

ساخت دیود آلی تنظیم‌پذیر رنگی با کنترل ضخامت لایه نور گسیل

محمد جانقوری^{۱*}، محمد رضا جعفری^{۲،۳}، اسما نوروزی^۴، مرضیه محمودی^۴

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

۲- دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه اراک، اراک، ایران، صندوق پستی: ۳۸۱۵۶-۸-۸۳۴۹

۳- گروه فیزیک، دانشکده فیزیک و شیمی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۹۹۳۸۹۱۱۶۷

۴- دانشجوی کارشناسی، دانشکده فناوری‌های صنعتی، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران، صندوق پستی: ۵۷۱۵۵-۴۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۸ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

چکیده

در این تحقیق دیود نور گسیل آلی با قابلیت تنظیم رنگ با استفاده هم‌زمان از دو ماده رنگزای آلی به عنوان میهمان ساخته شد. ساختار قطعه ساخته شده $ITO/PEDOT:PSS/PVK/C6:TPP:Alq_3(x\text{ nm})/BCP/Al$ می باشد. ابتدا دیود نورگسیل آلی مسدود کننده حفره ساخته شد. اثر ضخامت‌های مختلف لایه نورگسیل بر مشخصات الکتریکی، مشخصات رنگی و نوری دیودهای ساخته شده مورد ارزیابی قرار گرفت. دیود سبز در ضخامت ۱۰ نانومتر ساخته شد. با تغییر دادن ضخامت، دیود نارنجی به دست آمد. مشخص شد که با کاهش ضخامت علاوه بر بازترکیب مستقیم، بازترکیب غیرمستقیم هم اثر قابل توجهی بر رنگ دیود ایجاد می‌کند. با این کار دیود تنظیم‌پذیر رنگ با کنترل ضخامت ساخته شد. برای قطعه ۲ بیشترین روشنایی در ولتاژ ۱۲ ولت حاصل شد. در نهایت نتایج تجربی با نتایج شبیه‌سازی شده مقایسه شد.

واژه‌های کلیدی: دیود نور گسیل آلی، تنظیم رنگ، باز ترکیب غیر مستقیم، ضخامت.

Fabrication of Tunable Color Organic Diode with Thickness Control of Emission Layer

M. Janghouri^{*1}, M. Jafari^{2,3}, A. Norouzi¹, M. Mahmodi¹

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

2- Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, P. O. Box: 38156-8-8349, Arak, Iran.

3- Department of Physics, Faculty of Physics and Chemistry, Alzahra University, P. O. Box: 1993891167, Tehran, Iran

Received: 11-02-2020

Accepted: 28-06-2020

Available online: 08-02-2021

Abstract

In this study, an organic emission light diode (OLED) with the ability to adjust the color was created using two organic pigments as guests at the same time. Tunable color organic light-emitting diodes (OLEDs) using two dyes as guests have been fabricated and investigated. The structure of the manufactured part was $ITO/PEDOT:PSS/PVK/C6:TPP:Alq_3(x\text{ nm})/BCP/Al$. First, an organic norepinephrine diode blocker was made, and then the effect of different thicknesses of the Norgecil layer on the electrical characteristics, color, and optical coordinates of the diodes made was evaluated. The green diode was made at a thickness of 10 nm. By changing the thickness, an orange diode was obtained. It was found that by reducing the thickness, in addition to direct recombination, indirect recombination also has a significant effect on diode color. This made the color adjustable diode with thickness control. For part 2, the maximum brightness was obtained at 12 volts. Finally, the experimental results were compared with the simulated results. *J. Color Sci. Tech.* 15(2021), 39-45©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Organic light-emitting diode, Tunable color, Indirect recombination, Thickness.

۱- مقدمه

حد درصدهای پایین هم می‌تواند رخ دهد. علاوه بر اثر دوپ ماده رنگزا بر خواص الکتریکی و کیفیت رنگی، دوپ ماده رنگزا طول عمر قطعه را بالا می‌برد. تانگ^۷ و همکارانش نشان دادند که با دوپ کردن ماده رنگزای لیزری در کمپلکس آلومینیم، طول عمر قطعه نسبت به حالت بدون دوپ افزایش می‌یابد [۶، ۷].

