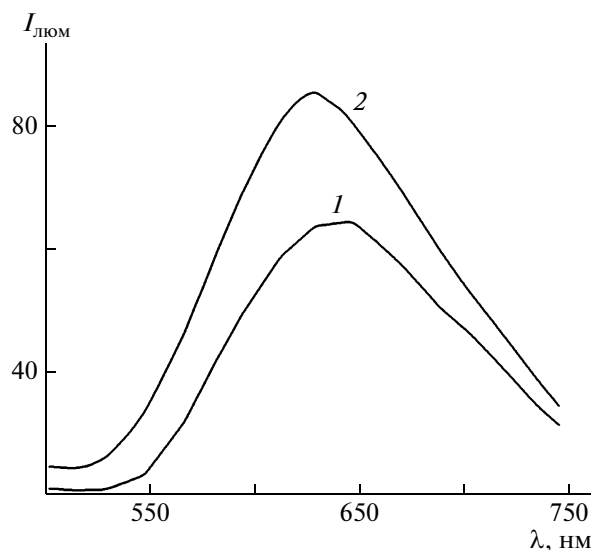


Рис. 2. Спектры люминесценции металлополимерных комплексов VIII (1) и VII (2).

мультиплетный сигнал, который следует приписать 2-фенил-пиридиновым группам, входящим в состав $[\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{Cl}]_2$. Необходимо подчеркнуть, что сигналы, отвечающие боковым 2-пиридилхинолиновым группам полимера, испытывают некоторое смещение (0.15–0.2 м.д.) в сильные поля. В спектрах ЯМР ^1H металлополимерного комплекса VII указанные сигналы скрыты интенсивным мультиплетным сигналом 4.5–8.8 м.д. N-винилкарбазольной группы.

Результаты исследования синтезированных соединений методом УФ-спектроскопии представлены на рис. 1 и в табл. 1. Из литературных данных [19] известно, что для растворов низкомолекулярных комплексов иридия с 2-фенилпиридином в CH_2Cl_2 наблюдается интенсивное поглощение с максимумом вблизи 270 нм, связанное с $\pi \rightarrow \pi^*$ электронным переходом в 2-фенилпиридиновом лиганде. Низкомолекулярный комплекс $[\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{Cl}]_2$, растворенный в CHCl_3 , имеет максимум поглощения при 263 нм, а исходный полимер VI – при 254 нм (табл. 1). При образовании иридиевого комплекса с макролигандом VI наблюдается смещение полосы поглощения полимера к 257 нм со значительным увеличением ее интенсивности по отношению к низкомолекулярному комплексу (рис. 1). Эти изменения, происходящие вследствие наложения полос поглощения полимера и присоединенного к иридию 2-фенилпиридина, подтверждают образование комплексного соединения VIII. Для комплекса VII, полученного на основе полимера V, подобных изменений в спектре обнаружить не удалось. Это обусловлено как близостью максимумов по-

глощения карбазольных фрагментов полимера V и иридиевого комплекса, так и значительно большим (почти в 9 раз) коэффициентом молярной экстинкции полимера V по сравнению с VI в данной области спектра.

При работах по синтезу и исследованию новых полимеров неизменно встает вопрос об особенностях их термического поведения, связанного с деструкционными процессами, определяющими температурные пределы их применения. Для решения поставленного вопроса в работе были применены методы термогравиметрического анализа и ДСК. Из сравнения показателей термостойкости, приведенных в табл. 2, следует, что процессы интенсивной термической деструкции в случае металлополимерных комплексов смещены в область более низких температур (на 80–100°C в случае VII и на 50–60°C в случае VIII) по сравнению с исходными полимерами. Этот факт следует связать с разложением металлополимерного ком-

Таблица 1. Спектроскопические характеристики полимеров с боковыми пиридил-хинолиновыми группами, их металлополимерных комплексов с $\text{Ir}(\text{ppy})_2$ и низкомолекулярного комплекса $[\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{Cl}]_2$

Образец	$\lambda_{\text{макс}}$, нм	Коэффициент экстинкции ϵ , л/моль см
$[\text{Ir}(\text{ppy})_2\text{Cl}]_2$	263	62000
Полимер V	260	14000
Полимер VI	254	1600
Комплекс VII	257	2600

Таблица 2. Температура стеклования и индексы термостойкости полимеров с боковыми пиридил-хинолиновыми группами и их металлополимерных комплексов с $\text{Ir}(\text{ppy})_2$

Полимер	$T_c, ^\circ\text{C}$	$\tau_0, ^\circ\text{C}$	$\tau_5, ^\circ\text{C}$	$\tau_{10}, ^\circ\text{C}$	Коксовый остаток, %
V	224	335	372	381	2.7
VI	138	254	300	332	3.5
VII	211	200	220	259	8.0
VIII	120	198	242	276	7.9

Примечание. $\tau_0, \tau_5, \tau_{10}$ – температура начала термической деструкции, 5% и 10%-ной потери массы.

