

الکترولومینسنس سفید غیرعادی در دیود نور گسیل آلی بر پایه مشتقات ایمیدازولی

محمد جانقوری^{۱*}، عزالدین مهاجرانی^۲، زرین قاسمی^۳، رویا سلامت بخش^۴، آمنه ابوالقاسمی فخری^۵

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

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

۳- دانشیار، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۵۱۶۶۶۱۶۴۷۱

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

۵- دانشجوی دکترا، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۵۱۶۶۶۱۶۴۷۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۹/۶/۳۰

چکیده

در این تحقیق ابتدا مشتقات ایمیدازولی سنتز و به عنوان مواد فلورسانس مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه، دیود نور گسیل آلی با استفاده از این ترکیبات در محیط میزبان که شامل ماده انتقال دهنده حفره PVK و انتقال دهنده الکترون PBD می‌باشد، ساخته شد. قطعه نور گسیل آلی با ساختار ITO/PEDOT:PSS(60 nm)/PVK:PBD: Guest (80 nm)/TBPI(25 nm)/Al(180 nm) تهیه شد. طیف الکترولومینسنس قطعات، نسبت به PVK:PBD جابه‌جایی قرمز پیدا کرد. هم‌پوشانی طیفی بین گسیل PVK:PBD و جذب مشتقات ایمیدازولی باعث جابه‌جایی به سمت قرمز شده است. در طیف الکترولومینسنس با تغییر گروه عاملی روی این ترکیبات، جابه‌جایی طول موجی رخ داد. با آلایدن مشتقات ایمیدازولی قطعات نورگسیل با رنگ سفید ساخته شد. این به خاطر پدیده نادر الکتروپلکس در لایه نور گسیل رخ داده است. واژه‌های کلیدی: دیود نور گسیل آلی سفید، مشتقات ایمیدازولی، مواد فلورسانس، الکترولومینسنس، الکتروپلکس.

Unusual White Electroluminescence of Organic Light Emitting Diodes Based on Imidazoles Compounds

M. Janghouri^{1*}, E. Mohajerani², Z. Ghasemi³, R. Salamat Bakhsh¹, A. Abolghasemi Fakhri³

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.

3- Faculty of Chemistry, University of Tabriz, P. O. Box: 5166616471, Tabriz, Iran.

Received: 13-09-2019

Accepted: 15-01-2020

Available online: 20-09-2020

Abstract

In this work, imidazoles derivatives as luminescent materials have been investigated. In continuation, light-emitting diodes (OLEDs) were prepared using these compounds in a guest environment containing PVK as a hole transport material and PBD as an electron transport material. A device with the structure of ITO/PEDOT:PSS (60 nm)/PVK:PBD: Guest (80 nm)/Al (180 nm) was fabricated. The electroluminescence spectrum of device red-shifted respect in PVK:PBD. The overlap between the absorption spectrum of the imidazoles and the emission spectrum of PVK:PBD caused a redshift. By variation of functional groups on these compounds, a shift in wavelength took place in the electroluminescence spectrum. By mixing imidazoles derivatives, a white light-emitting devices was prepared. This happened due to the rare electroplex phenomena in the emitting layer. *J. Color Sci. Tech.* 14(2020), 215-222©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: White OLEDs, Imidazole compounds, Luminescence materials, Electroluminescence, Electroplex.

۱- مقدمه

یون‌های فلزی استفاده نمود. همچنین محققان پی برده‌اند که با تغییر گروه‌های عاملی مولکول و تغییر رفتار الکترو لومینسنس ناشی از آن در این ترکیبات می‌توان پی به حضور کاتیون‌های فلزی در محیط برد [۱۷]. در این عمل مشتقات تترا آریل ایمیدازول حاوی گروه‌های انتهایی آمینی سنتز شده و رفتار نوری و کاربردهای نوری آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. با وجود پیک‌های قرمز شیفت شده در گسیل‌ها، اکسیپلکس و الکتروپلکس، یک پدیده فوتوفیزیکی مهم هستند که شاید گاه در OLEDها به وجود آیند [۱۸]. کالینوسکی [۱۹]، مدلی را فراهم کرده‌است که روند به وجود آمدن اکسیپلکس و الکتروپلکس را توضیح می‌دهد. اکثر محققان اعلام کرده‌اند که گسیل الکتروپلکسی را در سامانه‌های مخصوص مشاهده کردند اما تحقیقات بیشتر در این زمینه صورت نگرفته‌است. اگر الکتروپلکس به اندازه کافی قوی باشد می‌تواند نقش مهمی را در فناوری OLEDها ایفا کند. به دلیل اینکه گسیل الکتروپلکس معمولاً یک پهنای باند قرمز جابجا شده در طیف الکترو لومینسنس است [۲۰، ۲۱]، گسیل سفید توسط آن می‌تواند به دست آید. بنابراین پیدا کردن مواد جدید برای تقویت گسیل الکتروپلکس ضروری است.

در این تحقیق ابتدا مشتقات ایمیدازولی سنتز و سپس دیود نور گسیل آلی ساخته شد. مشتقات ایمیدازولی در محیط میزبان PVK:PBD و خواص نوری شامل فوتولومینسنس، الکترو لومینسنس و خواص الکتروپلکسی در ساخت دیود آلی مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که یک تک لایه از مشتقات ایمیدازولی به اندازه کافی قابلیت ترابرد بار را ندارد از محیط میزبان PVK:PBD استفاده شد. نقش PVK:PBD در محیط میزبان و مشتقات ایمیدازولی، نقش محیط میهمان را دارند. با آلییدن مشتقات ایمیدازولی در PVK:PBD برای اولین بار دیود نور گسیل سفید ساخته شد که این را می‌توان با پدیده اکسیپلکس که در مواد، خیلی کم رخ می‌دهد، توضیح داد.