طول عمر و پایداری قطعات ساخته شده با دوپ رابرین^۸ در انتقال دهنده الکترون و حفره مورد ارزیابی قرار گرفته است [۸-۱۰]. دیودهای ساخته شده بر پایه BeBq₂^۹ روشنایی نوری بالایی را نشان داد. قطعاتی با لایه نازک^{۱۰} MTDATA به عنوان تزریق کننده حفره ساخته شده‌اند و با شدت روشنایی اولیه بالا ساخته شده‌اند. فرآیندهای مختلفی در دیودهای آلی دوپ شده می‌تواند منجر به تله افتادن اکسیژن‌ها در تله‌ها شود. ساده‌ترین فرآیند، انتقال انرژی می‌باشد. انتقال انرژی یعنی گسیل از دهنده (محیط میزبان) و جذب فوتون به وسیله ماده رنگزای دوپ شده و در نهایت گسیل از ماده رنگزا می‌باشد. این فرآیند برای نمونه‌هایی که از لحاظ نوری دارای چگالی بالایی هستند (درصد بالا) می‌تواند موثر باشد. ولی برای دیودهای آلی عملی نمی‌باشد. فیلم‌های آلی باید خودشان خیلی نازک باشند (کمتر از ۵۰ نانومتر) تا در دیود نور گسیل آلی عمل کنند [۱۱-۱۳]. در این ضخامت، ماده رنگزا به حد کافی توانایی جذب مقدار گسیل معقول از دهنده را ندارد. در حد درصدهای بالای ماده رنگزای دوپ شده، اثر خود خاموشی می‌تواند منجر به کاهش عملکرد قطعه شود. وقتی یک درصد از تترا فنیل پورفیرین^{۱۱} در کمپلکس آلومینیم دوپ می‌شود، چگالی اپتیکی برای تترا فنیل پورفیرین کمتر از ۰.۰۵ می‌شود. در این چگالی اپتیکی کمتر از ۱۰ درصد کمپلکس آلومینیم جذب می‌شود، در نتیجه دیود آلی با نور گسیلی که مختصری از گسیل کمپلکس آلومینیم تغییر کرده است گسیل می‌یابد [۱۴-۱۶]. در این تحقیق، اثر ضخامت‌های مختلف لایه نور گسیل بر رنگ دیود مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مشخصات الکتریکی و نوری دیودها هم مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت دیود تنظیم‌پذیر رنگ با کنترل ضخامت ساخته شد.

ساختار یک دیود نور گسیل در حالت کلی شامل لایه‌های مواد آلی و یا پلیمری است که به طور متوالی بر روی هم و بین دو لایه رسانا که حداقل یکی از آنها شفاف است لایه نشانی شده است [۱]. وقتی ولتاژ بایاس مناسبی روی دیود اعمال شود حفره‌ها از آند و الکترون‌ها از کاتد به داخل لایه‌ها تزریق می‌شوند. تعدادی از الکترون‌ها و حفره‌ها طی این فرآیند در لایه نورگسیل ترکیب می‌شوند و تولید نور الکترولومینسانس^۱ می‌کنند. در سال‌های اخیر استفاده از مواد نیمه‌رسانای آلی در ساخت نمایشگرها و لامپ‌های فوق کم مصرف مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. به تازگی نمایشگرهای رنگی با اندازه کوچک (مانند گوشی‌های همراه) که بر پایه دیودهای نورگسیل آلی قرار گرفته‌اند وارد بازارهای تجاری شده‌اند. یکی از جذابیت‌های اصلی این فناوری، تولید نورگسیلی مناسب در تمامی رنگ‌ها در یک ساختار OLED^۲ می‌باشد. در حال حاضر نمونه‌های پیش‌تولید نمایشگرهای انعطاف‌پذیر و شفاف OLED که بر روی زیر لایه‌های پلاستیکی انجام شده و توسط شرکت‌های تجاری عرضه شده است. امروزه روند رو به رشد فناوری ساخت این ابزار همچنان رو به رشد است. برای اینکه در یک دیود آلی احتمال باز ترکیب الکترون-حفره زیاد باشد، معیارهای مختلفی لازم می‌باشد [۲]. الکترون‌ها و حفره‌های تزریق شده در فصل مشترک انتقال دهنده الکترون و حفره انباشته می‌شوند و اکسیژن‌های فرنگل^۳ را تشکیل می‌دهند. اکسیژن^۴ تولید شده در ماده با پایین‌ترین انرژی اکسیژنی به تله می‌افتد، ولی به صورت آزادانه در لایه می‌تواند حرکت کند. برای اینکه اکسیژن‌ها در لایه انتقال دهنده الکترون به تله بیافتند باید انرژی اکسیژن در لایه انتقال دهنده الکترون کمتر از لایه انتقال دهنده حفره باشد. اکسیژن تحت تاثیر محیط بستر به صورت اتفاقی پخش می‌شود تا اینکه به صورت تابشی یا غیر تابشی واهلش یابد. ماده رنگزای فلورسانس دوپ شده در انتقال دهنده حفره یا انتقال دهنده الکترون می‌تواند مانند تله گسیل عمل کند. اگر انرژی اکسیژن محیط میزبان بیشتر از انرژی جذب مولکول‌های ماده رنگزا باشد اکسیژن‌ها در مولکول‌های ماده رنگزا به تله خواهند افتاد یا در مولکول‌های ماده رنگزا محدود می‌شوند که این منجر به افزایش بهره الکترولومینسانس می‌شود. بازدهی روشنایی (که با طیف فوتولومینسانس اندازه‌گیری می‌شود) برای مولکول‌های مواد رنگزا تقریباً یک می‌باشد. ولی بازدهی برای فیلم نازکی از لایه‌های انتقال دهنده الکترون و حفره ۰.۳۵ می‌باشد [۳-۵]. مواد رنگزا به صورت فیلم جامد، طیف فوتولومینسانس^۵ بسیار ضعیفی دارند، به همین خاطر پایین نگه داشتن درصد ماده رنگزا در دیودهای آلی خیلی مهم می‌باشد. شکل‌گیری اکسایمر^۶ در درصدهای بالای ماده رنگزا دو نتیجه منفی خواهد داشت. (۱) طیف پهن خواهد شد و (۲) بازدهی کوانتومی خارجی کاهش خواهد یافت. فرآیند اشاره شده در

