

تنظیم رنگ و بررسی تحرک پذیری در دیود نور گسیل آلی بر پایه ترکیبات ایمیدازولی

محمد جانقوری^{۱*}، زرین قاسمی^۲، سیمین دلگشایی^۳

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

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

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۲۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۹/۸/۲۰

چکیده

در این تحقیق سه ترکیب ایمیدازولی برای استفاده به عنوان مواد فلورسنت در دیودهای نور گسیل آلی سنتز شده‌اند. در ادامه دیود نورگسیل آلی (OLED) چند لایه و تک لایه با استفاده از این ترکیبات ساخته شد. دیود ساخته شده از ترکیب تیوفن دار، بازدهی بالاتری نسبت به بقیه ترکیبات نشان داد. همچنین در طیف الکترولومینسانس ترکیب دارای حلقه فنیل پدیده نادر الکتروپلیکس رخ داد. نتایج نشان می‌دهد که گروه عاملی نقش مهمی در تنظیم رنگ دارد. در ادامه اثر ضخامت‌های ۱۵۰، ۱۰۰ و ۹۰ نانومتر ترکیب دارای حلقه تیوفن بر روی تحرک پذیری با استفاده از روش رفتار بار فضایی محدود شده جریان (SCLC) مورد مطالعه قرار گرفت. بیشترین تحرک پذیری در ضخامت بهینه ۹۰ نانومتر حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: دیود نور گسیل آلی، تحرک پذیری، رفتار بار فضایی محدود شده جریان، ترکیب ایمیدازولی.

Color Tuning and Investigation of Mobility in Organic Light Emitting Diodes Based on Imidazoles Compounds

M. Janghouri¹, Z. Ghasemi², S. Delgoshaei¹

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

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

Received: 22-01-2020

Accepted: 10-06-2020

Available online: 10-11-2020

Abstract

In this work, three imidazole compounds were synthesized as fluorescent materials for organic light-emitting diodes (OLEDs). In the step, single and multi-layers OLEDs using imidazole compounds have been fabricated. The highest luminous efficiency was observed with the compound (1). Diode fabricated with thiophene increased efficiency with respect to other compounds. Also, in the electroluminescence spectrum of the phenyl ring, electroplex emission was achieved. The results show that the color of devices depends on functional groups. The effect of various thicknesses (90,100 and 150 nm) on the electron mobility of devices with space-charge-limited current (SCLC) method was investigated. The highest mobility at the optimum thickness of 90 nm was achieved. *J. Color Sci. Tech.* 14(2021), 311-318©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Organic light-emitting diodes, Mobility, Space-charge-limited current, Imidazole compounds.

۱- مقدمه

می‌باشد. البته اکسایمر برای دو ترکیب یکسان استفاده می‌شود اگر ترکیبات تشکیل دهنده با هم تفاوت داشته باشند به آن اگزپلکس می‌گویند. اگزپلکس حالتی هست که بین‌دهنده و گیرنده رخ می‌دهد. یکی در حالت برانگیخته و دیگری در حالت پایه می‌باشد. اگزپلکس معمولاً منجر به جابه‌جایی به سمت قرمز و پهنای طیفی وسیع نسبت به تک مولکول می‌شود. بعضی مواقع پدیده‌ای به نام الکتروپلکس در فصل مشترک دو لایه شکل می‌گیرد. اگزپلکس هم تحت تهیج نوری و الکتریکی دیده می‌شود. اما الکتروپلکس تحت تهیج الکتریکی خود را نشان می‌دهد.