۲- بخش تجربی

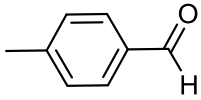
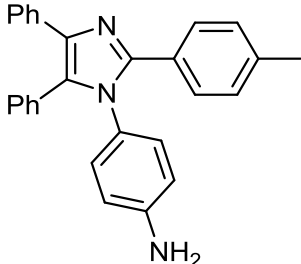
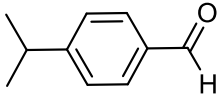
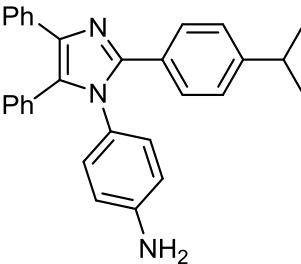
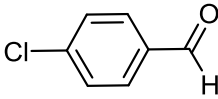
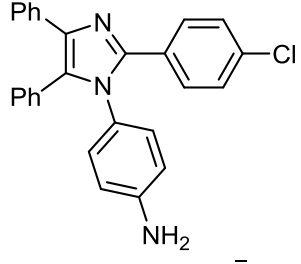
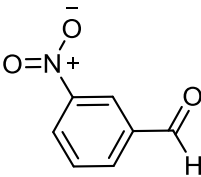
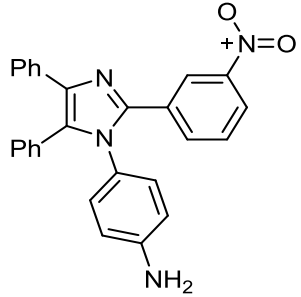
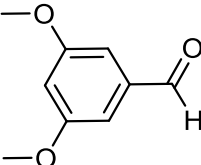
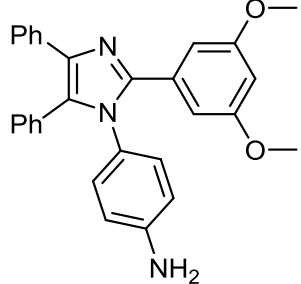
۲-۱- مواد

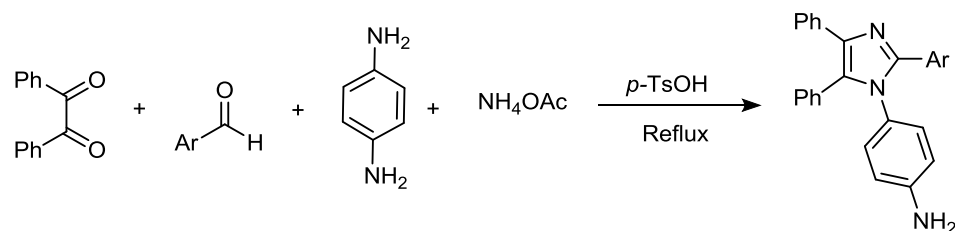
واکنش تهیه ترکیبات ایمیدازولی چهار استخلافی به صورت زیر است [۲۲]، مخلوطی از بنزیل (۱ میلی مول)، ۱، ۴- فنیل دی آمین (۱ میلی مول)، آرل آلدهید (۱ میلی مول)، استات آمونیم (۵ میلی مول) و پارا تولوئن سولفونیک اسید (۰.۴ گرم) در حلال اتانل (۵ میلی لیتر) در حالت بازروانی به مدت مناسب هم زده شد. پس از اتمام واکنش که به وسیله کروماتوگرافی لایه نازک مشخص گردید، جامد حاصل با استفاده از صاف کردن مخلوط، جدا و در اتانل بلوری گردید. به این ترتیب ۸ مشتق تترا آریل ایمیدازول، سنتز گردیدند که ساختار واکنش در شکل ۱ آورده شده است. همچنین زمان لازم برای کامل شدن هر واکنش، بهره واکنش‌ها و ساختار و نقطه ذوب هر محصول در شکل ۱ و جدول ۱ آورده شده است. این مواد با شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند.

دیود نور گسیل آلی^۱ در دو دهه گذشته مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفت. دیود نور گسیل از یک فیلم نازک آلی تشکیل شده است که بین دو الکتروود قرار می‌گیرد و وسیله‌ای است که هنگام اعمال ولتاژ به آن، نور ساطع می‌کند. دلیل استفاده از واژه "آلی" این است که لایه گسیلنده نور و لایه انتقال حفره از مواد آلی ساخته شده‌اند. دیودهای نور گسیل آلی براساس الکترو لومینسنس (پدیده‌ای که در آن مواد به هنگام عبور جریان الکتروپلکسی، از خود نور گسیل می‌کنند) کار می‌کنند. در مسیر ساخت ترکیبات الکترونیک نوری فلزی-آلی، نه تنها برای یافتن پایه همبستگی بین ساختار و خواص الکترونیک نوری، بلکه برای ارتقا دادن مدل‌های جدید مواد الکترونیک نوری مولکولی عملی، همچنان توجه بسیاری وجود دارد. انتخاب مناسب لیگاندها و فلزات از عوامل ضروری می‌باشد که موجب تغییر مسیر الکترونیک نوری می‌شوند. چرا که در روند انتقال الکترون و خصوصیات نوری، تاثیرگذار است [۱]. فوتولومینسنس، مستقیم‌ترین راه برای به دست آوردن نور از یک ماده جامد است و در گستره وسیعی از کاربردها استفاده می‌شود [۲]. سنتز مواد خالص با خصوصیات الکترو لومینسنس، توجه بسیار زیادی را به خود جلب نموده‌است [۳، ۴].

