

ساخت دیود نور گسیل آلی زرد و قرمز با اضافه کردن ماده رنگزا به روش لایه‌نشانی تک‌بوته‌ای

محمد جانقوری^{۱*}، عزالدین مهاجرانی^۲، مهدی قلی‌پور اصل^۲، پویا پناهیان‌فر^۳

۱- استادیار، دانشکده فناوری‌های صنعتی، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران، صندوق پستی: ۴۱۹-۵۷۱۵۵

۲- استاد، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۹۸۳۹۶۹۴۱۱

۳- دانشجو کارشناسی، دانشکده فناوری‌های صنعتی، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران، صندوق پستی: ۴۱۹-۵۷۱۵۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۱۲ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۹/۳/۲۰

چکیده

در این تحقیق دیود نور گسیل آلی زرد و قرمز با استفاده از لایه نشانی تک بوته‌ای ساخته شد. مشخصات الکتریکی، مشخصات رنگی و نوری دیودهای ساخته شده مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش اثر دوپ کردن سه ماده رنگزای کومارین، قرمز نیلی و ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین در محیط کمپلکس آلومینیم (Alq₃) که در منبع تبخیر آن از منبع تبخیر تک‌بوته‌ای به جای استفاده از منبع تبخیر سه و دو بوته، مورد بررسی قرار گرفت. دیود نور گسیل قرمز با دوپ کردن قرمز نیلی: کومارین و دیود نور گسیل زرد با دوپ کردن ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: کومارین، داخل Alq₃ به دست آمد. دوپ هم‌زمان قرمز نیلی: کومارین و ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: کومارین ولتاژ شروع روشنایی و کاری را نسبت به قرمز نیلی و ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین خالص داخل Alq₃ برای چگالی جریان ثابت کاهش داد. بازدهی نوری بالا برای نیم درصد دوپ شده حاصل شد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از یک بوته به جای سه بوته علاوه بر سادگی و ساخت فیلم یکنواخت، هزینه‌های لایه نشانی را هم پایین می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: دیود نور گسیل آلی قرمز و زرد، لایه نشانی تک بوته‌ای، بازدهی نوری، ولتاژ شروع روشنایی و کاری، دوپ.

Fabrication of Red and Yellow OLEDs with Using Single Furnace Method

M. Janghouri^{1*}, E. Mohajerani², M. Gholipour Asl¹, P. Panahianfar¹

1- Faculty of Industrial Technologies, Urmia University of Technology, Band Road, P. O. Box: 57155-419, Urmia, Iran

2- Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, P. O. Box: 1983969411, Tehran, Iran

Received: 04-05-2019

Accepted: 30-09-2019

Available online: 09-06-2020

Abstract

Red and yellow organic light-emitting diodes (OLEDs) with using a single furnace method have been fabricated and investigated. The current-voltage, electroluminescence, luminescence-current, and CIE characteristics of dopants coumarin 6, Nile Red and 3, 4 TPP as well as co-doping of three dopants in Alq₃ were measured. Red emission with doping of [Nile Red], [C-6: Nile Red] and yellow emission with doping of [3, 4 TPP] and [C-6:3, 4 TPP] in Alq₃ were achieved. The co-doping of dopants of [C-6: Nile Red] and [C-6:3, 4 TPP] in Alq₃ decreased the bias and turn on voltage compared to pure [Nile Red] and [3, 4 TPP] in Alq₃ devices for the same current density. The highest EL efficiency was found for a [C-6: Nile Red (1:0.5)] and [C-6:3, 4 TPP (1:0.5)]. Results of this work indicate that the performance of red and yellow OLEDs fabricated with a single furnace is a promising candidate for fabrication of low-cost yellow and red OLEDs at more homogeneous layer instead of employing of two and three furnaces. J. Color Sci. Tech. 14(2020), 73-82©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Red and yellow OLEDs, Single furnace, Efficiency, Turn on voltage, Doping.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، در حوزه کاربرد دیودهای نور گسیل آلی مانند نمایشگرها، نورپردازی، قطعات الکترونیکی آلی و غیره علاقه‌مندی بیشتری به وجود آمده است. از جمله برتری‌های OLED ها که این اشتیاق را به وجود آورده‌اند، هزینه پایین و سهولت ساخت آنهاست [۱-۳]. اشباع و قابلیت تنظیم ماده رنگزا، یک عامل مهم برای کاربردهای بسیاری از جمله نمایشگرهای رنگی و لیزرهای برانگیخته شده توسط جریان الکتریکی است [۴]. به دلیل خصوصیات نوری ذاتی جامدات آلی، این OLED ها اغلب طیف گسیلی پهنی نشان می‌دهند که خلوص رنگ رضایت‌بخشی ندارد. با این حال، دیودهای نور گسیل آلی از رنگ آبی تا قرمز مشاهده شده‌اند. افزودن مولکول‌ها در یک ماده میزبان، برای تقویت بهره‌وری لومینانس و جریان در OLED ها مفید است [۵]. در ساخت دیود نورگسیل آلی برای تنظیم کردن رنگ، افزایش چگالی حامل‌های بار در قطعه و یا افزایش بازدهی از فرآیند دوپ یک ماده به یک محیط میزبان استفاده می‌کنند که نسبت تعداد مولکول‌های دوپ در مقایسه با مولکول‌های محیط میزبان کوچک‌تر است. دوپ ماده در داخل یک محیط میزبان بیشتر در جهت افزایش رسانندگی و یا جابجایی طول موجی می‌باشد. به همین خاطر دوپ یک ماده از جهت ساخت دیودهای نورگسیل آلی با بازدهی بالا و تنظیم رنگ مشخص دارای اهمیت است [۶-۹]. دوپ یک ماده از طریق فرآیند مخلوط کردن ماده میزبان و ماده رنگزا در حلال مشترک و لایه نشانی چرخشی آن‌ها و یا با تبخیر هم‌زمان این دو ماده امکان‌پذیر می‌باشد. فرآیندهای مختلفی در دیودهای آلی دوپ‌شده می‌تواند منجر به تله افتادن اکسیتون‌ها در تله‌ها شود. ساده‌ترین فرآیند، انتقال انرژی می‌باشد. انتقال انرژی یعنی گسیل از دهنده (محیط میزبان) و جذب فوتون بوسیله ماده رنگزای دوپ شده و در نهایت گسیل از ماده رنگزا می‌باشد. این فرآیند برای نمونه‌هایی که از لحاظ نوری دارای چگالی بالایی‌اند (درصد بالا) می‌تواند موثر باشد. ولی برای دیودهای آلی عملی نمی‌باشد. فیلم‌های آلی باید خیلی نازک (کمتر از ۵۰ نانومتر) باشند تا در دیود نور گسیل آلی عمل کنند [۱۰-۱۳]. در این ضخامت، ماده رنگزا به حد کافی توانایی جذب مقدار گسیل معقول از بخش دهنده را ندارد. در حد درصدهای بالای ماده رنگزای دوپ شده، اثر خود خاموشی می‌تواند منجر به کاهش عملکرد قطعه شود. این نشان دهنده این می‌باشد که فرآیندهای دیگری بایستی در درک طیف فوتولومینانس دیودهای آلی دوپ شده در نظر گرفته شود. به طور واضح، سازوکارهای دیگری علاوه بر انتقال انرژی فرستار، بایستی در مواد رنگزای فوتولومینانس دوپ‌شده در دیودهای آلی فعال باشد. سازوکار دیگری که باید مدنظر باشد به تله افتادن اکسیتون‌ها و حامل‌های بار در ماده رنگزای دوپ شده می‌باشد [۱۴].