- 1- Electroluminescence
- 2- Organic light emitting diode
- 3- Frankl's Excitons
- 4- Exciton
- 5- Photoluminescence
- 6- Excimer
- 7- Tang
- 8- Roberin
- 9- Bis(10 hydroxybenzo[h] quinolinato) beryllium
- 10- 4, 4', 4''-tris-(3-methylphenyl-phenylamino) triphenylamine (m-MTDATA)
- 11- Tetraphenylporphyrin

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

(PEDOT:PSS)^۱، (PVK)^۲، تریس-۸-هیدروکسی کینولین آلومینیم (Alq₃) کومارین (C-۶) و دی متوکسی پورفیرین (TPP) از شرکت سیگما-آلد ریچ خریداری شده‌اند. ساختار شیمیایی مواد مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۲- روش کار

بستر اکسید فلزی اینیدیم قلع (ITO) با دقت به وسیله مواد پاک کننده، به ترتیب استن، دی کلرومتان، اتانل، متانل و آب دی یونیزه شده در حمام فراصوت پاک‌سازی شد. PEDOT: PSS با ضخامت ۵۰ نانومتر به عنوان یک لایه تزریق حفره بر روی بستر ITO به روش چرخشی پوشانده شد و به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد پخته شد. پس از این مرحله PVK با ضخامت ۶۰ نانومتر به عنوان لایه انتقال دهنده حفره، روی PEDOT: PSS به روش چرخشی لایه‌نشانی شد. سپس فیلم تشکیل شده، به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد پخته شد تا یک لایه یکنواخت‌تر به دست آید. برای آماده‌سازی لایه انتشار نور (LEL) به عنوان مهم‌ترین لایه Alq₃: {C-6: TPP} به روش تبخیری تحت ضخامت‌های مختلف لایه‌نشانی شد. همچنین لایه بلوکه کننده حفره، BCP^۳، به روش

تبخیری لایه نشانی شد. در نهایت کاتد آلومینیم به روش تبخیری لایه نشانی شد. ضخامت‌ها با دیکتک (DekTak ۸۰۰۰) اندازه‌گیری شده است. الکترولومینانس و فوتولومینانس در ساخت دیودهای نور گسیل آلی به وسیله دستگاه اوشن اپتیک USB ۲۰۰۰ و HR ۴۰۰۰ استفاده شد. مشخصات تابشی جریان-ولتاژ توسط مبدل کاتدی کیتلی مدل ۲۴۰۰ و دستگاه نوری Mastech-MS ۶۶۱۲ به ترتیب بررسی شد. شکل ۲ ساختار دیودها را نشان می‌دهد. در نمودارهای زیر لایه نورگسیل با ضخامت‌های ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ نانومتر به ترتیب با شماره‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.