در این تحقیق، از خانواده ترکیبات آلی فلورسانس به عنوان انتقال الکترون و لایه ساطع کننده برای بررسی مشخصه‌های الکتریکی و اپتیکی آنها استفاده شد. ابتدا ترکیبات ایمیدازولی سنتز شده‌اند و دیود نور گسیل آلی تک‌لایه و چند لایه ساخته شد. همچنین خواص نوری شامل فوتولومینسانس، الکترولومینسانس و ترابرد بار در ساخت دیود آلی مورد بررسی قرار گرفت. در این کار تحرک‌پذیری ترکیبات ایمیدازولی در قطعات نورگسیل به کار گرفته شده مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت با استفاده از داده‌های تجربی که قبلاً اندازه‌گیری شده، از روش جریان محدود شده به خاطر بار فضایی (SCLC) تحرک‌پذیری ترکیبات ایمیدازولی به حالت تئوری محاسبه گردید.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

واکنش کلی سنتز ترکیبات ایمیدازولی چهار استخلافی براساس منابع انجام شد [۲۱]. مخلوطی از بنزیل (۱ میلی‌مول)، ۱، ۴- فنیلین دی آمین (۱ میلی‌مول)، آریل آلدئید (۱ میلی‌مول)، آمونیم استات (۵ میلی‌مول) و پارا تولوئن اسید سولفونیک (۰.۰۴ گرم) در حلال اتانل (۵ میلی‌لیتر) در حالت بازروانی به مدت مناسب بهم 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 شمای واکنش انجام گرفته در شکل ۱ آورده شده است. همچنین زمان لازم برای کامل شدن هر واکنش، بازده واکنش‌ها و ساختار و نقطه ذوب هر محصول در شکل ۱ و در جدول ۱ نشان داده شده است. این مواد با شماره‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. همچنین مواد LiF^2 و PVK^3 که از شرکت سیگما آلدریج تهیه شده، به ترتیب، به عنوان لایه بافر و انتقال دهنده حفره مورد استفاده قرار گرفت.

طی چند دهه گذشته خواص نوری ترکیبات آلی به علت برنامه‌های کاربردی آنها در نور، قطعات اپتوالکتریکی، حس‌گرهای شب‌تاب، جوهرهای امنیتی، برچسب‌های ضد جعل و تصویربرداری زیست پزشکی به طور وسیع مورد مطالعه قرار گرفته است [۶-۱]. ترکیبات آلی توجه چشمگیری را در طول سال‌های اخیر به دلیل ولتاژ روشنایی کم، هزینه پایین و تنظیم رنگ خوب جذب کرده‌اند. توسعه مواد ساطع کننده نور آبی، قرمز، سبز به منظور دست یافتن به LEDهای آلی برای به دست آوردن دیودهای نورگسیل آلی (OLED) مؤثر، ضروری و حیاتی است [۷-۱۱]. یکی از مهم‌ترین اهداف در یک طراحی بهینه از ساختار دیود، تعیین تحرک‌پذیری حامل‌های بار است. تحرک‌پذیری حامل‌ها در لایه‌های مختلف متفاوت است. بنابراین برای تعیین محل قرارگیری ناحیه برخورد در دیود آلی ایجاد تعادل بین ضخامت لایه‌ها و حامل‌های بار باید صورت پذیرد. ضخامت لایه‌ها در دیود نورگسیل طوری طراحی می‌شود که حامل‌های بار از لایه‌های مختلف در لایه نورگسیل به یکدیگر برسند.