یک اکسیتون که در فصل مشترک لایه انتقال دهنده الکترون و حفره تولید می‌شود بعد از طی مسیری در داخل محیط میزبان توسط ماده رنگزا به تله می‌افتد. اگر ماده رنگزا جذب انرژی پایینی تری نسبت به انرژی اکسیتونی انتقال دهنده الکترون و حفره داشته باشد، انتقال انرژی به ماده رنگزا صورت می‌گیرد [۱۵]. دوپ کردن توسط روش تبخیر حرارتی، به وسیله دو منبع تبخیر جداگانه، یکی برای ماده میزبان و دیگری برای ماده مهمان انجام می‌شود [۱۶-۱۸]. فرآیند تبخیر، در خصوص دوپ کردن با سطوح انرژی بالاترین تراز انرژی اشغال شده (HOMO) و پایین‌ترین تراز انرژی اشغال نشده (LUMO) در ماده میزبان، باید با دقت زیادی انجام گیرد چرا که نوسانات کم هم منجر به تغییر فام قابل ملاحظه در دستگاه خواهد شد [۱۹-۲۲]. افزودن ماده رنگزا به ترکیب میزبان هم از طریق ترکیب ماده مهمان و ماده میزبان در نقطه تماس و هم از طریق تبخیر هم‌زمان ماده‌ها امکان‌پذیر است. به منظور تمرکز بر عمل آمایش، این مواد بر روی یک زیرلایه که با شرایط مربوط به تبخیر، با استفاده از درجه تبخیر ثابت مربوط به هر یک از مواد میزبان و میهمان، کنترل شده است، لایه نشانی می‌شوند. در زمینه دستگاه‌های OLED، ترکیبات پورفیرین، قرمز نیلی و کومارین ۶، به عنوان مواد گسیل دهنده افزودنی قرمز و سبز، توجه بسیاری را به دلیل اشباع شدن قرمز و پررنگ شدن سبز، جلب کرده‌اند [۲۳، ۲۴]. در تحقیقات قبلی، ته‌نشین شدن ناشی از مخلوط کردن ترکیبات Alq₃: پورفیرین با استفاده از روش تک‌بوته بجای استفاده از دو بوته گزارش شده است [۲۵، ۲۶]. هدف اصلی از انجام این تحقیق، بهبود روش جدید لایه نشانی تبخیری برای دوپ کردن با یک بوته تبخیر برای ساخت دیود نورگسیل آلی زرد و قرمز می‌باشد. در این تحقیق، از یک منبع تبخیر برای ترکیب مواد رنگزا در غلظت‌های مختلف بجای دو یا سه بوته استفاده گردید. همچنین از ترکیب پورفیرین، قرمز نیلی و کومارین ۶ و Alq₃ برای مطالعه کارایی الکترو لومینانس قطعات ساخته شده به روش تبخیر با استفاده از یک منبع، استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که علاوه بر سادگی ساخت، هزینه‌های لایه نشانی نیز پایین می‌آید.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

۴،۳- دی متوکسی پورفیرین^۱ طبق روش‌های علمی سنتز و خالص‌سازی شده است [۲۷، ۲۸]. همه مواد دیگر از جمله پلی‌استارین سولفونات (poly styrenesulfonate) (PEDOT:PSS)، پلیمر پلی‌وینیل کربازول (polyvinylcarbazole) (PVK) تریس ۸- هیدروکسی کینولین آلومینیم (8-hydroxyquinolino) (Alq₃)

1- (3,4 dimethoxyphenyl porphyrin)3,4 TPP

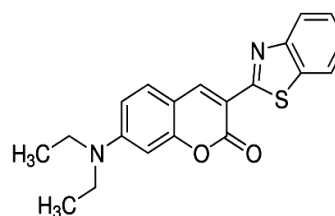
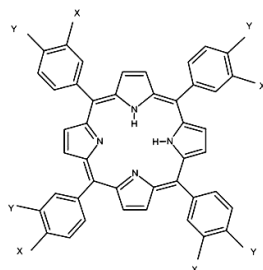
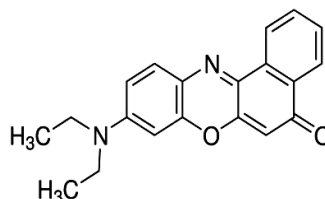
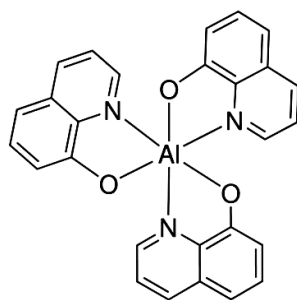
کومارین (C- (3-(2-Benzothiazolyl)-7-(diethylamino)) coumarin (6) و قرمز نیلی (9-diethylamino-5-benzo[a] phenoxazinone (Nile Red)) از شرکت سیگما-آلدیرچ خریداری شده‌اند. ساختار شیمیایی مواد در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۲- ساختار دیود نور گسیل آلی زرد و قرمز