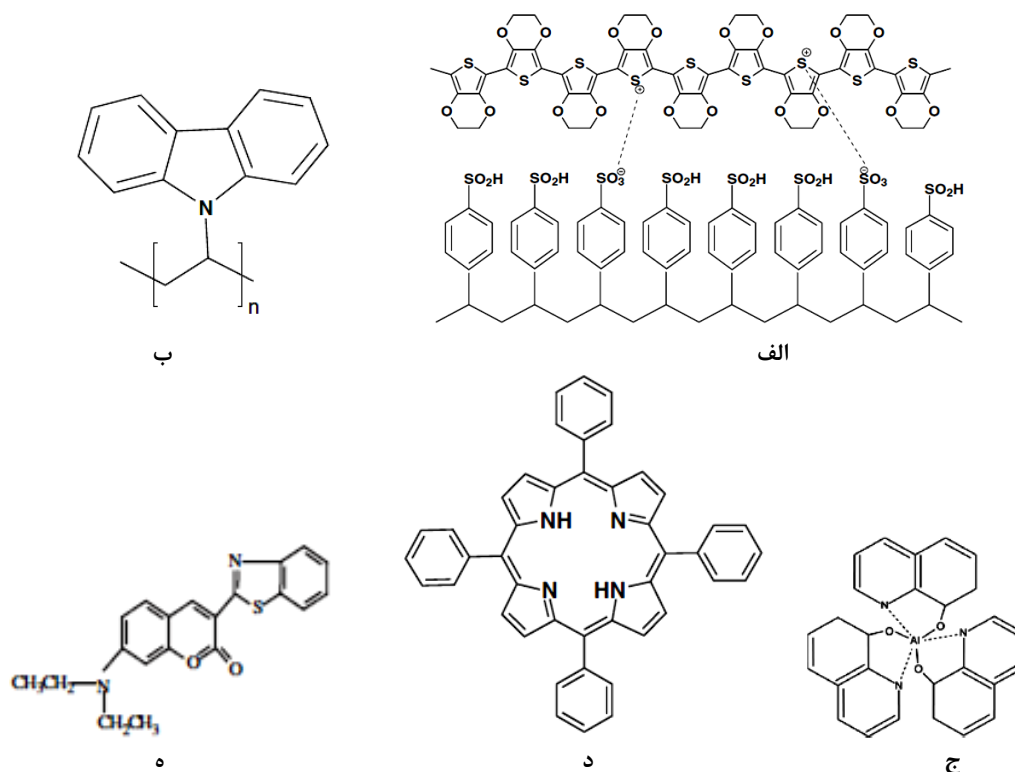
۳- نتایج و بحث

شکل ۳ طیف فوتولومینانس برای محلول را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود دو قله در طیف گسیلی مشاهده می‌شود که قله اول مربوط به Alq₃ و قله دوم با طول موج تقریبی ۶۷۵ نانومتر مربوط به پورفیرین می‌باشد. عملا طیف کومارین ظاهر نشده است که ممکن است به دلیل انتقال انرژی کامل از کومارین به Alq₃ باشد.

1- Poly(3,4-ethylenedi-oxythiophene):poly(styrenesulfonate)

2- Poly(9-vinylcarbazole)

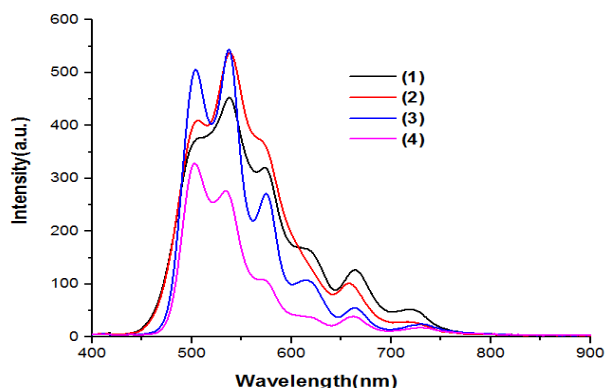
3- 2, 9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline



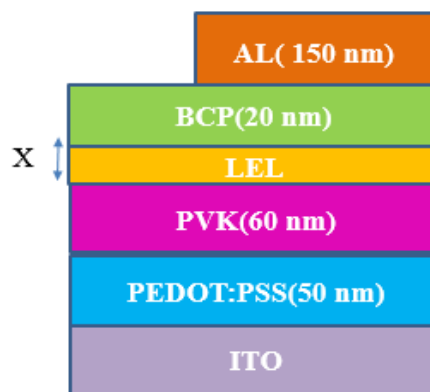
شکل ۱: ساختار مولکولی مواد آلی. الف) PEDOT:PSS، ب) PVK، ج) Alq₃، د) TPP و ه) کومارین (C-۶).

لایه نور گسیل بیشتر می‌باشد، بیشتر الکترون‌ها به‌وسیله سد، سرعت‌شان کمتر می‌شود و به فصل مشترک لایه BCP و لایه نور گسیل نمی‌رسند. در نتیجه ناحیه تشکیل اکسایتون در فصل مشترک BCP و لایه نور گسیل می‌باشد. این منجر به بازترکیب اکثر اکسایتون‌ها در مولکول‌های لایه نور گسیل می‌شود. در حد ضخامت‌های کم الکترون‌ها با احتمال بیشتر به فصل مشترک BCP و لایه نور گسیل می‌رسند. در نتیجه علاوه بر بازترکیب اکسایتون‌ها، مولکول‌های لایه نور گسیل در فصل مشترک BCP و لایه نور گسیل بازترکیب می‌شوند. جابه‌جایی منطقه بازترکیب این‌طور توجیه می‌شود که حفره‌ها از ITO تزریق می‌شوند به گونه‌ای که کسر معینی از آنها با الکترون‌ها بازترکیب می‌شوند. الکترون‌های تزریق شده حامل‌های اقلیت داخل دیود می‌باشند و تحرک حفره‌ها در مقایسه با تحرک الکترون‌ها بالا می‌باشد. در نتیجه دریایی از حفره‌ها در لایه‌های آلی می‌باشند و شارش الکترون‌ها، منطقه بازترکیب را تعیین می‌کند. پایداری رنگی مهم‌ترین مشخصه برای دیودهای آلی می‌باشد.

