

УДК 541.64:535.5

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИИМИДОВ В ПРИСУТСТВИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ЛЮМИНОФОРОВ¹

© 1999 г. Е. И. Малыцев*, Д. А. Лыпенко*, Б. И. Шапиро**,
М. А. Брусенцева*, Е. В. Лунина***, В. И. Берендеев***,
Б. В. Котов***, А. В. Ванников*

*Институт электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук
117071 Москва, Ленинский пр., 31

**Научный центр "ХИМФОТОПРОЕКТ"
125167 Москва, Ленинградский пр., 47

***Государственный научный центр Российской Федерации
“Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова”
103064 Москва, Воронцовское поле, 10

Поступила в редакцию 22.09.98 г.
Принята в печать 02.02.99 г.

На примере ароматических полииimidов, содержащих в качестве донантов цианиновые красители, исследовано влияние энергетических характеристик электроактивной полимерной среды и редокс-потенциалов ($E_{1/2}^{ox}$ и $E_{1/2}^{red}$) люминофоров как примесных излучающих центров на электролюминесцентные свойства системы. Установлено, что для генерации электролюминесценции на молекулах красителя необходимо, чтобы их значения $E_{1/2}^{ox}$ и $E_{1/2}^{red}$ соответствовали уровням, расположенным внутри запрещенной зоны на определенном расстоянии от наивысшей занятой и наименее свободной орбиталей полимерной матрицы. В спектрах электролюминесценции некоторых из изученных систем впервые обнаружена полоса, принадлежащая излучению J-агрегатов, представляющих собой нанокристаллическую фазу красителей в полимере. Спектр электролюминесценции J-агрегатов представляет собой узкую полосу,мещенную в длинноволновую сторону по отношению к спектру поглощения мономерной формы.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время интенсивно изучаются фото- и электролюминесцентные свойства электроактивных полимеров и многослойных структур на их основе [1–3]. Помимо важных фундаментальных аспектов исследования в этой области имеют большое практическое значение, связанное с возможностью создания плоских цветных дисплеев нового поколения, а также различных экранов и индикаторов информации на гибкой полимерной основе с рабочим напряжением в несколько вольт. Разработан ряд полимерных мате-

риалов [1–6], не уступающих по основным характеристикам (квантовая эффективность, спектральный диапазон излучения, минимальные рабочие потенциалы) известным системам на основе неорганических полупроводников.

Целенаправленный поиск новых высокоеффективных полимерных материалов с электролюминесцентными свойствами требует знания особенностей механизма инжекции носителей зарядов в рабочий слой, их транспорта и рекомбинации в объеме с образованием возбужденных экситонных состояний. В случае дипированных структур необходима информация о процессах передачи энергии возбуждения полимерной матрицы на примесные центры люминесценции.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 97-03-32739а) и Международного научно-технического центра (грант 872).

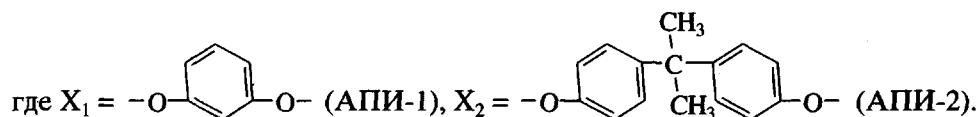
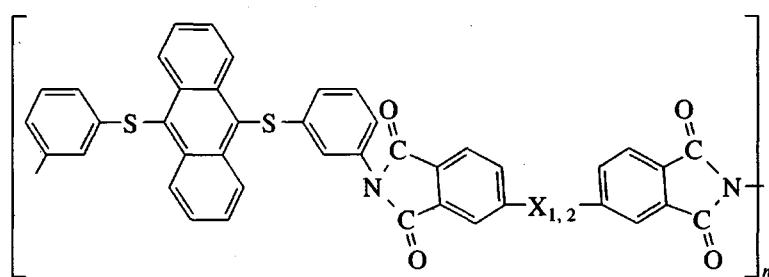
Одна из практических важных задач состоит в разработке новых полимерных электроактивных материалов, излучающих в широком спектральном диапазоне. Известен ряд подходов к ее решению: формирование, например, структур на основе смеси полимеров, каждый из которых излучает в заданном диапазоне [7], разработка систем на основе монослоя, допированного одним или несколькими люминофорами, обеспечивающими полихромное излучение [8, 9].

