

ОБРАБАТЫВАЕМЫЕ РАСТВОРОМ ПОЛИМЕРНЫЕ СВЕТОДИОДЫ

Узенбаева Сабина Ахмадуллаевна

студент, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, РФ, г. Казань

Шульгин Дмитрий Анатольевич

канд. физ. – мат. наук, доцент, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, РФ, г. Казань

POLYMER LIGHT-EMITTING DIODES

Sabina Uzenbaeva

student, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Russian, Kazan

Dmitriy Shulgin

candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate Professor, Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI, Russian, Kazan

Аннотация. В статье представлен обзор обрабатываемых раствором полимерных светодиодов (PLED) и основных способов их получения. PLED представляются как органические электролюминесцентные материалы следующего поколения. В ходе исследования были проанализированы основные достижения в области молекулярных критериев проектирования и применения различных материалов в качестве излучателей в полимерных светодиодах.

Abstract. The article contains an extensive overview of polymer light-emitting diodes (PLEDs) and the main methods for their production. PLEDs are presented as next-generation organic electroluminescent materials. In a study the prerequisites for the development of the main achievements in the field of molecular design criteria and the application of different materials as emitters in polymer light-emitting diodes.

Ключевые слова: полимерный светодиод; дырочно-транспортный слой; полистиролсульфонат; поливинилкарбазол; инжекция носителей заряда; инжекция дырок; излучающий слой; фотолюминесценция; максимальная яркость; электролюминесценция.

Keywords: polymer light-emitting diodes; hole transport layer; polystyrene sulfonate; polyvinylcarbazole; carrier injection; hole injection; emissive layer; photoluminescence; maximum luminance; electroluminescent.

В последние время огромный интерес привлекают обрабатываемые раствором полимерные светодиоды (PLED), благодаря их большому спросу в плоскостельных дисплеях и твердотельных источниках освещения. По сравнению с высокоэффективными фосфоресцентными излучателями с зеленым и красным светом, развитие видов с синим светом остается большой проблемой. В первую очередь из-за их относительно глубоких высших уровней энергии на молекулярной орбите (HOMO) и мелких низких уровней энергии на незанятой молекулярной орбите (LUMO), которые не благоприятно влияют на инжекцию носителей заряда. Для решения данной проблемы считается эффективной стратегия: в основную цепь синих светоизлучающих полимеров включить ароматический гетероциклический фрагмент - полимер 9,9-диоктилфлуорена, что позволит облегчить инжекцию носителей заряда, а вследствие чего улучшатся и характеристики устройства. Одним из наиболее интересных примеров, позволяющим повысить эффективность электролюминесцентного анализа и спектральной стабильности, является добавление молекул: дибензотиофен-S, S-диоксида (SO). Однако молекула SO может одновременно снизить уровни энергии как HOMO, так и LUMO, что благоприятно для инжекции электронов, но неблагоприятно для дырок, но в результате это приводит к несбалансированной инжекции носителей заряда в полимере [(9,9-диоктил-2, 7-флуорен) + (дибензотиофен-S, S-диоксид)] (PFSO). Для достижения сбалансированности в излучающем слое желательно в состав добавить дополнительный дырочно-транспортный слой (HTL) между полистиролсульфонатом (PEDOT:PSS) и светоизлучающим слоем на основе сополимера PFSO.

Стандартные материалы для переноса дырок (HTM) изготавливаются из производных карбазола или триариламина, которые имеют соответствующие уровни энергии HOMO, которые облегчают инжекцию дырок от анода. Наиболее популярным материалом HTL является поливинилкарбазол (PVK), который образует прочную пленку при термическом отжиге и обеспечивает последовательное осаждение светоизлучающего слоя с помощью технологии обработки раствора. Тем не менее, PVK имеет относительно глубокий уровень энергии HOMO и относительно низкую подвижность дырок из-за несопряженной структуры, что приводит к повышению напряжения возбуждения. Данные недостатки поливинилкарбазола могут быть устранены путем изменения его молекулярной структуры, но сложный синтез и остаточные примеси значительно уменьшают интерес к разработке производных. В качестве простого решения можно смешать определенное количество HTM в PVK, что повысит подвижность дырок.