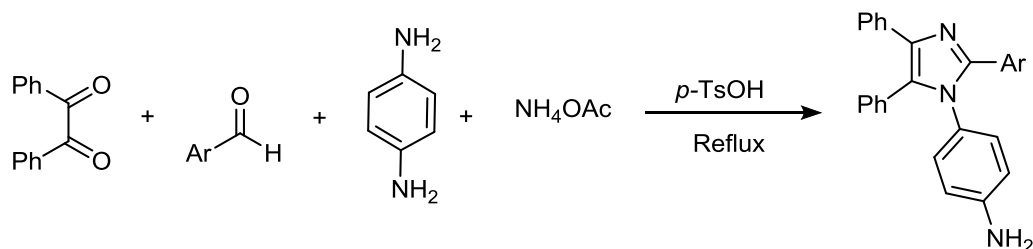
در دیودهای نور گسیل آلی، ساختار بهینه، ساختاری است که بیشترین شدت نورگسیلی در قطعه رخ دهد. این امر زمانی اتفاق می‌افتد که الکترون و حفره در لایه نور گسیل به هم برسند. اندازه‌گیری و سنجش‌های جریان محدود شده به خاطر بار فضایی (SCLC)، تایید شده، که یک روش مؤثر برای دستیابی به تحرک‌پذیری حامل تحت حالت پایدار جریان در یک فیلم نازک باشد [۱۲]. گروه‌های مختلفی، تحرک‌پذیری‌های الکترون مواد آلی ارزیابی شده توسط حالت پایدار جریان محدود شده به خاطر بار فضایی (SCLC) را گزارش کرده‌اند [۱۴، ۱۳]. مواد آلی در سال‌های اخیر به دلیل بازده بالای روشنایی، پهنای طیفی وسیع، محو شدن در زمان طولانی و تغییر شدت روشنایی با تغییر مکان لیگاندها، بسیار مورد توجه بوده‌اند [۱۵، ۱۶]. در سال‌های اخیر ترکیبات ایمیدازولی به دلیل داشتن خواص نورتایی بالا مورد توجه بسیاری از مهندسان قرار گرفته‌اند. به همین خاطر از این ترکیبات در مواد رنگزای غیرخطی، مواد نشان‌دار فلورسانس، تصویربرداری زیستی و همچنین دیودهای آلی گسیلنده نور استفاده می‌شود [۱۷، ۱۸]. اکسایمر مخفف عبارت دایمر برانگیخته^۱ است و به دو مولکول که یکی از آنها در حالت برانگیخته و دیگری در حالت پایه است که با هم یک دایمر را تشکیل داده‌اند گفته می‌شود. اکسایمر بیشتر در مولکول‌های دو اتمی اتفاق می‌افتد که در حالت عادی با هم واکنش نمی‌دهند ولی به خاطر برانگیخته بودن یکی از آنها با هم پیوند می‌دهند ولی پس از گذار به حالت پایه الکترون، دوباره از هم جدا می‌شوند [۱۹، ۲۰]. طول موج گسیلی یک اکسایمر از طول موج گسیلی دایمر برانگیخته آن بلندتر

2- Lithium Fluoride
3- Polyvinyl Carbazole

1- Excited dimer

جدول ۱: اطلاعات مواد سنتز شده.

شماره مواد	محصول	نقطه ذوب محصول (°C)	بهره واکنش (%)	زمان واکنش (ساعت)	Ar-CH=O
(۱)		۲۸۰	۴۵	۱۵	
(۲)		۲۵۰	۸۰	۱۰	
(۳)		۲۷۰	۶۴	۸	



شکل ۱: فرآیند سنتز مواد رنگزا.

چرخشی بر روی زیرلایه شیشه که مراحل شستشو آن همانند ITO بود، لایه نشانی شد که این کار صرفاً جهت کالیبره کردن ضخامت مورد نظر که در اینجا ۸۰ نانومتر است، انجام می‌شود هر بار که بر روی شیشه، ماده مورد نظر لایه‌نشانی شد، توسط پروفایلومتر DEKTAK8000 ضخامت‌سنجی گردید، پس از مرحله کالیبراسیون بر روی شیشه، ماده مورد نظر آماده لایه‌نشانی بر روی ITO بود ماده PVK بر روی زیر لایه، لایه‌نشانی شد و سپس این زیرلایه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۲۰ °C در داخل آون قرار گرفتند تا حلال آن کاملاً تبخیر شود و همچنین ناهمواری‌های سطح لایه‌نشانی شده با پخت لایه‌ها کمتر شود. در مرحله بعد LEL^۱ لایه نورگسیل با