В работе изучена электролюминесценция (ЭЛ) однослойных структур на основе ароматических полиимидов (**АПИ**), содержащих цианиновые красители (**ЦК**) различного строения. Известно [10], что эти люминофоры являются уникальными преобразователями световой энергии в видимой и ближней ИК-области спектра. Они нашли широкое применение в квантовой электронике, в частности для создания лазерных источников с фемтосекундной длительностью импульсов. Использование ЦК в качестве активных сред в

квантовых генераторах с перестраиваемой частотой позволяет получать ИК-излучение вплоть до 2 мкм. Редокс-характеристики ЦК делают их эффективными акцепторами энергии возбуждения в полимерных электролюминесцентных материалах. АПИ относятся к новому типу высокомолекулярных электроактивных соединений с высокой подвижностью носителей зарядов. Эти полимеры растворимы в органических средах и обладают прекрасными пленкообразующими свойствами [6].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Полимеры получали взаимодействием 9,10-бис(*m*-аминофенилтио)антрацена с диангидридами 1,3-бис-(3,4-дикарбоксифенокси)бензола (АПИ-1) или 2,2-бис-[4-(3,4-дикарбоксифенокси)фенил]пропана (АПИ-2) по методике [11]. Ниже приведена формула элементарного звена АПИ.



В качестве донаторов использовали следующие ЦК: 3,3'-диметил-9-этил-4,5,4',5'-дibenзотиакарбоцианинхлорид (ЦК-1); 3,3'-ди(β -гидроксиэтил)-9-этил-5,5'-диметокситиакарбоцианинхлорид (ЦК-2); соль 3,3'-ди(γ -сульфопропил)-9-этил-4,5,4',5'-дibenзотиакарбоцианинбетаина и декаметилен-бис-(α -пиколиния) (ЦК-3); соль 3,3'-ди(γ -сульфопропил)-9-этил-5,5'-диметокситиакарбоцианинбетаина и декаметилен-бис-(α -пиколиния) (ЦК-4); 3,3'-ди(γ -сульфопропил)-9-этил-5,5'-диметокситиакарбоцианинпиридиния (ЦК-5); 3,3'-ди(β -гидроксиэтил)-9-метилтиакарбоцианинхлорид (ЦК-6); 3,3',9-триэтил-5,5'-дифенилоксакарбоцианинэтилсульфонат (ЦК-7); 1,1,3'-триэтил-3-(γ -сульфопропил)-5,5'-дикарбоксиэтилимидакарбоцианинбетаин (ЦК-8); 4,5,4'5'-дibenзо-3,3',9-триэтилтиакарбоцианинбромид (ЦК-9).

Полимерные светоизлучающие структуры представляли собой светодиоды (рис. 1) с яркостью излучения около 50 кд/м² при 15 В, включающие тонкий (100–600 нм) слой АПИ, содержащий ЦК. Слои формировали с помощью центрифуги из раствора в хлороформе на прозрачном токопроводящем слое $In_2O_3-SnO_2$ (анод), нанесенном на стеклянную подложку. Концентрация ЦК в растворе не превышала 15% от навески полимера. Верхним непрозрачным электродом (катодом) служил слой из смеси Mg : Ag, нанесенный методом термического вакуумного испарения. Спектры фотолюминесценции (ФЛ) и ЭЛ изменили на воздухе при комнатной температуре. Подробно эксперимент описан в работах [12, 13].