ترکیبات آلی در سال‌های اخیر به دلیل بهره‌وری بالای الکترو لومینسنس، خلوص رنگ، محو شدن در زمان طولانی و تغییر مکان الکترو لومینسنس با تغییر مکان لیگاندها، بسیار مورد توجه بوده‌اند [۵، ۶]. بنابراین تلاش‌های بسیاری بر روی توسعه و مطالعه ترکیبات آلی الکترو لومینسنس انجام گرفته و تعداد زیادی ترکیبات آلی با خاصیت الکترو لومینسنسی بسیار خوب، به دست آمده‌است [۷، ۸]. مواد انتقال‌دهنده حفره می‌توانند به عنوان یک لایه بلوکه کننده الکترون در لایه انتشار استفاده شوند. در این حالت، منطقه ترکیب حامل‌ها می‌تواند به وسیله لایه جدا شده و رنگ الکترو لومینسنسی تغییر یابد [۹، ۱۰]. در سال‌های اخیر مشتقات پر استخلاف ایمیدازولی به دلیل داشتن خواص نوری کمی لومینسنس مورد توجه بسیاری از شیمیدان‌ها قرار گرفته‌اند [۱۱] و به همین دلیل از این ترکیبات در تهیه مواد نشان‌دار فلورسانس، مواد رنگزای سامانه‌های غیر خطی نوری [۱۲]، دیودهای آلی نشرکننده نور [۱۳]، پروب‌های فلورسانس [۱۴] و همچنین در تصویربرداری زیستی استفاده می‌شود. علاوه بر موارد ذکر شده، از مشتقات ایمیدازول به عنوان لیگاند در واکنش‌های کاتالیز شده با فلز نیز استفاده می‌شود [۱۵]. احتمالاً خواص فوق در ترکیبات حاوی ساختار ایمیدازول، مربوط به توانایی پذیرش و دهنده‌گی پیوند هیدروژنی و میل به تشکیل ترکیبات با فلزات باشند [۱۶]. کاربردی سازی ترکیبات پر استخلاف ایمیدازولی را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف عملی نمود. به عنوان مثال در صورت وجود گروه‌های عاملی قطبی و شلاته‌کننده می‌توان از این ترکیبات در شناسایی

جدول ۱: اطلاعات مواد سنتز شده.

Ar-CH=O	زمان واکنش (ساعت)	بهره واکنش (%)	نقطه ذوب محصول (°C)	محصول	شماره
	۱۰	۵۰	۲۴۸		۱
	۱۳	۴۰	۲۵۸		۲
	۸	۹۶	۲۵۶		۳
	۱۵	۶۰	۲۴۴		۴
	۸	۷۳	۲۲۲		۵



شکل ۱: فرآیند سنتز مشتقات ایمیدازولی چهار استخلافی.

گردید. ضخامت‌ها با دیکتک^۱ اندازه‌گیری شده است. الکترومولومینسنس و فوتولومینسنس در ساخت دیوده‌های نور گسیل آلی به وسیله دستگاه اوشن اپتیک USB2000 و HR4000 ارزیابی شد. مشخصات تابشی و جریان-ولتاژ به ترتیب توسط میدل کاتدی کیتلی مدل ۲۴۰۰ و دستگاه نوری Mastech-MS6612 بررسی شد. ساختار قطعه ساخته شده در شکل ۲ الف نشان داده شده است. در شکل ۲ ب اعمال ولتاژ حفره‌ها به ماده ITO و الکترون‌ها به فلز Al می‌رسند. حفره‌ها و الکترون‌ها در لایه نورگسیل باز ترکیب می‌شوند و نور تولید می‌شود. رنگ نور تولیدی به جنس ماده به کار رفته یعنی Guest (میهمان) بستگی دارد. شکل ۲ ب چیدمان اندازه‌گیری قطعه را نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

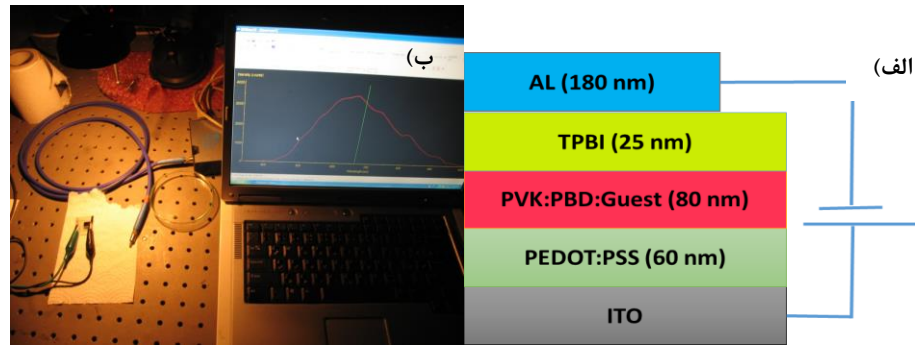
شکل ۳ طیف جذبی ترکیبات آمین را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ترکیبات ۱، ۲ و ۳ پیک جذب در بازه طول موجی ۳۵۰-۴۰۰ نانومتر را نشان می‌دهند. همچنین ترکیب ۴ دارای پیک جذب در طول موج ۴۵۰ نانومتر و ترکیب ۵ دارای پیک جذب در طول موج ۳۴۰ و ۶۵۰ نانومتر می‌باشد.