۲-۲- ساختار دیود نور گسیل آلی

اکسید قلع ایندیم (ITO) به عنوان آند استفاده شد. در این مرحله ابتدا ITO با آب و صابون شسته شده، سپس در داخل آب مقطر به مدت ۵ دقیقه در فراصوت قرار گرفت تا ناخالصی‌هایی که در آب حل می‌شوند از سطح آن کنده شوند. سپس ITO با استن کر داده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در فراصوت قرار گرفت تا ناخالصی‌هایی که در استن حل می‌شوند از سطح آن پاک شوند. در ادامه کار شستشو با همین روند با دی کلرواتان، دی کلرومتان، اتانل، متانل انجام داده شد تا از هرگونه آلودگی تا حد خیلی زیادی جلوگیری شود. اولین لایه به عنوان انتقال دهنده حفره که PVK است به روش لایه‌نشانی

مدل ۲۴۰۰ و دستگاه نوری Mastech-MS6612 بررسی شد. نقطه ذوب با استفاده از دستگاه الکتروترمال ۹۲۰۰ اندازه‌گیری شد.

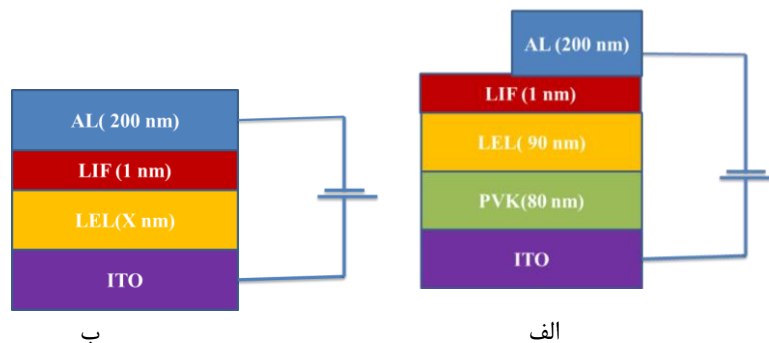
۳- نتایج و بحث

شکل ۳ طیف جذبی ترکیبات آمین را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ترکیب (۱) پیک جذب در بازه طول موجی ۴۵۰-۳۵۰ نانومتر را نشان می‌دهد، ترکیبات (۲) و (۳) چهار پیک جذب در بازه طول موجی ۴۰۰-۳۵۰ نانومتر را دارند که ترکیب (۱) بیشترین جذب و ترکیب (۳) کمترین جذب را داراست.

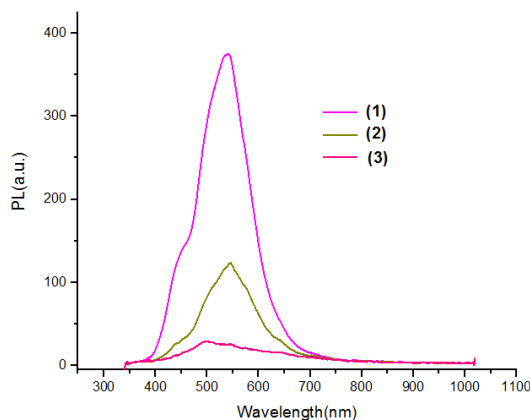
شکل ۴ طیف فوتولومینسانس مشتقات ایمیدازولی را نشان می‌دهد. بیشترین شدت مربوط به ترکیب (۱) می‌باشد که طیف گسیل آن به سمت قرمز است که بالاترین بازترکیب را دارد. پیک اصلی گسیل برای ترکیب (۲) در طول موج ۵۶۰ نانومتر می‌باشد و ترکیب (۳) گسیل به سمت آبی دارد و کمترین بازترکیب را داراست. این شکل نشان می‌دهد که ترکیب ۱ قابلیت ساخت یک OLED با بازدهی بالا را دارد.