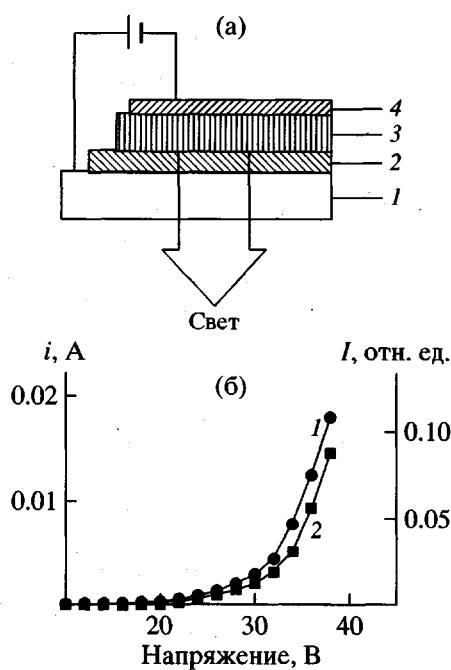


Рис. 1. а – Образец однослойной полимерной светоизлучающей структуры, включающий стеклянную подложку (1), прозрачный токопроводящий слой $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ (анод) (2), слой АПИ-1, допированного красителем ЦК-1 (толщина полимерного слоя 600 нм) (3), слой Mg : Ag (катод) (4). б – Кривые зависимости интенсивности тока i (1) и электролюминесценции I (2) от приложенного напряжения в образцах на основе АПИ-1, допированного красителем ЦК-1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Тонкий слой электроактивного полимера в однослойной светоизлучающей структуре выполнял одновременно транспортные и светоизлучающие функции. Большинство электроактивных полимеров с электролюминесцентными свойствами обладают монополярной, как правило, дырочной, проводимостью. При этом электроны, инжектированные в полимерный слой, накапливаются в нем вблизи границы полимер–катод, где происходит их рекомбинация с дырками с образованием экзитонов. Наличие металлической поверхности катода вблизи зоны рекомбинации носителей вызывает безызлучательную релаксацию возбужденных состояний, снижая тем самым эффективность ЭЛ. Интерес представляют однослойные структуры, обеспечивающие рекомбинацию зарядов не в приэлектродной области, а в объеме электроактивного слоя. В этом случае обязательным условием является наличие у полимера эффективной электронодырочной проводимости и сбалансированной инжекции носителей обоих знаков. Допирование слоев органическими люмино-

форами позволяет направленно изменять спектральный диапазон ЭЛ.

СПЕКТРЫ ФЛ И ЭЛ ДОПИРОВАННЫХ СЛОЕВ АПИ

Оптические, спектрально-люминесцентные и фотофизические свойства полиэфиридов изучены недостаточно. Фотофизические свойства некоторых производных АПИ исследовали в работе [14]. ФЛ растворов АПИ расположена в области 400–500 нм и представляет собой молекулярное испускание из L_a – состояния антраценового ядра. Максимум полосы ФЛ пленок смещается в длинноволновую область по мере увеличения в полимерной цепи звеньев 9,10-дифенилантрацена, что объясняется ростом вклада эксимерного испускания с увеличением содержания этого флуорохрома. У ряда АПИ обнаруживается ФЛ в области 400–650 нм, которая, как предполагается, связана с образованием межцепных возбужденных состояний с переносом заряда (эксплексов). АПИ обладают эффективной ЭЛ и используются в качестве транспортных и светоэмиссионных сред в полимерных светоизлучающих структурах [15–17].

Основные спектральные характеристики ЦК и величины их $E_{1/2}^{ox}$ и $E_{1/2}^{red}$ полярографических потенциалов полуволн представлены в таблице. Для исследования были выбраны красители с существенно различными значениями $E_{1/2}^{ox}$ и $E_{1/2}^{red}$, измеренными в этаноле относительно насыщенного каломельного электрода.

Вольтамперные характеристики у однослойных образцов имели типичный для диодных структур вид (рис. 1). Минимальный потенциал напряжения, при котором наблюдалась ЭЛ, определялся толщиной слоя d . В слоях с $d = 100$ нм он не превышал 5 В. Плотность тока не влияла на форму спектра излучения.

Спектры поглощения изученных ЦК лежат в видимой области с максимумами λ_{\max} в диапазоне 550–650 нм. Красители ЦК-1 и ЦК-2 (рис. 2) обнаруживают эффективную ЭЛ, спектры которой находятся в красной области. Положение λ_{\max} полос ЭЛ сдвинуто в длинноволновую сторону по отношению к спектру ФЛ.