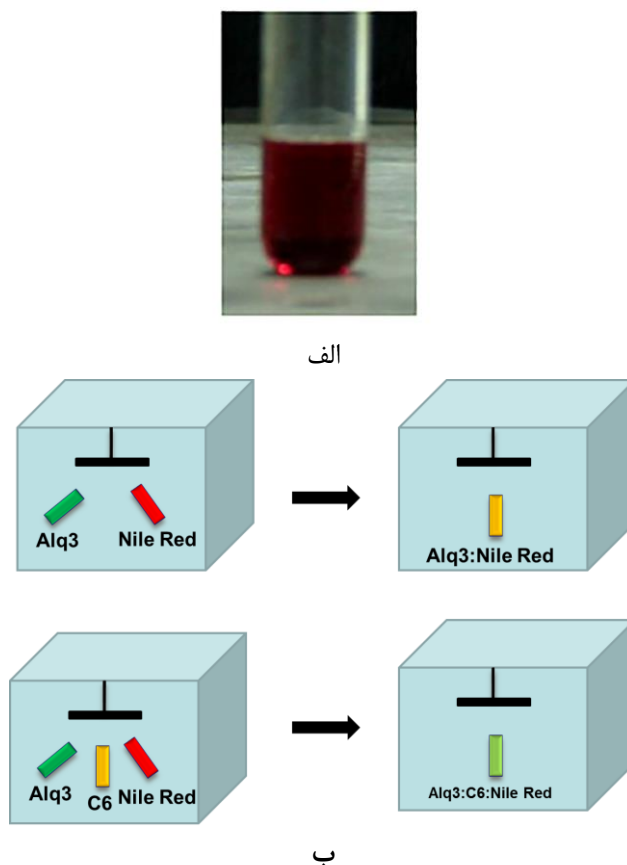
بستر اکسید فلزی قلع اینیدیم (ITO) با دقت به وسیله مواد پاک‌کننده به ترتیب استن، دی کلرومتان، اتانل، متانل و آب دی یونیزه شده و در حمام التراسونیک پاک‌سازی شده است. PEDOT: PSS به عنوان یک لایه تزریق حفره بر روی بستر ITO با ضخامت ۵۰ نانومتر به روش چرخشی پوشانده شد و برای یک ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد پخته شد. پس از این مرحله PVK بر روی نمونه با ضخامت ۸۰ نانومتر به عنوان یک لایه انتقال حفره‌ای می‌چرخد و برای یک ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد پخته می‌شود تا قله‌های تیز لایه PVK را نرم کند تا یک لایه صاف‌تر به دست آید. برای آماده‌سازی لایه انتشار نور (LEL) به عنوان مهم‌ترین لایه {Alq₃: {3, 4TPP} و Alq₃: {Nile Red} و Alq₃: {C-6: 3, 4 TPP} در دی‌کلرومتان در غلظت‌های مختلف حل شدند. سپس محلول برای ۱۵ دقیقه در حمام فراصوت گذاشته شد تا یک محلول همگن ایجاد شود. این محلول در کوره کوارتز ریخته شد و تا زمان تبخیر کامل، حلال در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه در معرض گرما قرار گرفت. در نهایت مخلوط خشک: Alq₃: {3, 4TPP}, Alq₃: {Nile Red}, Alq₃: {C-6: 3, 4 TPP}

۳- نتایج و بحث

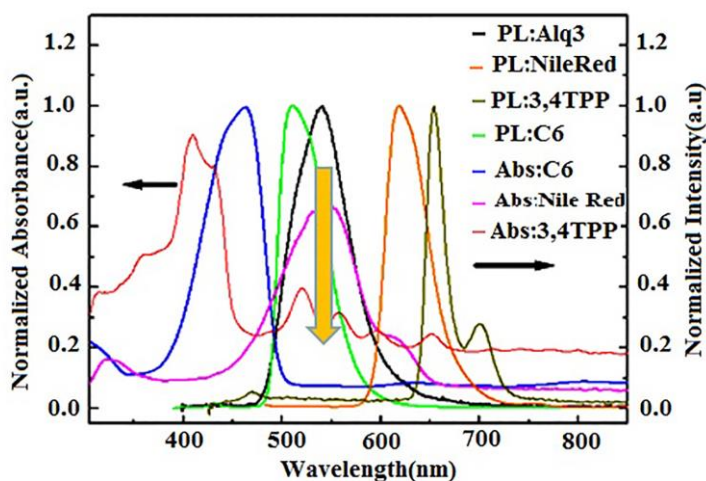
شکل ۳ هم‌پوشانی خوب بین طیف‌های جذبی کومارین، قرمز نیلی و ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین و طیف نشری Alq₃ را نشان می‌دهد. این هم‌پوشانی انتقال انرژی از Alq₃ به عنوان محیط میزبان به سه ماده کومارین، قرمز نیلی و ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین به عنوان محیط میهمان تضمین می‌کند.



شکل ۱: ساختار مولکولی مواد آلی الف) کومارین، ب) کمپلکس آلومینیم، ج) قرمز نیلی و د) ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین.



شکل ۲: الف) مخلوط آماده شده (Alq₃: {3, 4TPP} و ب) هندسه لایه‌نشانی سه ماده رنگزا برای ساخت دیود قرمز و زرد رنگ.



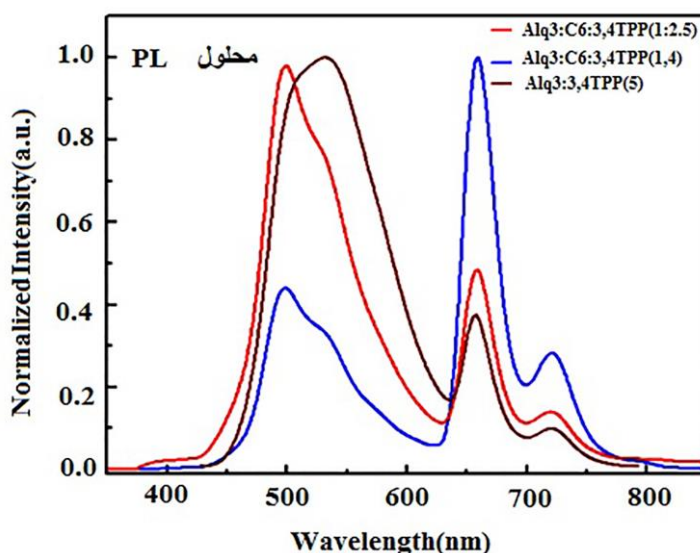
شکل ۳: مشخصات فوتولومینسانس و طیف جذب مواد رنگزا.

۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین در Alq₃، ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین در Alq₃ به صورت محلول در شکل ۴ نشان داده شده است. محلول ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین در Alq₃ و کومارین: ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین در Alq₃ سه پیک در ناحیه سبز و قرمز نشان

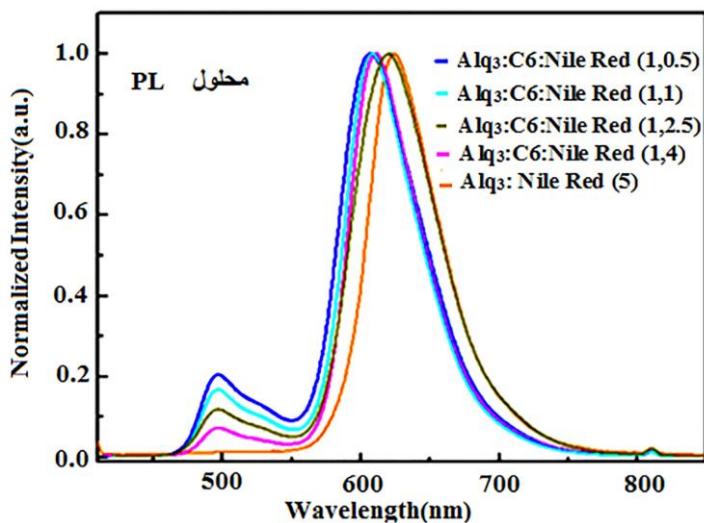
طیف فوتولومینسانس قرمز نیلی و ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین در طول موج ۶۱۸ و ۶۵۸ نانومتر گسیل قرمز می‌کنند. ولی کومارین و Alq₃ که به ترتیب به طور قوی در ناحیه طول موجی ۵۰۵ و ۵۱۵ نانومتر گسیل می‌کند. طیف‌های فوتولومینسانس مخلوط کومارین:

قرمز نیلی: Alq_3 دو پیک در ناحیه طول موجی سبز و قرمز وجود دارد. از شکل ۴ معلوم می‌باشد که هم‌پوشانی طیفی بین قرمز نیلی و گسیل کومارین: Alq_3 بایستی بهتر از ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین و گسیل کومارین: Alq_3 باشد. اینجا انتقال انرژی فرستر [۲۹] قوی بین کومارین: Alq_3 و قرمز نیلی نسبت به دی متوکسی پورفیرین مشاهده می‌شود. علاوه بر هم‌پوشانی طیفی بین محیط میزبان و میهمان، مخلوط کردن یکنواخت مواد نیز لازم می‌باشد. زیرا گستره انتقال انرژی فرستر فقط چند نانومتر می‌باشد.

می‌دهد. این نشان دهنده این می‌باشد که انتقال انرژی فرستر [۲۹] از Alq_3 به ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین و ماده رنگزای کومارین به صورت کامل صورت نگرفته است. شرط انتقال انرژی کامل وقتی حاصل می‌شد که فقط طیف ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین را داشته باشیم. شکل ۵ طیف فوتولومینسانس مخلوط قرمز نیلی: Alq_3 و کومارین: قرمز نیلی: Alq_3 را نشان می‌دهد. برای محلول قرمز نیلی: Alq_3 فقط یک پیک در ناحیه طول موجی ۶۴۳ نانومتر وجود دارد که نشان دهنده این می‌باشد که انتقال انرژی کاملی صورت گرفته است. ولی برای محلول کومارین:



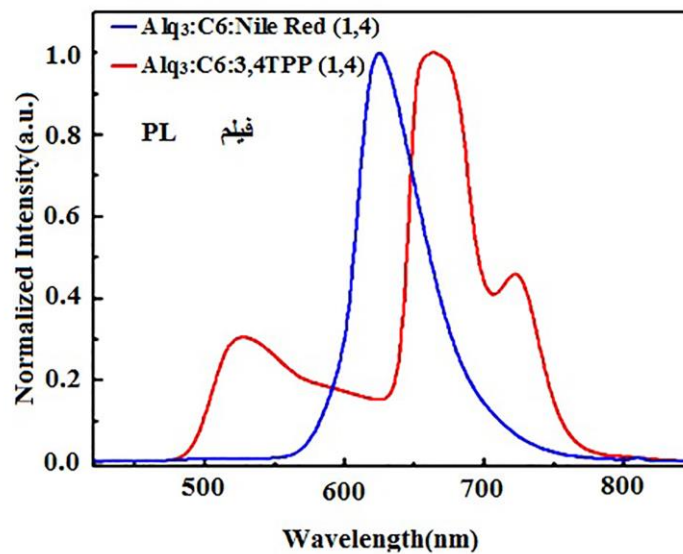
شکل ۴: طیف فوتولومینسانس محلول کومارین: ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین و ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq_3 .



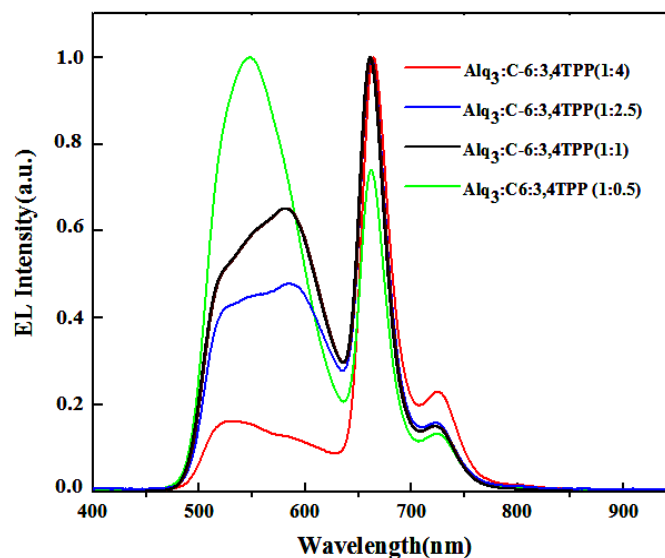
شکل ۵: طیف فوتولومینسانس مخلوط قرمز نیلی: Alq_3 و کومارین: قرمز نیلی: Alq_3 .