ضخامت ۹۰ نانومتر به عنوان لایه انتقال دهنده الکترون روی نمونه به روش تبخیر حرارتی لایه نشانی شد. در مرحله بعد (LiF) با ضخامت ۱ نانومتر به عنوان لایه بافر روی LEL لایه نشانی گردید. در مرحله آخر کاند آلومینیم با ضخامت ۲۰۰ نانومتر به روش تبخیر حرارتی در فشار 5×10^{-5} میلی‌بار بر روی نمونه‌ها در خلا لایه‌نشانی شد. ساختار قطعه ساخته شده در شکل ۲ (الف) نشان داده شده است. در ادامه برای بررسی تحرک‌پذیری الکترون دیود آلی تک‌لایه ساخته شد. اکسید قلع ایندیم (ITO) به عنوان آند استفاده شد. ترکیب ۱ تحت ضخامت‌های ۹۰، ۱۰۰، ۱۵۰ نانومتر به عنوان لایه انتقال دهنده الکترون به روش لایه‌نشانی تبخیری روی ITO لایه‌نشانی شد، در مرحله بعد LiF به عنوان لایه بافر با ضخامت ۱ نانومتر روی ترکیب ۱ به روش تبخیر حرارتی لایه نشانی شد و در آخر آلومینیم به عنوان کاند با ضخامت ۲۰۰ نانومتر روی LiF به روش تبخیر حرارتی در خلا با فشار 5×10^{-5} میلی‌بار لایه نشانی شد. ساختار قطعه ساخته شده در شکل ۲ ب نشان داده شده است. الکترومینیسانس و فوتولومینسانس به وسیله اسپکترومتر دیویدسون Ocean Optic مدل HR4000 و USB2000 انجام شده است. مشخصات تابشی و جریان-ولتاژ به ترتیب توسط مبدل کاتدی کیتلی

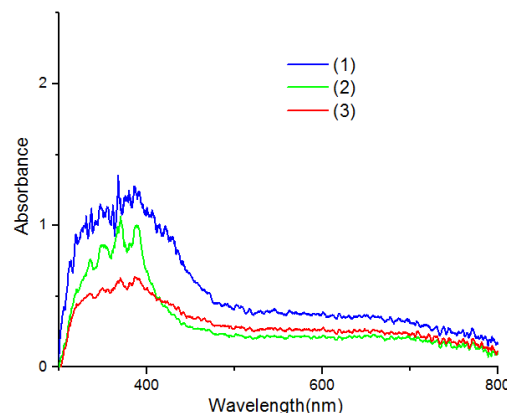
۱- Light emitting layer



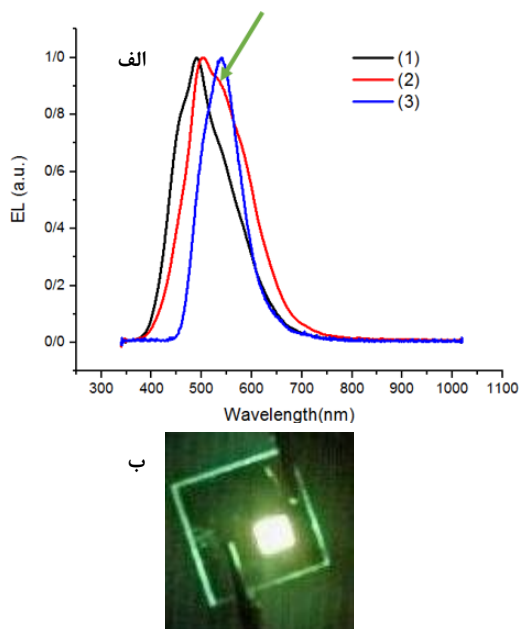
شکل ۲: الف) ساختار دیود چند لایه و ب) ساختار تک لایه.



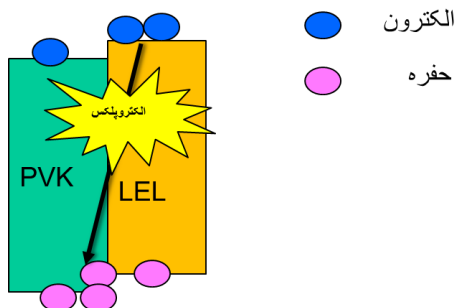
شکل ۴: نمودار طیف فوتولومینسانس مشتقات ایمیدازولی.