ساختارهای پلیمری متعددی برای میزبانی مواد آلی در OLED معرفی شده است. در اینجا با مطالعه طیف جذبی مشتقات ایمیدازولی، ساختار PVK:PBD معرفی می‌شود که در مقالات به عنوان ماده میزبان معرفی شده است [۲۳]. یکی از شرایط انتقال مناسب انرژی هم‌پوشانی مناسب بین طیف جذبی ماده رنگزا و گسیلی ماده میزبان است که این باعث انتقال مناسب اکسایتون به ماده رنگزا می‌شود. این شکل نشان می‌دهد که هم‌پوشانی مناسبی بین طیف جذبی مشتقات ایمیدازولی و طیف گسیلی PVK:PBD (شکل ۴) وجود دارد که حاکی از انتقال مناسب اکسایتون خواهد بود. بنابراین این ماده میزبان قابلیت این را خواهد داشت که در ساختار OLED برای مشتقات ایمیدازولی نقش انتقال انرژی را به خوبی ایفا کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود طیف جذبی ۲ و ۴ دارای هم‌پوشانی بیشتری نسبت به طیف جذبی ۱، ۳ و ۵ می‌باشد. در نتیجه انتقال انرژی بیشتری نسبت به این ترکیبات خواهند داشت.

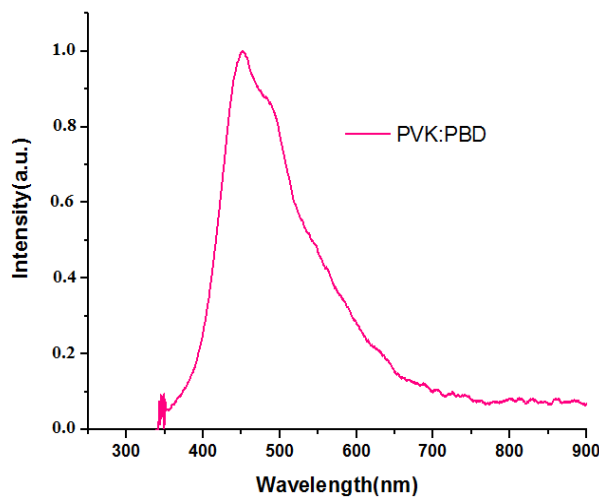
۲-۲- ساختار دیود نورگسیل آلی

ابتدا ITO با آب و صابون شسته شده، سپس داخل آب مقطر به مدت ۵ دقیقه در فراصوت قرار می‌گیرد تا ناخالصی‌هایی که در آب حل می‌شوند از سطح آن کنده شوند. سپس ITO با استن کر داده می‌شود و به مدت ۱۵ دقیقه در فراصوت قرار می‌گیرد تا ناخالصی‌هایی که در استن حل می‌شوند از سطح آن پاک شوند. در ادامه کار شستشو، هم‌پوشانی با دی کلرواتان، دی کلرومتان، اتانل، متانل انجام داده می‌شود تا از هرگونه آلودگی تا حد خیلی زیادی برطرف شود. اولین لایه به عنوان انتقال دهنده حفره که PEDOT:PSS است به روش لایه‌نشانی چرخشی بر روی زیرلایه شیشه که مراحل شستشو آن همانند ITO بود، با روش چرخشی لایه نشانی شد که این کار صرفاً جهت کالیبره کردن ضخامت مورد نظر که در اینجا ۶۰ نانومتر است، انجام می‌شود. هر بار که بر روی شیشه، ماده مورد نظر لایه نشانی گردید، توسط پروفایلومتر DEKTAK8000 ضخامت‌سنجی می‌شد. پس از مرحله کالیبراسیون بر روی شیشه، ماده مورد نظر آماده لایه نشانی بر روی ITO شد. ماده PEDOT:PSS بر روی زیر لایه، لایه‌نشانی شد و سپس این زیر لایه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار گرفتند تا حلال آن کاملاً تبخیر گردیده و همچنین ناهمواری‌های سطح لایه نشانی شده با پخت لایه‌ها کمتر شود. در مرحله بعد نسبت وزنی ۴۰:۱۰۰ از مواد PVK:PBD تهیه شد. این مواد به عنوان محیط میزبان برای ۴ درصد یکسان برای هر ۴ ماده به صورت جداگانه در دی کلرومتان حل شدند و سپس در داخل حمام فراصوت قرار گرفتند تا بصورت یک محلول همگن درآیند. پس از آماده‌سازی مواد با نسبت مشخص، این محلول‌ها برای ضخامت ۸۰ نانومتر با روش کالیبراسیون، کالیبره شدند و سپس بر روی نمونه‌ها لایه نشانی شدند. پس از لایه نشانی مواد، نمونه‌ها در داخل آون در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت قرار گرفتند. در تمام مراحل لایه نشانی، سرعت لایه‌نشانی چرخشی ۳۰۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. در مرحله بعد لایه انتقال دهنده الکترون TPBI به روش تبخیر حرارتی لایه‌نشانی شد. در مرحله آخر کاتد آلومینیم با روش لایه‌نشانی تبخیر حرارتی بر روی نمونه‌ها همانند روش قبل لایه‌نشانی