دوپ شده در کومارین: ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq₃ را برای درصدهای مختلف را نشان می‌دهد. برای ماده تکی دوپ شده یک پیک در ۵۳۶ نانومتر مربوط به Alq₃ و دو پیک در ۶۶۰ و ۳۵۷ نانومتر وجود دارد. وقتی که دو ماده با هم داخل Alq₃ دوپ می‌شود انرژی از Alq₃ و کومارین به ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین انتقال می‌یابد. بنابراین برای سیستم هم‌زمان دوپ شده پیک گسیل در ناحیه سبز کاهش پیدا می‌کند و پیک گسیل در ناحیه قرمز افزایش پیدا می‌کند. با ادامه دادن این کار مواد رنگزای دیگر در Alq₃ دوپ شد. به منظور مطالعه اثر مخلوط کردن ماده میزبان و میهمان در طیف الکترولومینسانس دیودهای ساخته شده، لایه نور گسیل قرمز نیلی: Alq₃ و کومارین: قرمز نیلی: Alq₃ از درصدهای مختلف ساخته شد.

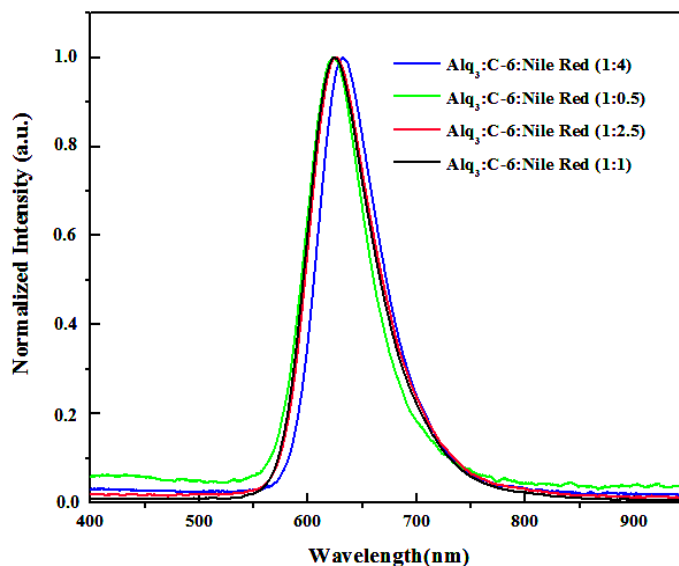
طیف فوتولومینسانس فیلم تشکیل شده از کومارین: قرمز نیلی: Alq₃ و کومارین: ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq₃ در شکل ۶ نشان داده شده است. برای کومارین: قرمز نیلی: Alq₃ انتقال انرژی کامل صورت می‌گیرد. ولی برای کومارین: ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq₃ دو پیک گسیل در طیف فوتولومینسانس مشاهده می‌شود. وقتی که مواد از قبل مخلوط شده به روش تبخیر گرمایی لایه‌نشانی می‌شود. مولکول‌های تبخیر شده در یک فیلم فشرده می‌شود. هر چقدر چگالی مولکولی بیشتر باشد، ضریب شکست بیشتر خواهد شد. در نتیجه شعاع انتقال انرژی کوچک‌تر و آهنگ انتقال انرژی افزایش خواهد یافت [۳۰] شکل ۷ طیف الکترولومینسانس دیودهای نورگسیل آلی ساخته شده برای ماده تک دوپ شده دای متوکسی پورفیرین: Alq₃ و دو ماده



شکل ۶: طیف فوتولومینسانس فیلم تشکیل شده از کومارین: قرمز نیلی: Alq₃ و کومارین: ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq₃.



شکل ۷: طیف الکترولومینسانس دیودهای نورگسیل آلی ساخته شده برای ماده تک دوپ شده ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq₃ و کومارین: ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq₃.

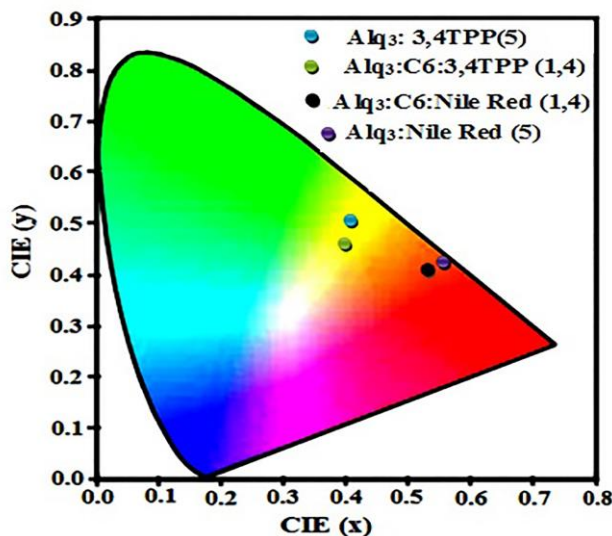


شکل ۸: طیف الکترو لومینسانس قرمز نیلی: Alq₃ و کومارین: قرمز نیلی: Alq₃.