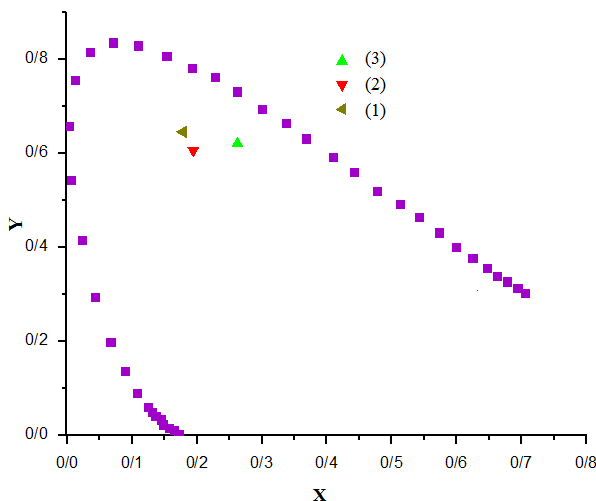
شکل ۳: نمودار طیف جذبی مشتقات ایمیدازولی.



شکل ۵: الف) نمودار طیف الکترو لومینسانس نرمالایز شده مشتقات ایمیدازولی و ب) دیود سبز ترکیب ۲.



شکل ۶: ترازهای انرژی و پدیده الکتروپلکس.



شکل ۷: مختصات رنگی برای دیودهای نورگسیل.

طیف الکترو لومینسانس دیود نور گسیل آلی در شکل ۵ نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که انرژی گاف ترکیب (۳) کوچکتر از بقیه می باشد. بازدهی ترکیب ۱ بالاتر از بقیه است به عبارت دیگر ترکیب تابشی در ترازهای انرژی ترکیب ۱ بیشتر از بقیه ترکیبات می باشد. پهنای طیفی ترکیب ۱، ۱۲۵ نانومتر است که در طول موج ۴۹۰ نانومتر ساطع می کند. ترکیب ۲ دارای پهنای طیفی ۱۲۵ نانومتر که در طول موج ۵۰۰ نانومتر ساطع می کند همانطور که مشاهده می شود در ترکیب ۲ علاوه بر پیک اصلی یک شانه ظاهر شده است که به علت پدیده الکتروپلیکس می باشد که در واقع باز ترکیب غیرمستقیم بین سطح انرژی بالاترین تراز اشغال شده (HOMO) ماده PVK و سطح انرژی پایین ترین تراز اشغال نشده (LUMO) ترکیب ۲ است. ترکیب ۳ دارای پهنای طیفی ۱۰۰ نانومتر بوده و در طول موج ۵۵۰ نانومتر ساطع می کند.

در مورد ترکیب ۲ به دلیل اینکه ترازهای انرژی این نمونه با محیط میزبان طوری بوده که انباشت بار در فصل مشترک ایجاد نشده در نتیجه نور گسیلی فقط از ترکیب ۲ بوده است. شکل ۶ تراز انرژی و فرآیند دینامیک گسیل در HOMO و LUMO را نشان می دهد. الکترون ها از Al و حفره ها از ITO (اکسید قلع ایندیم) خارج می شوند و به ترتیب به LEL به عنوان لایه انتقال الکترون و PVK به عنوان لایه انتقال حفره وارد می شوند. سپس الکترون حفره ها در لایه نور گسیل باز ترکیب می شوند اگر باز ترکیب مستقیم باشد نور خود ماده LEL خواهد بود، اگر باز ترکیب غیرمستقیم باشد پدیده الکتروپلیکس رخ می دهد [۲۰].

شکل ۷ مختصات رنگی برای قطعات ساخته شده را نشان می دهد. ترکیب (۱) دارای مختصات ۰٫۶۵ و ۰٫۱۹، ترکیب ۲ مختصات ۰٫۶ و ۰٫۲، و ترکیب ۳ مختصات ۰٫۶۲ و ۰٫۲۷ است. فام ترکیب ۳ زرد و فام ترکیبات ۱ و ۲ یکسان هستند. تفاوت ترکیب های ۱ و ۲ تنها در خلوص نور ساطع شده است نه در فام. بدین معنا که نور ترکیب ۱ خالص تر از ترکیب ۲ است.