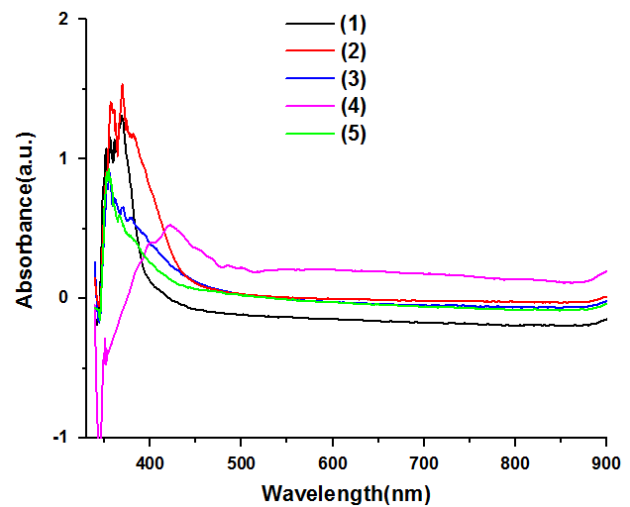
1- DekTak 8000



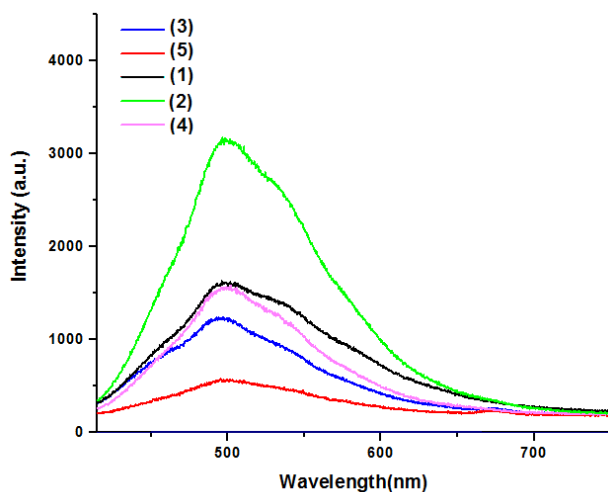
شکل ۲: الف) ساختار قطعه و ب) چیدمان طیف‌سنجی برای اندازه‌گیری الکترولومینسنس.



شکل ۴: طیف نثری PVK:PBD



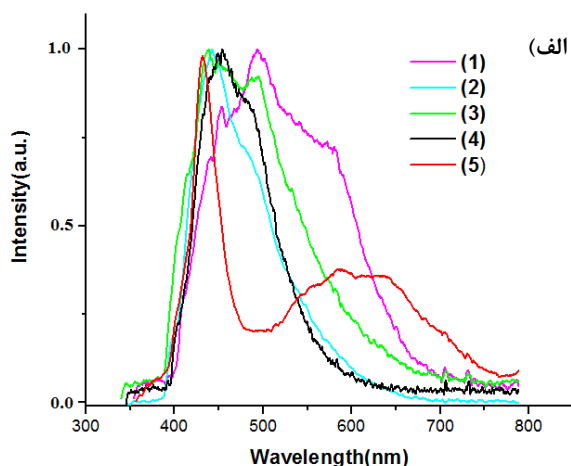
شکل ۳: نمودار طیف جذبی مشتقات ایمیدازولی.



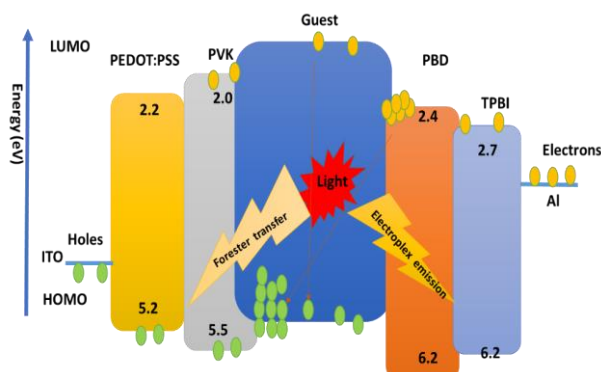
شکل ۵: نمودار طیف فوتولومینسنس مشتقات ایمیدازولی.

شکل ۵ طیف فوتولومینسنس مشتقات ایمیدازولی را نشان می‌دهد. تمام مشتقات ایمیدازولی در ناحیه آبی-سبز گسیل می‌کنند. در مورد ترکیب ۱ طیف گسیل در طول موج ۴۹۶ نانومتر و طیف فوتولومینسنس برای ترکیب ۲ در طول موج ۴۸۵ نانومتر و پیک اصلی گسیل برای ترکیب ۳ در طول موج ۴۵۶ نانومتر می‌باشد، در حالی که ترکیب ۴ در طول موج ۴۵۴ نانومتر نشر می‌کند. پیک گسیل برای ترکیب ۵ دقیقاً در ناحیه طول موجی ۴۵۳ نانومتر می‌باشد. تمام ترکیبات آمین گسیل آبی-سبز نشان می‌دهند. در مورد قطعه ۵ یک شانه در طول موج ۶۳۵ نانومتر ایجاد شده است که می‌تواند به سبب گذار بین لیگاند باشد.

برای ساخت قطعه، یک بار بدون اینکه از مشتقات ایمیدازولی استفاده شود دیود نور گسیل آلی از PVK:PBD ساخته شد که طیف گسیلی نزدیکی ۴۵۰ نانومتر داد.



شکل ۶: الف) نمودار طیف الکترو لومینسنس نرمال شده مشتقات ایمیدازولی و ب) دیود سفید قطعه ۵.



شکل ۷: ترازهای انرژی در ساختار دیود آلی.