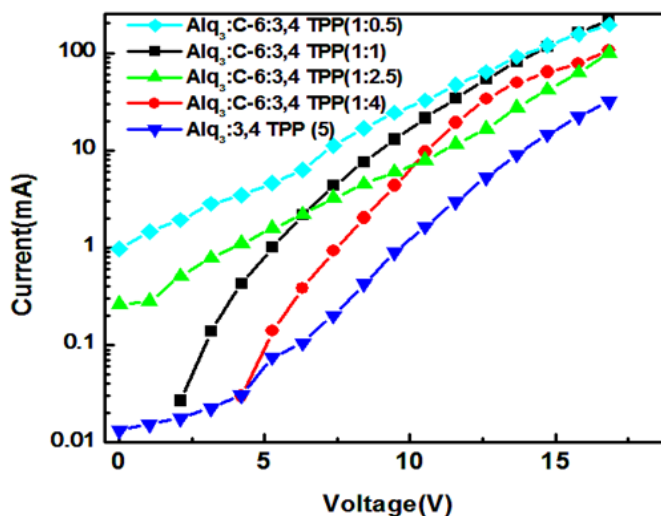
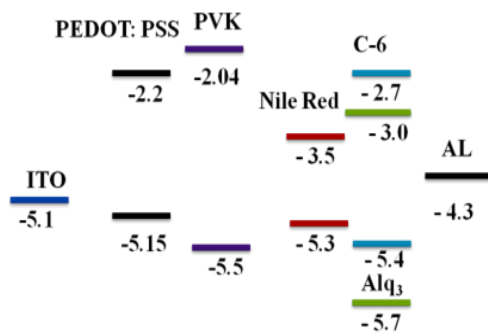
دیویدهای ساخته شده را نشان می‌دهد. ولتاژ اعمالی برای دیویدهای کومارین: ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq₃ نسبت به ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq₃ بهبود پیدا کرده است. برای مثال برای کومارین: ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq₃ به عنوان لایه نور گسیل ولتاژ کاری ۷/۹ ولت می‌باشد در صورتی که برای ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین: Alq₃ ولتاژ کاری ۱۲ ولت می‌باشد. دیود نور گسیل که به طور هم‌زمان دوپ شده عملکرد بهتری نسبت به دیود نور گسیل تک دوپ شده دارد. شکل ۱۱ ترازهای انرژی را برای مواد به کار برده شده در ساختار دیود آلی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، برای ماده رنگزای قرمز نیلی داخل Alq₃ به خاطر انتقال انرژی مناسب، طیف گسیلی Alq₃ حذف شده است و هیچ گسیلی از Alq₃ در قرمز نیلی و کومارین: قرمز نیلی که داخل Alq₃ دوپ شده است مشاهده نشد. بنابراین انتخاب نیلی‌رد به عنوان میهمان بهتر از ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین می‌باشد.

شکل ۹ مختصات رنگی را برای دیود نور گسیل زرد و قرمز را در ولتاژ اعمالی ۱۴ ولت را نشان می‌دهد. نتایج مختصات رنگی و طیف الکترو لومینسانس ماده رنگزای قرمز نیلی نشان می‌دهد که ماده رنگزای قرمز نیلی نسبت به ۳، ۴- دی متوکسی پورفیرین به سمت قرمز جا به جایی پیدا کرده است. شکل ۱۰ تغییرات جریان-ولتاژ



شکل ۹: مختصات رنگی برای دیود نور گسیل زرد و قرمز در ولتاژ اعمالی ۱۴ ولت.



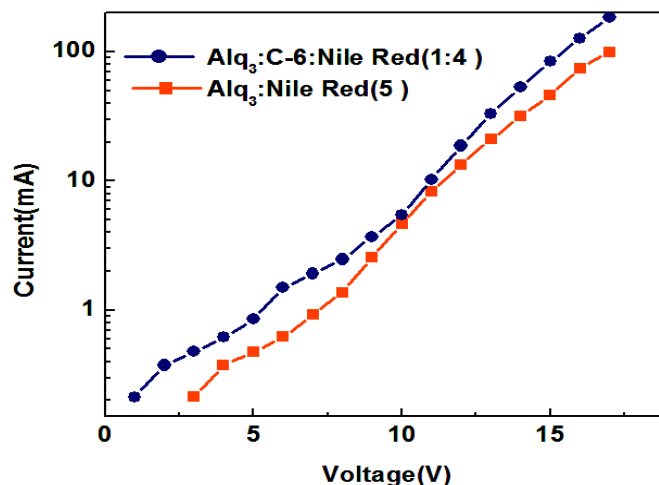
شکل ۱۰: تغییرات جریان-ولتاژ.

شکل ۱۱: ترازهای انرژی برای مواد به کار برده شده در ساختار دیود آلی.

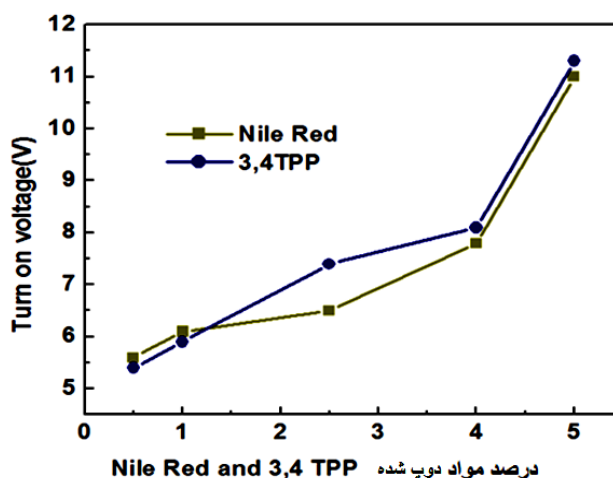
می‌باشد مشاهده می‌شود. این فرآیند ممکن است در تمامی قطعات هم زمان دوپ شده باشد [۳۴]. سوم، قطعه هم دوپ شده فرآیند تزریق بار به لایه نور گسیل را بهتر انجام می‌دهد [۳۵]. به علاوه الکترون و حفره بیشتری در لایه نور گسیل تشکیل می‌شود و باز ترکیب در این ناحیه افزایش می‌یابد. این منجر به افزایش بازدهی نوری در قطعه هم دوپ شده بدون افزایش ولتاژ کاری و ولتاژ روشنایی شود [۳۶]. بیشینه لومینسانس ۱۲۴۱ کاندلا بر مترمربع در ولتاژ اعمالی ۱۸ ولت برای {C-6:3,4TPP (1:0.5)} که داخل Alq_3 دوپ شده است به دست آمد. شکل ۱۲ تغییرات جریان و ولتاژ را برای درصدهای مختلف ماده رنگزای قرمز نیلی نشان می‌دهد.

دیود ساخته شده از کومارین: قرمز نیلی: Alq_3 دارای روشنایی ۴۳۵ کاندلا بر متر مربع در ولتاژ اعمالی ۱۸ ولت می‌باشد. در حالی که قرمز نیلی: Alq_3 دارای روشنایی ۱۲۵ کاندلا بر متر مربع در همان ولتاژ اعمالی می‌باشد. مقدار کم کومارین که داخل Alq_3 دوپ شده است لومینسانس قطعه را بطور قابل توجهی بالا می‌برد. شکل ۱۳ ولتاژ شروع روشنایی برای قرمز نیلی و ۳، ۴ - دی متوکسی پورفیرین را برای درصدهای مختلف را نشان می‌دهد.