Например, для получения эффективного дырочно-транспортного слоя можно добавить коммерчески доступный материал BCFN (N - ([1,1'-бифенил] -4-ил) -9,9-диметил-N- (4-(9-фенил-9Н-карбазол-3-ил) фенил) -9Н-флуорен- 2-амин) в классическую дырочную транспортировку поливинилкарбазола.

Светоизлучающие устройства синего цвета на основе PFSO, сконструированные с использованием недавно разработанного дырочного транспортного слоя, состоящего из PVK и BCFN в соответствующих весовых соотношениях, продемонстрировали замечательную световую эффективность и электролюминесцентную стабильность.

Значительно улучшенные электролюминесцентные характеристики устройств на основе смешанной пленки PVK: BCFN по сравнению с устройствами управления могут быть отнесены к соответствующему уровню энергии HOMO, который может привести к инжекции в каскадные отверстия и образованию однородного и надежного покрытия. Особенно важным

является тот факт, что спектры электролюминесценции остаются почти неизменными при увеличении рабочего напряжения с 5 до 15 В, что свидетельствует о превосходной стабильности получаемых устройств. Поглощение ультрафиолетового света в PVK, BCFN and PFSO находятся на 370, 400 и 426 нм соответственно, что указывает на больший оптический интервал для BCFN, чем для PFSO, и, таким образом, BCFN можно использовать в качестве эффективного материала для переноса дырок в PFSO [2, с. 12]. Профиль поглощения смешанной пленки PVK:BCFN имеет такое же начало поглощения в точке 400 нм, как и BCFN. Особое значение имеет то, что перекрытие поглощения HTL и излучения PFSO незначительно, что указывает на то, что смешанная пленка PVK: BCFN не приведет к потере фотонов из эмиссионного слоя.

Наилучшие характеристики пленки PVK: BCFN были получены с весовым соотношением 3: 7, максимальная внешняя квантовая эффективность ($EQE_{\max} = 8,6\%$) и максимальная яркость ($L_{\max} = 14\,965 \text{ кд м}^{-2}$), максимальная световая отдача $7,2 \text{ кд А}^{-1}$ при яркости 100 кд м^{-2} и $6,8 \text{ кд А}^{-1}$ при 1000 кд м^{-2} . На данный момент, это самая высокая световая отдача при высокой яркости 1000 кд м^{-2} , которая может быть достигнута с помощью синих светодиодов [1, с. 540].

Интенсивность фотолюминесценции PFSO значительно улучшается за счет включения HTL, так как происходит гашение экситонов на границе раздела двух материалов. Например, пленка PFSO, нанесенная на PEDOT: PSS, имеет относительно низкие значения квантового выхода ФЛ (18,3%). После добавления PVK или PVK: BCFN (с массовым соотношением 3: 7) в качестве дырочно-транспортного слоя показатели увеличиваются до 49,2% и 52,6%, соответственно [3, с. 303].

Данные наблюдения показывают, что недавно разработанный PVK: BCFN может быть эффективным транспортным слоем дырок для строительства высокоэффективных синих полимерных светодиодов.

Список литературы:

1. J.H. Burroughes, D.D. C. Bradley, A.R. Brown, R.N. Marks, K. Mackay, **R.H. Friend, P.L. Burns and A.B. Holmes** //Nature. -1990. -№ 347, P. 539–541.
2. Kong X. et al. Structure-property relationship of phosphine oxide based thermally activated delayed fluorescence molecules: First-principles study // Organic Electronics. – 2018. – № 59. – P. 7-14.
3. Zhang W. et al. Revealing the influence of hole injection material's molecular orientation on OLED's performance // Organic Electronics. – 2018. – № 59. – P. 301-305.
4. Dubey D.K. et al. Simple-structured efficient white organic light emitting diode via solution process // Microelectronics Reliability. – 2018. – № 83. – P. 293-296.
5. Афанасьев А.В. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы: монография / А.В. Афанасьев, В.П. Афанасьев, Г.Ф. Глинский, С.И. Голудина; под ред. Лучинина В.В., Таирова Ю.М. — Москва: Физматлит, 2006. — 552 с.
6. Дзидзигури Э.Л. Процессы получения наночастиц и наноматериалов. Нанотехнологии: учебное пособие / Э.Л. Дзидзигури, Е.Н. Сидорова. — Москва: МИСИС, 2012. — 71 с.