При пониженном содержании донанта в слое наблюдалась одновременно ЭЛ как донанта, так и самой матрицы. По мере увеличения концентрации ЦК принадлежащая ему полоса ЭЛ становилась преобладающей. Следует отметить, что электролюминесценция ЦК наблюдалась далеко не у всех допированных структур (рис. 3). Например,

она отсутствовала у АПИ, допированного ЦК-9, хотя энергетические характеристики (таблица) у этого красителя аналогичны ЦК-1. Было установлено, что ЦК-9 обладает слабой ФЛ. Это обусловлено, по-видимому, присутствием в молекуле тяжелого атома брома. ЭЛ отсутствовала также в случае красителей ЦК-6–ЦК-8.

Схема, приведенная на рис. 3, позволяет объяснить связь между электролюминесцентными свойствами допированных слоев и их энергетическими характеристиками. Значения высоты барьера инжекции носителей, а также положение уровней энергии наивысшей занятой орбитали (НЗО) (в терминах зонной теории – потолок валентной зоны) и наинизшей свободной орбитали (НСО) (дно зоны проводимости) относительно вакуума для АПИ взяты из работы [6].

Наблюдается очевидная связь между вероятностью генерации ЭЛ люминофоров, значениями их $E_{1/2}^{ox}$ и $E_{1/2}^{red}$ и величиной разности уровней НСО и НЗО, т.е. шириной запрещенной зоны в полимере. Поскольку величина сродства к электрону у АПИ близка к 2.6 эВ, а работа выхода у Mg равна 3.7 эВ, высота барьера инжекции электрона составляет 1.1 эВ. Для дырок это значение близко к 0.7 эВ. Из анализа данных (рис. 3) следует, что ЭЛ примесных центров наблюдается только там, где присутствуют ЦК со значением $E_{1/2}^{ox} \leq +0.71$ В и $E_{1/2}^{red} \leq -1.34$ эВ. Выход за пределы указанного интервала ($E_{1/2}^{ox}$ в случае ЦК-7 и $E_{1/2}^{red}$ для ЦК-8) исключало возможность генерации ЭЛ. Очевидно также, что электролюминесценция ЦК невозможна, если сам краситель не является фотolumинофором (ЦК-6 и ЦК-9).

Связь между $E_{1/2}^{red}$ люминофора и вероятностью генерации ЭЛ объясняется тем, что энергетические уровни электронных транспортных центров у АПИ расположены значительно ниже НСО. С другой стороны, отсутствие ЭЛ у АПИ, допированного ЦК-7, указывает на то, что дырочные транспортные уровни в полимере расположены достаточно далеко от потолка валентной зоны. Это способствует снижению высоты барьера переноса электронов из катода в слой АПИ, обеспечивая тем самым баланс инжекции с положительными носителями. Важным следствием является эффективная работа однослойных светодиодающих структур, не требующих использования дополнительных запирающих транспортных слоев.

Окислительно-восстановительные потенциалы красителей и положение максимумов полос ЭЛ и ФЛ допированных слоев АПИ

Краситель	$E_{1/2}^{red}$, В	$E_{1/2}^{ox}$, В	λ_{\max} ЭЛ, нм	λ_{\max} ФЛ, нм
ЦК-1	-1.26	+0.67	655	640
ЦК-2	-1.31	+0.68	635	620
ЦК-3	-1.34	+0.67	645	642
ЦК-4	-1.3	+0.71	617	615
ЦК-5	-1.32	+0.68	617 и 675	610 и 665
ЦК-6	-1.28	+0.76	—	—
ЦК-7	-1.33	+0.93	—	575
ЦК-8	-1.62	+0.63	—	590
ЦК-9	-1.27	+0.67	—	—

ЭЛ J-АГРЕГАТОВ В СЛОЯХ НА ОСНОВЕ АПИ

Известно, что некоторые ЦК склонны к образованию J-агрегатов как в растворах [18, 19], так и в твердых полимерных средах [20, 21]. Спектр