سازوکار گسیل در دیودهای نور گسیل ساخته شده از کومارین: قرمز نیلی: Alq_3 و کومارین: ۳، ۴ - دی متوکسی پورفیرین: Alq_3 تشکیل اکسایتون به وسیله الکترون و حفره تزریق شده از کاتد و آند می‌باشد [۳۱]. به علاوه، به نظر می‌رسد که عملکرد الکترو لومینسانس مانند روشنایی و بازدهی دیود نوری بر پایه هم دوپ شده به انتقال انرژی و انتقال بار از Alq_3 به دوپونت‌ها بستگی دارد [۳۲]. اول اینکه طیف فوتولومینسانس Alq_3 هم پوشانی بیشتری با طیف جذبی قرمز نیلی و ۳، ۴ - دی متوکسی پورفیرین و کومارین دارد که این انتقال انرژی موثر را ممکن می‌سازد. دوم برای قطعات هم دوپ شده، الکترون از آلومینیم به تراز LUMO مولکول Alq_3 و سپس به تراز LUMO کومارین و در نهایت به تراز LUMO ماده رنگزای قرمز نیلی به عنوان انتقال دهنده الکترون انتقال می‌یابند. در همان لحظه حفره‌ها از اکسید قلع انیدیم به تراز HOMO پلیمر PEDOT:PSS و پلی وینیل کربازول به عنوان تزریق کننده و انتقال دهنده حفره تزریق می‌شوند. سرانجام به تراز HOMO ماده رنگزای قرمز نیلی وارد شده و باز ترکیب در این ترکیب صورت می‌گیرد [۳۳]. در نتیجه یک باند الکترو لومینسانس قرمز که طول موج گسیلی آن در ۶۲۳ نانومتر



شکل ۱۲: تغییرات جریان و لومینسانس برای درصد‌های مختلف ماده رنگزای قرمز نیلی.



شکل ۱۳: ولتاژ شروع روشنایی برای درصد‌های مختلف ماده رنگزای قرمز نیلی و ۳، ۴-دی متوکسی پورفیرین.

افزونه ای در مقایسه با تک افزونه‌ای قرمز نیلی و ۳، ۴-دی متوکسی پورفیرین در Alq₃ برای شدت جریان یکسان، کاهش پیدا کرد. در نهایت نتیجه‌گیری شد که این روش برای ساخت OLED های قرمز و زرد بسیار آسان است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه صنعتی ارومیه برای همکاری در انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند.

۴- نتیجه‌گیری

خصوصیات گسیل شونده افزونه قرمز نیلی، C-6 و ۳، ۴-دی متوکسی پورفیرین در لایه‌های Alq₃ را با منبع تبخیر تک بوته بجای منبع تبخیر دو بوته و سه بوته، گزارش شد خصوصیات الکترولومینانس تحت بررسی قرار گرفت. مکان قله الکترولومینانس، با افزودن غلظت قرمز نیلی در Alq₃ به جای افزودن ۳، ۴-دی متوکسی پورفیرین، از رنگ زرد به قرمز تغییر پیدا کرد. برای OLED های زرد و قرمز، بیشترین بهره‌وری الکترولومینانس در افزودن ۳، ۴-دی متوکسی پورفیرین و قرمز نیلی با غلظت ۰.۵ wt% پیدا شد. ولتاژ بایاس در لایه‌های دو

۵- مراجع

1. S. Grigalevicius, D. Tavgeniene, G. Krucaite, D. Blazevicius, R. Griniene, Yi-Ni. Lai, H. H. Chiu, C.H. Chang, Efficient blue and green phosphorescent OLEDs with host material containing electronically isolated carbazolyl fragments. *Opt. Mater.* 79(2018), 446-449.
2. J. Hu, S. Hu, C. Lu, Y. Huang, K. Xu, X. Wang, Assistant dopant system in solution processed phosphorescent OLEDs and its mechanism reveal. *Opt. Mater.* 75(2018), 513-520.