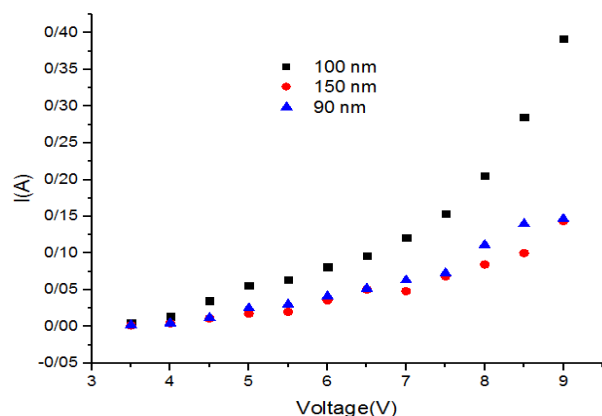
شکل ۸ مشخصات جریان-ولتاژ دیودها را نشان می دهد. در یک ولتاژ ثابت، چگالی جریان برای ترکیب ۳ کمتر از بقیه دیودهای آلی می باشد. این نشان می دهد که در ترکیب ۳ چگالی تله ها در لایه نورگسیل افزایش پیدا کرده و دیود رفتار بار فضایی را نشان می دهد و از تزریق بیشتر حامل های بار به دیود جلوگیری کرده و یک میدان داخلی در لایه نورگسیل ایجاد می شود و ولتاژ کاری دیود افزایش پیدا می کند. معلوم می شود که نوع گروه عاملی روی مشخصات الکتریکی تاثیر می گذارد. در شکل ۹ نمودار بازدهی بر حسب ولتاژ نشان داده شده است، همان طور که مشاهده می شود با افزایش ولتاژ، بازدهی جریان کاهش پیدا می کند. با توجه به نمودار می توان دریافت به طور مثال در ولتاژ ۸ ولت، بیشترین بازدهی را ترکیب ۱ و کمترین را ترکیب ۳ دارا می باشد.

میدان الکتریکی را محاسبه کرده و از طریق رابطه ۱، $\ln(J/E^2)$ را به دست آورد، اکنون با کمک اطلاعات در اختیار داشته، می‌توان نمودار تغییرات $\ln(J/E^2)$ را با تغییرات میدان الکتریکی رسم کرد، که در شکل ۱۱ منحنی‌ها برای هر سه ضخامت ذکر شده، رسم شده‌اند. سپس شیب و عرض از مبدا نمودارها را محاسبه کرده زیرا با استفاده از شیب و عرض از مبدا می‌توان تحرک پذیری در میدان صفر و ثابت فرنگل را برای مراحل بعدی محاسبات خود به دست آورد (رابطه‌های ۲ و ۳) و در نهایت تحرک پذیری با تغییرات میدان الکتریکی برای هر سه ضخامت موردنظر حاصل می‌شود. در این رابطه β ، J ، E ، μ_0 و ϵ به ترتیب ضخامت لایه، ثابت پول-فرانکل، چگالی جریان، میدان الکتریکی، تحرک پذیری در میدان صفر و ضریب گذردهی الکتریکی می‌باشد [۱۳، ۱۴].

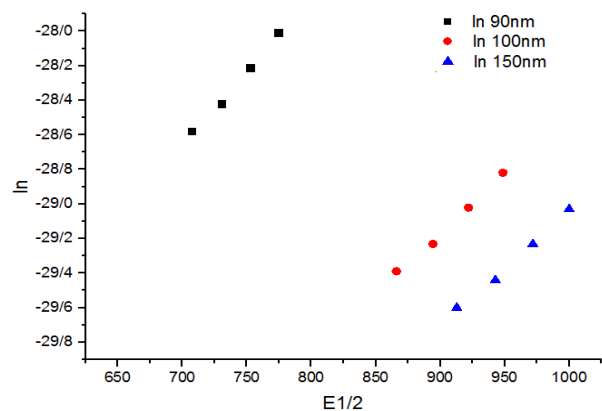
$$\ln(J/E^2) = \beta E^{1/2} + \ln(9\epsilon\epsilon_0\mu_0/8L) \quad (1)$$