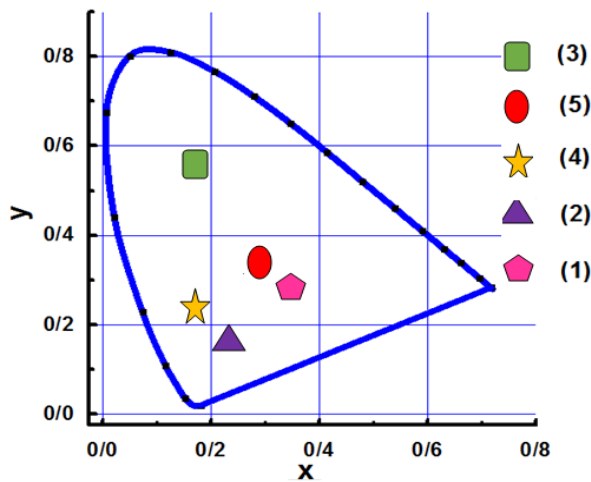
- 1- Homo
- 2- Lumo

چون طیف گسیلی PVK:PBD و طیف جذبی مشتقات ایمیدازولی همپوشانی خوبی دارند انتقال انرژی می تواند رخ دهد. در مرحله بعد با آلابیدن مشتقات ایمیدازولی داخل PVK:PBD طیف گسیلی دیود به طول موج های بیشتر انتقال پیدا کرد که ناشی از مشتقات ایمیدازولی می باشد. قطعاتی که ساخته شدند دارای ساختار زیر می باشند.

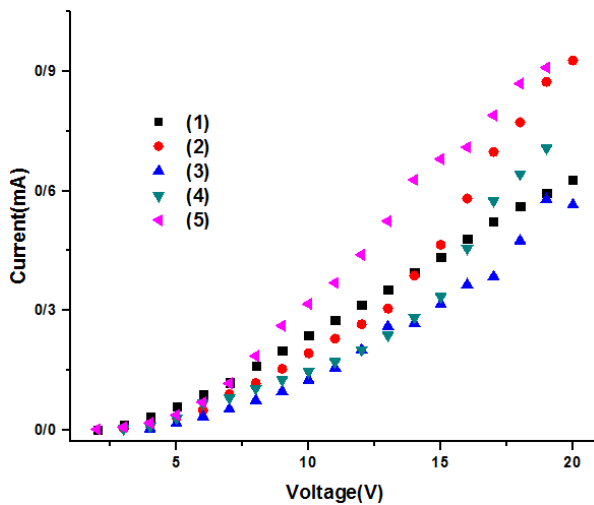
ITO/PEDOT:PSS(60nm)/PVK:PBD(80 nm)/Al(180 nm)
ITO/PEDOT:PSS(60nm)/PVK:PBD: Guest (80nm)/ TBPI (25nm) /Al(21800nm).

طیف الکترو لومینسنس دیود نور گسیل آلی در شکل ۶ نشان داده شده است. طیف الکترو لومینسنس این ترکیبات نسبت به طیف فوتولومینسنس جابه جایی به سمت قرمز دارند که این می تواند ناشی از گسیل الکترو پلکس در ساختار قطعه باشد. طیف EL (الکترو لومینسنس) PVK:PBD یک گسیل پهن در ناحیه آبی را نشان می دهد. در طیف الکترو لومینسنس مشتقات ایمیدازولی پیک در ناحیه سبز-زرد نشان دهنده انتقال انرژی از PVK:PBD به ترکیبات آمین می باشد. مشاهده الکترو لومینسنس سفید در مشتقات ایمیدازولی، یکی از جالب ترین پدیده ها در دیودهای آلی می باشد. قطعه های ۱ و ۵، دیودهای سفید با کیفیت بهتری را نشان دادند که این پدیده را می توان با پدیده اکسیپلکس توضیح داد. در قطعه ۵ دو پیک اصلی ایجاد شده است، پیک در طول موج ۴۳۰ نانومتر مربوط به مشتقات ایمیدازولی و پیک در طول موج ۶۰۰ نانومتر مربوط به پدیده الکترو پلکس می باشد. ترکیب این دو طول موج، دیود سفید را ایجاد می کند. همچنین قطعه ۱ با پیک در طول موج ۵۰۰ نانومتر با پهنای طیفی وسیع هم دیود نور گسیل سفید را نشان می دهد. در این حالت نیز هم پوشانی طیفی مشتقات ایمیدازولی و پدیده الکترو پلکس باعث ایجاد طیف سفید شده است. قطعه های ۲، ۳ و ۴ در طول موج ۴۴۰، ۴۳۵ و ۴۵۰ نانومتر گسیل دارند. گسیل الکترو پلکس زمانی بوجود می آید که الکترون از تراز LUMO، PBD و حفره از تراز HOMO، PVK باز ترکیب شوند. پدیده اکسیپلکس، معمولا منجر به جابه جایی به سمت قرمز و افزایش پهنای طیفی نسبت به گسیل خود مولکول تنها می شود. شکل ۶ ب دیود سفید ساخته شده (قطعه ۵) را ناشی از پدیده الکترو پلکس نشان می دهد.

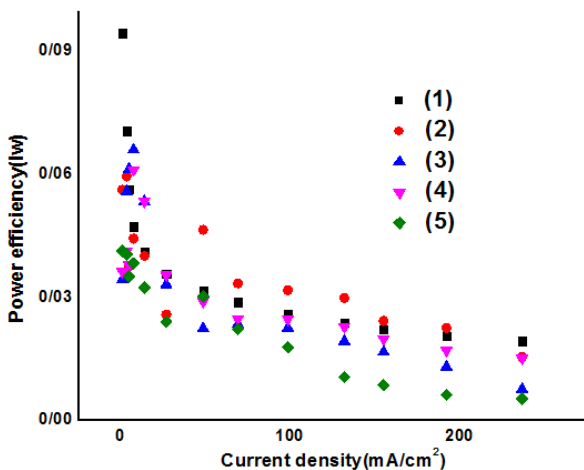
شکل ۷ طرح واره ای از سطوح انرژی و فرآیند دینامیک گسیل در سطح انرژی بالاترین تراز اشغال شده^۱ و سطح انرژی پایین ترین تراز اشغال نشده^۲ و سایر موادی که برای تولید دستگاه OLED مورد استفاده قرار گرفته نشان می دهد.