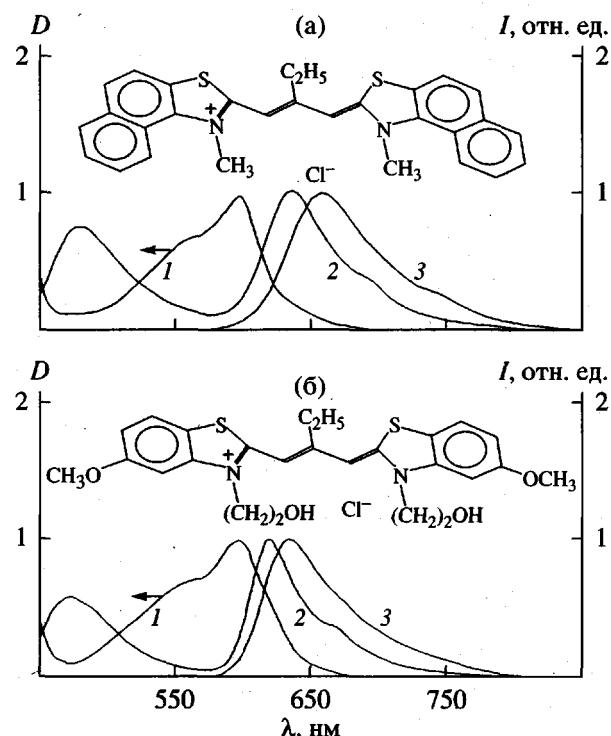


Рис. 2. Спектры оптического поглощения D (1), ФЛ (2) слоя АПИ-1, допированного красителем ЦК-1 (а) и ЦК-2 (б), а также спектр ЭЛ (3). Сверху показана структурная формула красителей ЦК-1 и ЦК-2.

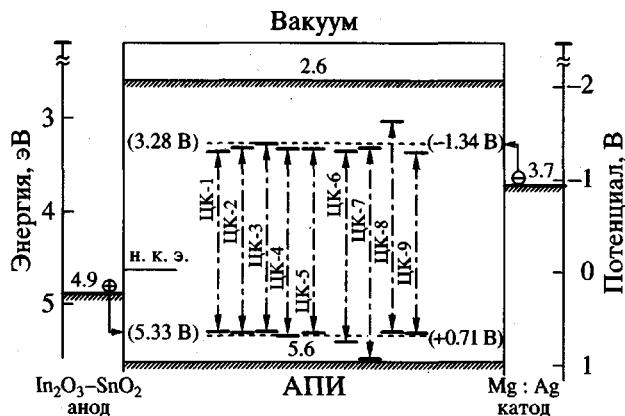
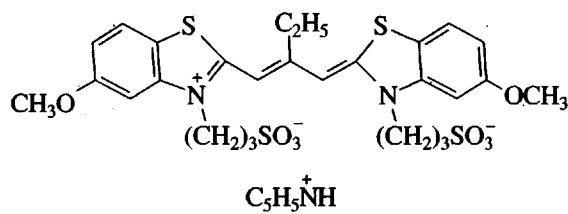


Рис. 3. Схема энергетических уровней полимерных светоизлучающих структур на основе АПИ, допированных красителями с различными значениями окислительно-восстановительных потенциалов $E_{1/2}^{ox}$ и $E_{1/2}^{red}$. Нулевое значение на оси ординат справа соответствует потенциальному каломельного электрода (н. к. э.). В скобках указаны уровни энергий дырочных и электронных транспортных центров. В слоях, допированных красителями ЦК-1–ЦК-5, наблюдается ЭЛ.

поглощения этих кристаллических наноструктур представляет собой интенсивную узкую полосу в длинноволновой части видимого диапазона, положение которой определяется строением ЦК. В работе изучена ЭЛ слоев АПИ, содержащих нанокристаллическую фазу одновременно с мономерной формой ЦК-5. Структурная формула этого красителя приведена ниже:



Спектр поглощения ЦК-5 в хлороформе (рис. 4а, кривая 1), имеет два максимума при 550 и 590 нм, спектр ФЛ раствора имеет $\lambda_{\max} = 610$ нм. Как при добавлении соли KI в хлороформ, которая, как известно [20, 21], усиливает процесс агрегации молекул красителя в растворе, так и при введении ЦК в полимерную матрицу, наблюдалось появление новых полос поглощения, связанных с формированием нанокристаллической фазы. Как видно из рис. 4б, в спектре поглощения дипированного слоя (кривая 1) одновременно с мономерной формой ($\lambda_{\max} = 590$ нм) присутствует близкая по интенсивности полоса поглощения J-агрегатов ($\lambda_{\max} = 630$ нм). При действии на полимерный слой света с $\lambda_{\text{воз}} = 550$ нм одновременно