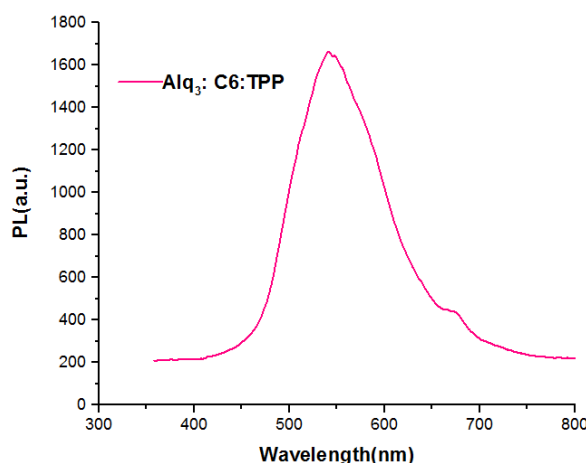
شکل ۵ مختصات رنگی را برای ضخامت‌های مختلف لایه نور گسیل نشان می‌دهد. دیود ۲، رنگ نزدیک به دیود نارنجی رنگ را نشان می‌دهد. با تغییر ضخامت رنگ دیود از سبز به نارنجی تغییر می‌کند. مشخصات الکتریکی دیودهای آلی به ازای ضخامت‌های مختلف لایه نور گسیل در شکل ۶ نشان داده شده است. چگالی جریان دیودها به طور قابل توجهی از ۷ ولت به بالا افزایش پیدا می‌کند. با اعمال ولتاژ به قطعه، الکترون و حفره به سد انرژی بین ماده آلی و الکترودها غلبه کرده و به لایه انتقال دهنده شارش پیدا می‌کنند. با افزایش ضخامت، چگالی جریان کاهش می‌یابد. قطعه ۲ کمترین مقاومت و قطعه ۴ بیشترین مقاومت را نشان می‌دهد.



شکل ۴: طیف الکترولومینسانس به ازای ضخامت‌های مختلف لایه نور گسیل.



شکل ۲: ساختار دیود نور گسیل آلی تحت ضخامت‌های مختلف لایه نور گسیل.



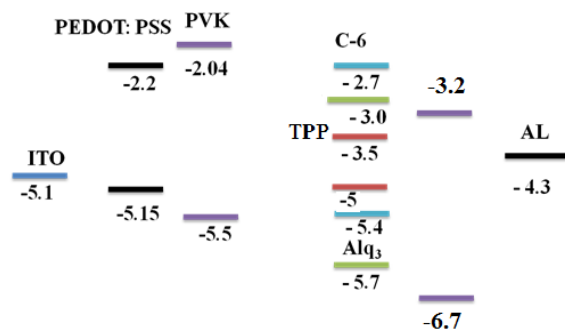
شکل ۳: طیف فوتولومینسانس برای محلول.

شکل ۴ طیف الکترولومینسانس و اطلاعات قطعات با ضخامت‌های مختلف لایه نور گسیل را نشان می‌دهد. دیودهای ۳ و ۴ قله EL قوی در ناحیه گسیلی کومارین و Alq_3 را نشان می‌دهند، در حالی که دیود ۱ و ۲ باند پهنی در ناحیه گسیلی Alq_3 و پورفیرین را نشان می‌دهند. هم‌پوشانی خوبی بین طیف دیودهای ۱، ۲ و دیودهای ۳، ۴ وجود دارد، بنابراین ترکیب طیف الکترولومینسانس آن‌ها تقریباً کل ناحیه مرئی را پوشش داده است. علاوه بر این قله‌ها دو قله در ناحیه طول موجی ۵۸۰ و ۶۷۵ نانومتر ظاهر شده است که مربوط به بازترکیب غیرمستقیم بین تراز LUMO ماده BCP و تراز HOMO لایه نورگسیل می‌باشد که این اثر به پدیده نادر اگزپلکس مربوط می‌شود و به ندرت در دیودهای نور گسیل آلی دیده می‌شود [۱۷]. بنابراین، می‌توان گسیل OLED را با تغییر دادن ضخامت لایه نور گسیل کنترل کرد. همچنین شدت قله‌های ایجاد شده را می‌توان تغییر داد. وقتی ضخامت لایه نور گسیل افزایش می‌یابد، قله گسیل از ناحیه سبز به ناحیه نارنجی جابجا می‌شود. ضخامت لایه نور گسیل نقش مهمی در ناحیه تشکیل اکسایتون در داخل دیود دارد. در دیود ۴، جایی که ضخامت

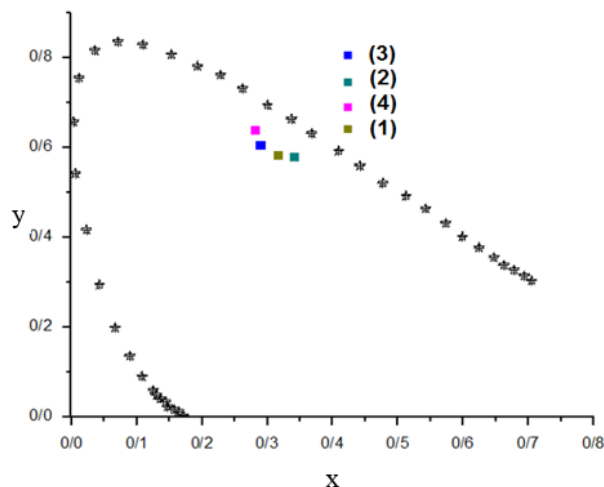
الکترون ولت می‌باشد. در حالی که این اختلاف بین آلومینیم و BCP به اندازه ۱,۱ الکترون ولت می‌باشد. با مقایسه این اختلاف‌ها می‌توان متوجه شد که تحرک الکترون‌ها کندتر از تحرک حفره‌ها می‌باشد. یک لایه نازک از BCP به عنوان بلوکه کننده حفره معرفی می‌شود تا کسری از حفره‌ها به خاطر کاهش سرعت حفره‌ها در لایه PVK انباشته شوند و الکترون با نفوذ به داخل لایه نور گسیل بازترکیب می‌شود که در طیف EL چندین قله در ناحیه طیفی سبز و نارنجی و قرمز رنگ مشاهده می‌شود.