شکل ۸: مختصات رنگی برای دیودهای نورگسیل.



شکل ۹: نمودار جریان-ولتاژ دیودها.



شکل ۱۰: نمودار توان برحسب چگالی جریان مشتقات ایمیدازولی.

الکترون‌ها از Al و حفره‌ها از ITO (اکسید قلع ایندیم) خارج می‌شوند و به TPBI به عنوان لایه انتقال الکترون و PEDOT:PSS به عنوان لایه انتقال حفره به ترتیب وارد می‌شوند. سپس الکترون‌ها از طریق لایه انتقال الکترون و حفره‌ها از طریق لایه انتقال حفره وارد لایه نور گسیل می‌شوند. با بازترکیب الکترون‌ها و حفره‌ها انرژی اضافه شده ناشی از بازترکیب را به مولکول‌های میهمان منتقل می‌کنند. با بالاتر رفتن حالت انرژی مولکول‌های میهمان یک حالت تحریک شدگی شدید ایجاد می‌شود. این حالت تحریک شدگی ماندگار نیست و لذا مولکول‌های میهمان باید مقداری انرژی آزاد نمایند. لذا از طریق انتشار نور انرژی آزاد می‌شود. اگر بازترکیب مستقیم باشد نور خود ماده میهمان خواهد بود، اگر بازترکیب غیر مستقیم باشد پدیده الکتروپلکس رخ می‌دهد.

شکل ۸ مختصات رنگی برای قطعات ساخته شده را نشان می‌دهد. در شکل ۷ دیودهای ۱ و ۵ به ترتیب با مختصات (۰,۲۸) و (۰,۳۵) و (۰,۳۷) و (۰,۳) رنگ سفید را نشان می‌دهند. بنابراین شامل تمام طول موج‌ها می‌باشند. دیودهای ۲ و ۴ با مختصات (۰,۱۸) و (۰,۲۳) و (۰,۲۳) و (۰,۱۸) رنگ آبی را نشان می‌دهند و دارای طول موج ۵۰۰-۵۵۰ نانومتری باشند. هم‌چنین دیود ۳ با مختصات (۰,۵۷) و (۰,۱۸) رنگ سبز را نشان می‌دهد.

شکل ۹ مشخصات جریان-ولتاژ دیودها را نشان می‌دهد. با اعمال ولتاژ، الکترون‌ها از آلومینیم و حفره‌ها از ITO به لایه PEDOT:PSS به ترتیب به عنوان لایه انتقال دهنده الکترون و تزریق کننده حفره، تزریق می‌شوند. همان‌طور که در شکل مشخص است برای یک ولتاژ ثابت، دیود ۵ بیشترین جریان و دیود ۳ کمترین جریان را کشیده‌است. به عنوان مثال برای دیود ۵ ولتاژ کاری ۳,۹ ولت نسبت به ولتاژ کاری ۵ ولت برای دیود ۳ می‌باشد. ترتیب ولتاژ کاری برای دیودهای ساخته شده به صورت $3 > 4 > 2 > 1 > 5$ می‌باشد. در حد ولتاژهای بالا به دلیل اینکه دیود، جریان بیشتری را می‌کشد، احتمال آسیب دیدن قطعه بیشتر می‌شود.

در شکل ۱۰ نمودار توان برحسب چگالی جریان نشان داده شده است. بنابه نمودار می‌توان دریافت به طور مثال در چگالی جریان 100 mA/cm^2 ، بیشترین توان را قطعه ۲ و کمترین توان را قطعه ۵ شامل می‌شود.

بازدهی کوانتومی ترکیبات با استفاده از رابطه پارکر (رابطه ۱) محاسبه می‌شود [۲۴]. در این رابطه F سطح مقطع فلورسانس، ϕ بازدهی کوانتومی فلورسانس، C درصد ماده داخل نمونه، ϵ ضریب جذب و d ضخامت فیلم می‌باشد. در نتیجه بازدهی کوانتومی رابطه مستقیمی با فلورسانس نمونه دارد.

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{\phi_2 C_2 d_2 \epsilon_2}{\phi_1 C_1 d_1 \epsilon_1} \quad (1)$$

ساطع کردند. برای قطعه‌های ۱ و ۵ الکترولومینسنس غیرمعمول (رنگ سفید) مشاهده شد که این را می‌توان با استفاده از پدیده نادر الکتروپلکس توضیح داد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه صنعتی ارومیه برای همکاری جهت انجام این پژوهش سپاس‌گزاری می‌کنند.

۴- نتیجه‌گیری

در این کار سنتز، فوتولومینسنس مشتقات ایمیدازولی و الکترولومینسنس این ترکیبات مورد ارزیابی قرار گرفت. طیف الکترولومینسنس قطعات نسبت به PVK:PBD جابه‌جایی قرمز پیدا کرد. هم‌پوشانی طیفی بین گسیل PVK:PBD و جذب مشتقات ایمیدازولی باعث جابه‌جایی به سمت قرمز شده است. در طیف الکترولومینسنس با تغییر گروه عاملی روی این ترکیبات جابه‌جایی طول موجی رخ داد. قطعه ۳ رنگ سبز و قطعه‌های ۲ و ۴ رنگ آبی