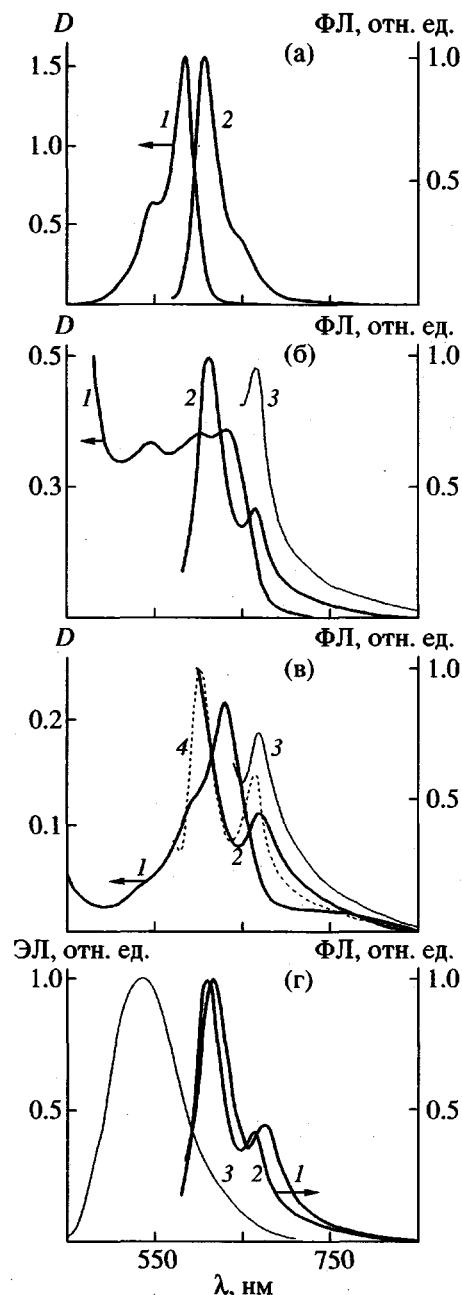


Рис. 4. Спектры поглощения и эмиссии красителя ЦК-5 в хлороформе (10^{-4} моль/л) и полимерных слоях. а – Раствор в хлороформе: 1 – поглощение в видимом диапазоне, 2 – ФЛ при воздействии света с длиной волны $\lambda = 550$ нм; б – ЦК-5 (15 мас. %) в АПИ-1: 1 – поглощение в видимом диапазоне; 2, 3 – ФЛ при воздействии света с длиной волны $\lambda = 550$ (2) и 610 нм (3); в – ЦК-5 (15 мас. %) в АПИ-1 в присутствии KI (15 мас. %): 1 – спектр поглощения в видимом диапазоне; 2, 3 – спектр ФЛ при возбуждении светом с $\lambda = 580$ (2) и 610 нм (3); 4 – фотолюминесценция ЦК-5 в хлороформе (10^{-4} моль/л) в присутствии KI (10^{-4} моль/л); г – ЦК-5 (15 мас. %) в АПИ-1: 1 – ЭЛ слоя АПИ-1, дипированного ЦК-5, 2 – спектр ФЛ при возбуждении светом с $\lambda = 550$ нм, 3 – электролюминесценция АПИ-1 в отсутствие красителя.