شکل ۸ مشخصات بازدهی لومینسانس - ولتاژ دیودهای آلی با ضخامت‌های مختلف لایه نور گسیل را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۸ (الف) مشاهده می‌شود، بیشینه بازدهی روشنایی ۲,۳ cd/A برای دیود ۲ در ولتاژ ۱۲ ولت بدست آمد که این بیشتر از بیشینه بازدهی روشنایی ۱,۶ cd/A برای دیود ۱ در همان ولتاژ می‌باشد. همچنین در شکل ۸ (ب) در ولتاژ ۱۴ ولت دیود ۳ روشنایی بالاتری نسبت به دیود ۴ نشان می‌دهد. بهبود روشنایی بالای دیود ۲ نسبت به دیودهای دیگر ممکن است به خاطر بالانس الکترون و حفره در دیود ۲ نسبت به دیودهای دیگر باشد. مشخصات بازدهی توان در شکل ۹ نشان داده شده است. ضخامت شدیداً بر روی بازدهی نوری تاثیر اساسی دارد. دیود ۲ دارای بازدهی نوری بالا می‌باشد. در دیود ۲ تعادل بین الکترون و حفره داخل قطعه بیشتر می‌شود، با این حال با افزایش ضخامت لایه نور گسیل احتمال بازترکیب الکترون و حفره داخل قطعه کمتر می‌شود، در حد ضخامت‌های کم، چون تحرک حفره‌ها بیشتر از الکترون‌ها می‌باشد تعداد الکترون و حفره‌هایی که در اطراف کاتد بازترکیب می‌شوند افزایش می‌یابد که به صورت گسیل فوتونی واهلس پیدا می‌کنند و بازدهی نوری قطعه کم می‌شود.

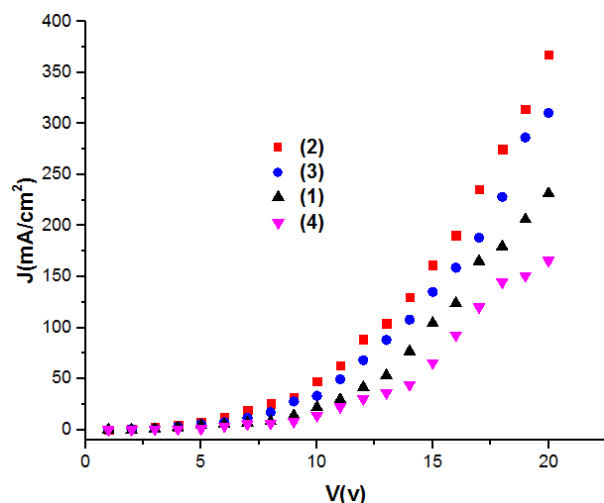
همان‌طور که در شکل ۹ (الف) و ۹ (ب) مشاهده می‌شود، با افزایش ولتاژ، بازده توان دیودها کاهش پیدا می‌کند همچنین با افزایش ولتاژ، چگالی الکترون و حفره در داخل قطعات افزایش پیدا کرده، در نتیجه بازترکیب غیرتابشی غالب می‌شود.



شکل ۷: ترازهای انرژی دیود نور گسیل آلی.