плекса и с последующей деструкцией фрагментов $\text{Ir}(\text{ppy})_2$, которые присутствуют в рассматриваемых соединениях в достаточно больших количествах (до 12 мас. %) и могут оказывать существенное влияние на суммарное снижение массы в процессе термодеструкции. Кроме того, можно предположить, что наличие солей иридия катализирует частичное термическое разложение полимеров.

Спектры люминесценции металлополимерных комплексов представлены на рис. 2. Видно, что покрытия, приготовленные из металлополимерных комплексов VII и VIII на стеклянных подложках, обладают люминесценцией в области 634 нм при длине волны возбуждающего света 333 нм. Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными для растворов низкомолекулярных комплексов иридия с пиридил-хинолином в CH_2Cl_2 , которые люминесцируют в области 637 нм [14]. Таким образом, нами синтезированы сополимеры винильного ряда с боковыми пиридил-хинолиновыми группами, получены металлополимерные комплексы иридия и исследованы их спектральные, фотолюминесцентные и термические свойства. Показано, что металлополимерные комплексы обладают хорошими люминесцентными свойствами и являются перспективными функциональными материалами для использования в оптоэлектронных приложениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Zhu W., Liu Ch., Su L., Yang W., Yuan M., Cao Y. // J. Mater. Chem. 2003. V. 13. P. 50.
- Yoshikawa N., Sakamoto J., Matsumura-Inoue T., Takashima H., Tsukahara K., Kanehisa N. // Analyt. Sci. 2004. V. 20. P. 711.
- Leslie W., Batsanov A., Howard J.K., Williams J.A. // Dalton Trans. 2004. V. 4. P. 623.
- Zhu W., Chuanzhen L., Lijun S., Wei Y., Ming Y., Yong C. // J. Mater. Chem. 2003. V. 13. P. 50.
- Stradiotto M., Furdala K.L. // Chem. Commun. 2001. P. 1200.
- Baranoff E., Collin J.-P., Flamigni L., Sauvage J.-P. // Chem. Soc. Rev. 2004. V. 33. P. 147.
- Yang C.-H., Tai C., Sun I.-W. // J. Mater. Chem. 2004. V. 14. P. 947.
- Coppo P., Plummerab E.A., De Cola L. // Chem. Commun. 2004. P. 1174.
- Das R.R., Lee C.-L., Noh Y., Kim J.-J. // Opt. Mater. 2002. V. 21. P. 143.
- Beeby A., Bettington S., Samuel I.D.W., Wang Z. // J. Mater. Chem. 2003. V. 13. P. 80.
- Zhao Q., Jiang C., Shi M., Li F., Yi T., Cao Y., Huang C. // Organometallics. 2006. V. 25. P. 3631.
- Farah F., Pietro W.J. // Inorg. Chem. Commun. 2003. V. 6. P. 662.
- Farah A.A., Veinot J.G., Najman M. // Pure Appl. Chem. A. 2000. V. 37. № 11. P. 1507.
- Zhao Q., Liu Sh., Shi M., Wang Ch., Yu M., Li F., Yi T., Huang Ch. // Inorg. Chem. 2006. V. 45. № 16. P. 6152.
- Abdiaziz A.F., Zobi F., Dennis V., Stynes D.V., Loughb A.J., Pietroa W. // Acta Crystallogr. E. 2001. V. 57. № 3. P. 274.
- De Rosa M.C., Hodgson D.J., Enright G.D., Dawson B., Evans C.E.B., Crutchley R.J. // J. Am. Chem. Soc. 2004. V. 126. P. 7619.
- Lee J.-S., Kang N.-G., Cho Y.-S., Ahn J.-H., Lee C. L., Kim J. // Polym. Prepr. 2001. V. 42. № 2. P. 448.
- Peng Z., Yu L. // J. Am. Chem. Soc. 1996. V. 118. P. 3777.
- Marin V., Holder E., Hoogenboom R., Schubert U.S. // J. Polym. Sci., Polym. Chem. 2004. V. 42. P. 4153.