с полосой ФЛ мономеров ($\lambda_{\text{макс}} = 610 \text{ нм}$) (рис. 4б, кривая 2) появлялся новый спектр с $\lambda_{\text{макс}} = 665 \text{ нм}$. При возбуждении слоя светом с $\lambda_{\text{возб}} = 610 \text{ нм}$, т.е. в области поглощения *J*-агрегатов, росла интенсивность ФЛ нанокристаллической фазы (рис. 4б, кривая 3). Аналогичный спектр ФЛ, имеющий два максимума при 603 и 665 нм (рис. 4в, кривая 4), наблюдали при возбуждении раствора ЦК в хлороформе в присутствии КI. Из рис. 4в следует, что положение максимума полосы ФЛ мономеров в растворе ($\lambda_{\text{макс}} = 603 \text{ нм}$) смешено в коротковолновую сторону по сравнению со спектром ЦК в слое АПИ за счет сольватохромного эффекта. При введении КI в АПИ, содержащий ЦК (рис. 4в, кривая 1), концентрация *J*-агрегатов также резко возрастила. Возбуждение допированного слоя АПИ светом с длинами волн 580 (кривая 2) или 610 нм (кривая 3) сопровождалось появлением спектра ФЛ с $\lambda_{\text{макс}} = 665 \text{ нм}$. Интенсивность полосы ФЛ была значительно больше при воздействии света на *J*-агрегаты (610 нм). Известно [21], что агрегированная форма ЦК термически нестабильна. Нами показано, что нагрев допированных слоев АПИ до $T > 100^\circ\text{C}$ ведет к необратимому исчезновению полосы $\lambda_{\text{макс}} = 665 \text{ нм}$. Таким образом, следует, что ФЛ с $\lambda_{\text{макс}} = 665 \text{ нм}$ принадлежит *J*-агрегатам.

Спектр ЭЛ самого АПИ (рис. 4г, кривая 3), наблюдаемый в отсутствие ЦК, расположен в коротковолновой области. При подаче напряжения на полимерную светоизлучающую структуру в слое АПИ, содержащем ЦК-5, наблюдалась ЭЛ с двумя максимумами при 617 и 675 нм (рис. 4г, кривая 1). Из сопоставления спектра ЭЛ с полосой ФЛ того же образца можно заключить, что излучение с $\lambda_{\text{макс}} = 675 \text{ нм}$ принадлежит *J*-агрегатам, а спектр с $\lambda_{\text{макс}} = 617 \text{ нм}$ – мономерной форме ЦК-5. Положение обоих максимумов ЭЛ смешено в длинноволновую сторону относительно спектров ФЛ (кривая 2), что характерно для большинства светоизлучающих систем и обусловлено различием в природе двух механизмов излучения [17].

ВЫВОДЫ

Таким образом, введение ЦК различного строения в АПИ позволяет получить излучение ЭЛ в красной области спектра. Впервые исследована связь между энергетическими характеристиками электроактивных полимерных сред и редокс-потенциалами введенных в них в качестве примесных центров ЭЛ низкомолекулярных органических люминофоров. Обнаружено, что для генерации электролюминесценции ЦК необходимо, чтобы их значения $E_{1/2}^{\text{ox}}$ и $E_{1/2}^{\text{red}}$ соответствовали

уровням, расположенным внутри запрещенной зоны на определенном расстоянии от НЗО и НСО. Величины барьера инжекции электронов и дырок из электродов в полимер близки по абсолютной величине и равны ≈ 0.42 и 0.43 эВ соответственно. Наличие данных о $E_{1/2}^{\text{ox}}$ и $E_{1/2}^{\text{red}}$ допантов позволяет прогнозировать вероятности генерации ЭЛ в полимерных светоизлучающих структурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Greenham N.C., Moratti S.C., Bradley D.D.C., Friend R.H., Holmes A.B. // Nature. 1993. V. 365. P. 249.
2. Yu G., Nishino H., Heeger A.J., Chen T.-A., Rieke R.D. // Synth. Met. 1995. V. 72. P. 249.
3. Son J.M., Sakaki Y., Ogino K., Sato H. // IEEE Trans. Electron Devices. 1997. V. 44. № 8. P. 1307.
4. Kido J., Kohda M., Okuyama K., Nagai K. // Appl. Phys. Lett. 1997. V. 61. P. 761.
5. Ohnishi T., Doi S., Tsuchida Y., Noguchi T. // IEEE Trans. Electron Devices. 1997. V. 44. № 8. P. 1253.
6. Mal'tsev E.I., Berendyaev V.I., Brusentseva M.A., Tameev A.R., Kolesnikov V.A., Kozlov A.A., Kotov B.V., Vannikov A.V. // Polym. Int. 1997. V. 42. № 4. P. 404.
7. Granström M. // Polym. Adv. Tech. 1997. V. 8. № 7. P. 424.
8. Kido J., Hongawa K., Okuyama K., Nagai K. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64. № 7. P. 815.
9. Lin C.P., Tsutsui T., Saito S. // New Polym. Mater. 1995. V. 4. № 4. P. 277.
10. Ищенко А.А. Строение и спектрально-люминесцентные свойства полиметиновых красителей. Киев.: Наукова думка, 1994.
11. Капустин Г.М., Тилика В.Ж., Берендейев В.И., Мостовой Р.М., Котов Б.В. // Высокомолек. соед. Б. 1988. Т. 30. № 9. С. 653.
12. Mal'tsev E.I., Brusentseva M.A., Kolesnikov V.A., Vannikov A.V. // Chem. Phys. Lett. 1995. V. 238. P. 295.
13. Мальцев Е.И., Брусенцева М.А., Колесников В.А., Ванников А.В., Аникеев А.В., Костенко Л.И. // Высокомолек. соед. А. 1995. Т. 37. № 9. С. 1545.
14. Нурмухаметов. Р.Н., Сергеев А.М., Берендейев В.И., Лунина Е.В., Шушпанов И.Ю., Котов Б.В. // Журн. физ. химии. 1998. Т. 72. № 7. С. 1309.