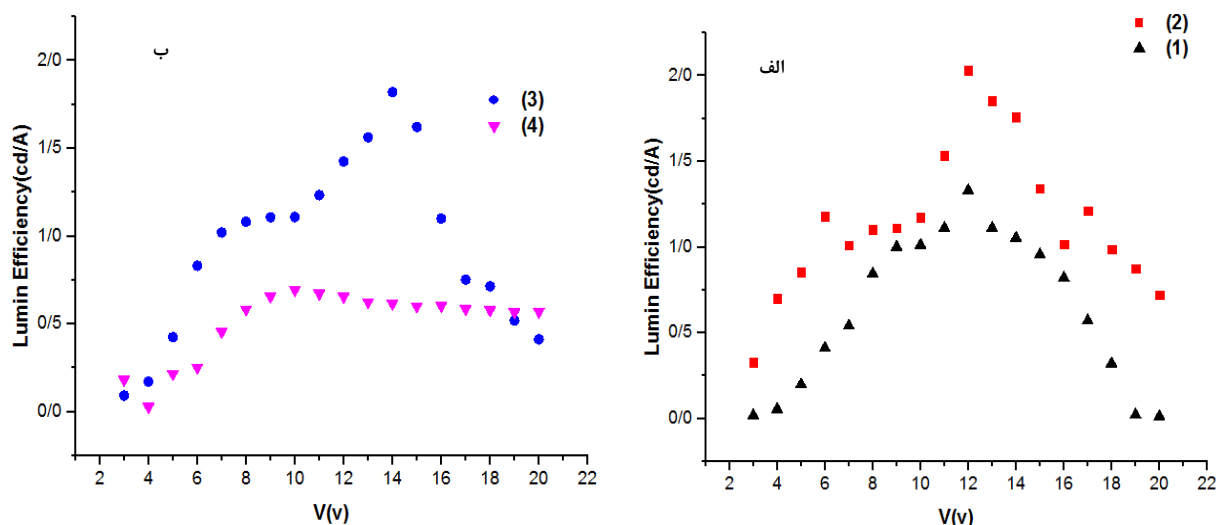


شکل ۵: مشخصات رنگی دیودهای نور گسیل آلی ساخته شده.

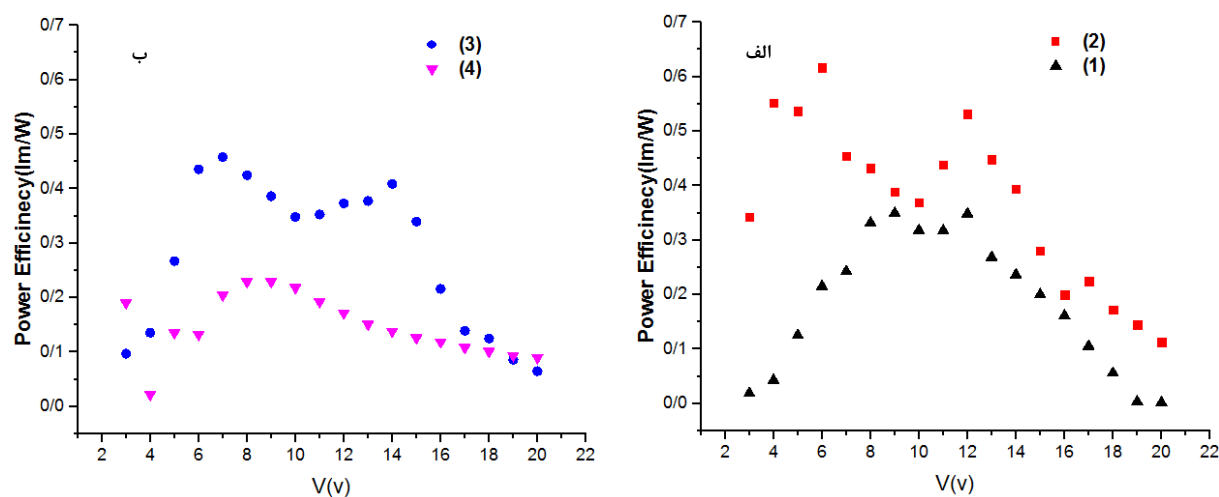


شکل ۶: چگالی جریان برحسب ولتاژ به ازای ضخامت‌های مختلف لایه نور گسیل.

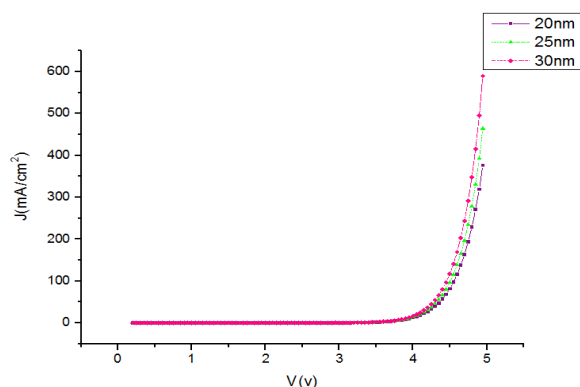
مقاومت قطعات ساخته شده با افزایش ضخامت لایه بلوکه کننده حفره (لایه نور گسیل) افزایش می‌یابد که این موافق با ساختار قطعه و شکل ۲ می‌باشد. همانطور که این شکل توصیف می‌کند با افزایش ضخامت لایه بلوکه کننده حفره (لایه نور گسیل) تراپرد حفره‌ها در قطعه کاهش می‌یابد. به منظور توصیف نقش BCP، سازوکار تزریق بار از الکترودها به داخل قطعه در نظر گرفته می‌شود. تابع کار آند و کاتد (شکل ۷) به ترتیب ۴,۷ و ۴,۲ الکترون ولت در نظر گرفته می‌شود. (شکل ۷، مستخرج از منابع) بالاترین تراز اشغال شده HOMO برای PEDOT:PSS، PVK، لایه نور گسیل و BCP به ترتیب ۵,۵، ۵,۲، ۵، ۶,۷، ۵,۸ الکترون ولت می‌باشد ولی پایین‌ترین تراز اشغال نشده LUMO به ترتیب ۲,۲، ۲,۲۲، ۲,۳ و ۳,۱ الکترون ولت می‌باشد [۱۸]. برپایه این مقادیر اختلاف انرژی بین ITO و تراز HOMO پلیمر انتقال دهنده PEDOT:PSS به اندازه ۰,۸



شکل ۸: مشخصات بازدهی لومینسانس-ولتاژ دیودهای آل، الف) دیودهای ۱ و ۲ و ب) دیودهای ۳ و ۴.