3. T. Lin, Q. Song, Z. Liu, B. Chu, W. Li, Y. Luo, C. S. Lee, Z. Su, Y. Li, Effects of acceptor on the performance of exciplex-based OLED. *Synth. Met.* 234(2017), 95-99.
4. M. Regnat, K. P. Pernstich, B. Ruhstaller, Influence of the bias-dependent emission zone on exciton quenching and OLED efficiency. *Org. Electron.* 70(2019), 219-226.
5. Y. Jia, S. Wu, Y. Zhang, S. Fan, X. Zhao, H. Liu, X. Dong, S. Wang, X. Li, Achieving non-doped deep-blue OLEDs by applying bipolar imidazole derivatives. *Org. Electron.* 69(2019), 289-296.
6. H. Peng, A. R. Yu, S. B. Liu, Y. He, X. Q. Chen, Y. M. Hu, Q. Zeng, J. J. Qin, Y. J. Tang, H. N. Xuxie, G. Y. Zhong, X. Y. Hou, Coulomb effect induced intrinsic degradation in OLED. *Org. Electron.* 65(2019), 370-374.
7. M. H. Tsai, Y. H. Hong, C. H. Chang, H. C. Su, C. C. Wu, A. Matoliukstyte, J. Simokaitiene, S. Grigalevicius, J. V. Grazulevicius, C. P. Hsu, High-efficiency blue organic light-emitting diodes using a 3,5-di(9H-carbazol-9-yl) tetraphenylsilane host via a solution-process. *Adv. Mater.* 19(2007), 862.
8. E. L. Williams, K. Haavisto, J. Li, G. E. Jabbour, Excimer-based white phosphorescent organic light-emitting diodes with nearly 100 % internal quantum efficiency. *Adv. Mater.* 19(2007), 197-202.
9. M. Janghouri, S. Minasian, M. Mahmoudi, S. Eyvazi, Photo/electroluminescence and electron transport properties of new zinc complexes. *Opt. Mater.* 89 (2019), 488-493.
10. M. Janghouri, White-light-emitting devices based on Nile Red and π electron rich [Zn4core] complex, *Opt. Quant. Electron.* 49 (2017), 410
۱۱. پوررادی، ک. قانی، م. مهدوی. سنتز نانوساختار هیدروکسید الی های دوگانه روی-آلومینیم و بررسی اثر آن بر بازدهی سلول خورشیدی پروسکایتی. نشریه علمی علوم و فناوری رنگ. (۱۳۹۷) ۱۲، ۲۶۹-۲۶۱
12. J. Peng, X. Xu, X. J. Feng, L. Li, Fabrication of solution-processed pure blue fluorescent OLED using exciplex host. *J. Lumin.* 198(2018), 19-23.
13. A. B. Chwang, R. C. Kwong, J. J. Brown, Graded mixed-layer organic light-emitting devices. *Appl. Phys. Lett.* 80(2002) 725.
14. M. Janghouri, M. M. Amini, Effect of zinc oxide doping on electroluminescence and electrical behavior of metalloporphyrins-doped samarium complex. *J. Electron. Mater.* 47 (2018), 2761-2767.
15. L. J. Zhua, J. Wanga, T. G. Renga, C. Y. Li, D. C. Guoa and C. C. Guoa, Effect of substituent groups of porphyrins on the electroluminescent properties of porphyrin-doped OLED devices. *J. Phys. Org. Chem.* 23(2010), 190.
۱۶. ن. نصیری زاده، م. دهقانی، س. جعفری، تخریب ماده رنگزای بازیگ قرمز ۱۳ با فرآیند ترکیبی سونوالکتروشیمی در حضور نانوذرات TiO_2 . نشریه علمی علوم و فناوری رنگ. (۱۳۹۵) ۱۰، ۱۴۴-۱۳۷.
17. F. A. Angel, J. U. Wallace, C. W. Tang, Effect of lithium and silver diffusion in single-stack and tandem OLED devices. *Org. Electron.* 42(2017), 102-106.
18. J. Zhao, X. Du, S. Yuan, C. Zheng, H. Lin, S. Tao, Highly efficient green and red OLEDs based on a new exciplex system with simple structures. *Org. Electron.* 43(2017), 136-141.
۱۹. م. حسین نژاد، س. مرادیان، ک. قرنجیگ، مروری بر سلول های خورشیدی دوپشته حساس شده به مواد رنگزا. نشریه علمی علوم و فناوری رنگ. (۱۳۹۵) ۴، ۷۵-۸۲
20. M. Jafari, Bahram Bahrami, Emission properties of porphyrin compounds in new polymeric PS:CBP host. *Appl. Phys. A.* 119 (2015) 1491-1497.
21. J. Hu, S. Hu, C. Lu, Y. Huang, K. Xu, X. Wang, Assistant dopant system in red phosphorescent OLEDs and its mechanism reveal. *J. Lumin.* 197(2018), 187-192.
22. C. T. Chen, Evolution of red organic light-emitting diodes: materials and devices. *Chem. Mater.* 16(2004), 4389-4400.
23. Q. Ran, Y. L. Zhang, X. Hua, M. K. Fung, L. S. Liao, J. Fan, Modulation of p-type units in tripodal bipolar hosts towards highly efficient red phosphorescent OLEDs. *Dyes Pigm.* 162(2019), 632-639.
24. M. Janghouri, E. Mohajerani, H. Hosseini, Improved electro-optical performance of oleds using pdco alloy nanoparticles supported on polypropylenimine dendrimer-grafted graphene. *J Inorg Organomet Polym.* 28 (2018), 783-789.
25. Z. Shahedi, M. Reza Jafari, Synthesis Al complex and investigating effect of doped ZnO nanoparticles in the electrical and optical efficiency of OLEDs. *Appl. Phys. A.* 123 (2017) 98.
26. Z. Abedi, M. Janghouri, E. Mohajerani, M. Alahbakhshi, A. Azari, A. Fallahi, Study of various evaporation rates of the mixture of Alq3: DCM in a single furnace crucible. *J. Lumin.* 147(2014), 9-14.
27. M. Janghouri, E. Mohajerani, A. Khabazi, Z. Abedi, H. Razavi, Effect of doping different dyes in Alq3 on electroluminescence and morphology of layers using single furnace Method. *J. Lumin.* 140(2013), 7-13.
28. A. D. Adler, F. K. Longo, J. A. Finarelli, A simplified synthesis for meso-tetraphenylporphine. *J. Org. Chem.* 32(1976), 476-476.
29. A. D. Adler, F. R. Longo, W. Shergalis. Mechanistic investigations of porphyrin syntheses. I. preliminary studies on ms-tetraphenylporphin. *J. Am. Chem. Soc.* 863(1964), 3145-3149.
30. M. D. Galanin, Luminescence of molecules and crystals, cambridge international science publishing, cambridge, 1996. 69.
31. D. Moses, High quantum efficiency luminescence from a conducting polymer in solution: A novel polymer laser dye. *Appl. Phys. Lett.* 51(2014), 0881.
32. Y. F. Chang, C. H. Yu, S. C. Yang, I. H. Hong, S. C. Jiang, H. F. Meng, H. L. Huang, H. W. Zan, S. F. Horng, Great improvement of operation-lifetime for all-solution OLEDs with mixed hosts by blade coating. *Org. Electron.* 42(2017), 75-86.
33. X. Huixia, W. Fang, W. Kexiang, M. Yanqin, L. Jie, Z. Jing, W. Hua, H. Yuying, X. Bingshe, Three acceptors based bipolar materials with tunable excited state natures and applications as non-doped blue emitters and hosts in OLEDs. *Dyes Pigm.* 155(2018), 84-92.
34. R. Braveenth, H. W. Bae, I. J. Ko, W. Qiong, Q. P. B. Nguyen, P. G. S. Jayashantha, J. H. Kwon, K. Y. Chai, Thermally stable efficient hole transporting materials based on carbazole and triphenylamine core for red phosphorescent OLEDs. *Org. Electron.* 51(2017), 463-470.
35. Y. Y. Ma, X. C. Hua, T. S. Zhai, Y. H. Li, X. Lu, S. Duhm, M.K. Fung, Doped copper phthalocyanine via an aqueous solution process for high-performance organic light-emitting diodes. *Org. Electron.* 68(2019), 236-241.
36. M. G. Helander, Z. B. Wang, J. Qiu, M. T. Greiner, D. P. Puzzo, Z. W. Liu, Z. H. Lu, Chlorinated indium tin oxide electrodes with high work function for organic device compatibility. *Sci.* 332(2011), 944-947.
37. M. Zhu, C. Yang, Blue fluorescent emitters: design tactics and applications in organic light-emitting diodes. *Chem. Soc. Rev.* 12(2013), 4963-4976.