15. Тамеев А.Р., Козлов А.А., Берендейев В.И., Лунина Е.В., Котов Б.В., Ванников А.В. // Журн. науч. и прикл. фотографии. 1997. Т. 42. № 2. С. 38.
16. Mal'tsev E.I., Brusentseva M.A., Kolesnikov V.A., Berendyaev V.I., Kotov B.V., Vannikov A.V. // Appl. Phys. Lett. 1997. V. 71. № 24. P. 3480.
17. Mal'tsev E.I., Brusentseva M.A., Berendyaev V.I., Kolesnikov V.A., Lunina E.V., Kotov B.V., Vannikov A.V. // Mendeleev Commun. 1998. № 1. P. 31.
18. Шапиро Б.И. // Успехи химии 1994. Т. 63. № 3. Р. 243.
19. Dietz F. // J. Signal. AM. 1973. V. 1. P. 157.
20. Акимов И.А., Денисюк И.Ю., Мешков А.М. // Оптика и спектроскопия. 1994. Т. 77. № 6. Р. 858.
21. Shelkovnikov V.V., Zhuravlev F.A., Orlova N.A., Plekhanov A.I., Safonov V.P. // J. Mater. Chem. 1995. V. 5. № 9. P. 1331.

Electroluminescent Properties of Aromatic Polyimides in the Presence of Organic Luminophores

E. I. Mal'tsev*, D. A. Lypenko*, B. I. Shapiro, M. A. Brusentseva*, E. V. Lunina***,
V. I. Berendyaev***, B. V. Kotov***, and A. V. Vannikov***

* Frumkin Institute of Electrochemistry, Russian Academy of Sciences,
Leninskii pr. 31, Moscow, 117071 Russia

** Khimpotoproekt Research Center,
Leningradskii pr. 47, Moscow, 125167 Russia

*** Karpov Institute of Physical Chemistry, State Research Center of the Russian Federation,
ul. Vorontsovo pole 10, Moscow, 103064 Russia

Abstract—For aromatic polyimides containing cyanine dyes as dopants, the effect of the energy characteristics of electroactive polymer medium and the redox potentials ($E_{1/2}^{ox}$ and $E_{1/2}^{red}$) of luminophores as impurity emitting centers on the electroluminescent properties of the system was studied. It was shown that electroluminescence can be generated for the dye molecules if their $E_{1/2}^{ox}$ and $E_{1/2}^{red}$ values correspond to the levels arranged within the forbidden band at a certain distance from the highest occupied and the lowest unoccupied orbitals of the polymer matrix. In the electroluminescence spectra of some of the systems studied, a band assigned to the emission of J-aggregates, which form the nanocrystalline phase of the dyes in the polymer, was first found. The electroluminescence spectrum of J-aggregates exhibits a narrow band shifted to longer wavelengths relative to the absorption spectrum of the monomeric form.