شکل ۹: مشخصات بازدهی توان-ولتاژ دیودهای نور گسیل آل، الف) دیودهای ۱ و ۲ و ب) دیودهای ۳ و ۴.



شکل ۱۰: نمودار چگالی جریان ولتاژ به ازای ضخامت‌های مختلف LEL.

با استفاده از نرم‌افزار GPVDM نمودار تغییرات چگالی جریان-ولتاژ به ازای ضخامت‌های مختلف (۲۰ و ۲۵ و ۳۰ نانومتر) لایه نور گسیل (LEL) شبیه‌سازی شد. نتایج این شبیه‌سازی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در نرم‌افزار GPVDM جهت شبیه‌سازی دقیق و بهره‌برداری بیشتر از خروجی این نرم‌افزار، مانند هر نرم‌افزار شبیه‌سازی، تأثیر واکنش‌های شیمیایی بر تزریق الکترون‌ها و حفره‌ها را مورد توجه قرار نمی‌دهد. اطلاعاتی که می‌تواند به شبیه‌سازی دقیق دیودهای نور گسیل آل کمک کند مانند؛ روش لایه‌نشانی، فشار، دما در این نرم‌افزار آورده نشده است. از این رو مشاهده می‌شود نمودار چگالی جریان-ولتاژ شبیه‌سازی شده هم‌خوانی خوبی با نتایج تجربی چگالی جریان دارد.

ضخامت، دیودهای سبز تا نارنجی ساخته شد. دیود ۲ بازدهی بالاتری نسبت به قطعات دیگر ایجاد کرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه صنعتی ارومیه برای همراهی آن‌ها سپاس‌گزاری می‌کنند.

۴- نتیجه‌گیری

دیود نور گسیل آلی با دوپ رنگینه در لایه نور گسیل ساخته شد. اثر ضخامت‌های مختلف لایه نور گسیل بر رنگ، توان و مشخصه الکتریکی بررسی شد. باز ترکیب غالب در دیودهای آلی، باز ترکیب مستقیم می‌باشد ولی در این ساختار علاوه بر باز ترکیب مستقیم، باز ترکیب غیرمستقیم هم مشاهده شد که به نوبه خود باعث ایجاد قله‌های اضافی در طیف الکترو لومینسانس شد. در نهایت با کنترل

۵- مراجع

- L. J. Lai, C. S. Su, Luminescence excitation and near edge X-ray absorption spectra of Er_2O_3 dopant on zirconia ceramics. *Mater. Chem. Phys.* 62(2000), 148-152.
- S. H. yang, T. J. Huang, T. H. Liu, High color rendering index and directional emission of white OLEDs using nanorod waveguide channels. *J. Lumin.* 201(2018), 402-409.
- 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).
۴. م. جانقوری، ز. قاسمی، س. دلگشایی، تنظیم رنگ و بررسی تحرک‌پذیری در دیود نور گسیل آلی بر پایه ترکیبات ایمیدازولی. *نشریه علوم و فناوری رنگ*. ۴(۱۳۹۹)، ۳۱۱-۳۱۸.
۵. م. جانقوری، ع. مهاجرانی، م. قلی‌پور اصل، پ. پناهیان‌فر، ساخت دیود نور گسیل آلی زرد و قرمز با اضافه کردن ماده رنگزا به روش لایه‌نشانی تک‌بوته‌ای. *نشریه علوم و فناوری رنگ*. ۱(۱۳۹۹)، ۷۳-۸۲.
- 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.
- 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.
۸. م. حسین نژاد، س. مرادیان، ک. قرنجیگ، مروری بر سلولهای خورشیدی دوپشته حساس شده به مواد رنگزا. *نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ*. ۴(۱۳۹۵)، ۷۵-۸۲.
9. 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.
10. 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.
۱۱. ه. پوررادی، ک. قانی، م. مهدوی. سنتز نانوساختار هیدروکسید الیهای 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. C. T. Chen, Evolution of Red Organic Light-Emitting Diodes: Materials and Devices. *Chem. Mater.* 16(2004), 4389-4400.
15. 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.
16. M. Jafari, B. Bahrami, Emission properties of porphyrin compounds in new polymeric PS:CBP host. *Appl. Phys. A.* 119 (2015), 1491-1497.
17. M. Zhu, C. Yang, Blue fluorescent emitters: design tactics and applications in organic light-emitting diodes. *Chem. Soc. Rev.* 12(2013), 4963-4976.
18. M. Janghour, E. Mohajerani, M. M. Amini, E. Najafi, Green-white electroluminescence and green photoluminescence of zinc complexes. *J. Lumin.* 154(2014), 465-474.