۵- مراجع

1. 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.
2. J. Peng, X. Xu, X. Feng, L. Li, Fabrication of solution-processed pure blue fluorescent OLED using exciplex host. *J. Lumin.* 198(2018), 19-23.
3. L. Lai, J. Su, Luminescence excitation and near edge X-ray absorption spectra of Er₂O₃ dopant on zirconia ceramics. *Mater. Chem. Phys.* 62(2000), 148-152.
4. L. Huang, K. Tang, Q. Yang, G. Shen, S. Jia, Synthesis and characterization of ZrS₃ nanocrystallites. *Mater. Res. Bull.* 39(2004), 1083-1089.
۵. م. حسین نژاد، س. مرادیان، ک. قرنجیگ، مروری بر سلول‌های خورشیدی دویشته حساس‌شده به مواد رنگزا، نشریه علمی علوم و فناوری رنگ، ۱۳۹۵، ۴، ۷۵-۸۲
6. Y. Du, Q. Pan, J. Li, J. Yu, R. Xu, Synthesis, structure, and photoluminescence property of a new layered zirconium phosphate [Co(dien)₂][Zr₄H₈P₅O₂₆].3H₂O. *Inorg. Chem.* 46(2007), 5847-5851.
7. J. M. D. Souza, G. F. De, W. M. Azevedo, S. Alves, R. F. De Farias, Spectroscopic study of Eu and Tb complexes on polysiloxane tridimensional networks. *Opt. Mater.* 27(2005), 1187-1189.
8. B. L. An, M. L. Gong, M. X. Li, J. M. Zhang, Synthesis, structure and luminescence properties of samarium (III) and dysprosium (III) complexes with a new tridentate organic ligand. *J. Mol. Struct.* 687(2004), 1-6.
9. Y. F. Pan, A. Zheng, F. Z. Hu, H. N. Xiao, Copolymers of styrene with a quaternary europium complex. *J. Appl. Polym. Sci.* 100(2006), 1506-1510.
10. S. S. Lee, C. H. Chung, S. M. Cho, Effect of α -NPD film in electron transport layer on electroluminescence color change for organic light emitting devices. *Synth. Met.* 126(2002), 269-273.
11. S. S. Lee, T. J. Song, S. M. Cho, Organic white-light-emitting devices based on balanced exciton-recombination-zone split using a carrier blocking layer. *Mater. Sci. Eng. B.* 95(2002), 24-28.
۱۲. ن. نصیری-زاده، م. دهقانی، س. جعفری، تخریب ماده رنگزای بازیک قرمز ۱۳ با فرآیند ترکیبی سونوالکتروشیمی در حضور نانوذرات TiO₂. نشریه علمی علوم و فناوری رنگ. ۱۳۹۵، ۱۰، ۱۳۷-۱۴۴.
13. F. E. Gostev, L. S. Kol'tsova, A. N. Petrukhin, A. A. Titov, A. I. Shiyonok, N. L. Zaichenko, V. S. Marevtsev, O. M. Sarkisov, Spectral luminescent properties and dynamics of intramolecular processes in 2,4,5-triarylimidazoles. *J. Photochem. Photobiol. A.* 156(2003), 15-22.
14. P. Abhishek, C. J. Kulkarni, A. B. Tonzola, A. Samson, Electron Transport Materials for Organic Light-Emitting Diodes. *J. Chem. Mater.* 16(2004) 4556-4573.
15. W. Lin, L. Long, L. Yuan, Z. Cao, B. Chen, W. Tan, A ratiometric fluorescent probe for cysteine and homocysteine displaying a large emission shift. *Org. Lett.* 10(2008), 5577-5580.
16. Y. F. Sun, W. Huang, C. G. Lu, Y. P. Cui, The synthesis, two-photon absorption and blue upconversion fluorescence of novel, nitrogen-containing heterocyclic chromophores. *Dyes Pigm.* 81(2009), 10-17.
17. H. Konishi, T. Ueda, T. Muto, K. Manabe, Trichlorophenyl Formate: Highly Reactive and Easily Accessible Crystalline CO Surrogate for Palladium-Catalyzed Carbonylation of Aryl/Alkenyl Halides and Triflates. *Org. Lett.* 14(2012), 5370-5373.
18. A. Teimouri, A. N. Chermahini, An efficient and one-pot synthesis of 2,4,5-trisubstituted and 1,2,4,5-tetrasubstituted imidazoles catalyzed via solid acid nano-catalyst. *J. Mol. Cat. A. Chem.* 346(2011), 39-45.
19. A. Rashid, S. R. Syed, S. Priyanka, M. Arvind, A polynuclear hetero atom containing molecular organic scaffold to detect Al³⁺ ion through a fluorescence turn-on response. *RSC Adv.* 5(2015), 61513-61520.
20. M. Janghouri, Going from green to white color electroluminescence through a nanoscale complex of Zinc (II). *Mat. Sci. Semicon. Proc.* 66(2017), 117-122.
21. M. Janghouri, Electroluminescence and Photoluminescence from a Fluorescent Cobalt Porphyrin Grafted on Graphene Oxide. *J. Electron. Mater.* 46(2017), 1-7.
22. R. H. Shoar, G. Rahimzadeh, F. Derikvand, M. Farzaneh, Four-component, one-pot synthesis of tetrasubstituted imidazoles using a catalytic amount of MCM-41 or p-TsOH. *Syn. Commun.* 40(2010) 1270-1275.
23. M. Janghouri, M. Adineh, Color optimization of red organic light emitting diodes (OLEDs) through dihydroxyphenyl-substituted zinc porphyrins emitters. *J. Photochem. Photobiol.* 341(2017), 31-38.
24. C. A. Parker, W. T. Rees, Correction of fluorescence spectra and measurement of fluorescence quantum efficiency. *Anl. St.* 85(1960), 587-600.