$$\mu_0 = e^{\text{intercept}} \times (8L/9\epsilon\epsilon_0) \quad (2)$$

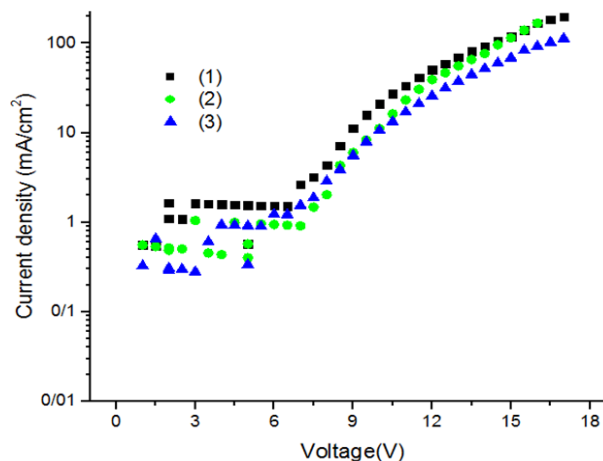
$$\beta = (\text{slope}) \quad (3)$$



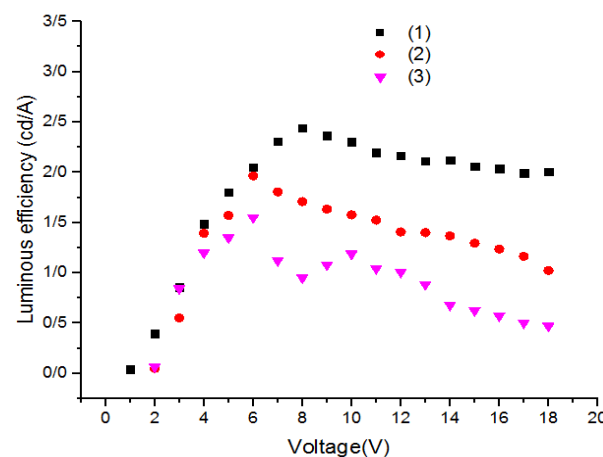
شکل ۱۰: مشخصه ولتاژ و جریان در ترکیب ۱.



شکل ۱۱: نمودار $\ln(J/E^2) - E^{1/2}$.



شکل ۸: نمودار چگالی جریان- ولتاژ دیودها.



شکل ۹: نمودار بازدهی برحسب ولتاژ مشتقات ایمیدازولی.

۳-۱- بررسی تحرک پذیری الکترون در ترکیب ۱

تحرک پذیری الکترون در ترکیب (۱) در این مقاله با استفاده از روش جریان محدود شده با بار فضایی ارزیابی شده است [۱۴]. از آنجایی که روش‌های دیگر از جمله روش پرواز با فیلم ضخیم به ضخامت چند میکرونی نیاز داشته پس مناسب نبوده [۲۲]، از این رو نتایج حاصل از روش جریان محدود شده با بار فضایی در تخمین تحرک پذیری الکترون در ماده آلی ترکیب ۱ مفیدتر است. در این آزمایش، هدف بررسی تحرک پذیری الکترون در ترکیب ۱ در ضخامت‌های مختلف این ماده می‌باشد که ساختار ابزار موردنظر ITO / Compound[1] (90,100,150 nm) / LiF / Al موردنظر با لایه آلی در هر سه ضخامت ۹۰، ۱۰۰، ۱۵۰ نانومتر ولتاژ اعمال می‌شود که باعث ایجاد جریان در آن می‌شود و جریان حاصل شده در هر ولتاژ، توسط کامپیوتر ثبت می‌شود که در نهایت نمودار تغییرات جریان- ولتاژ این ابزار به صورت شکل ۱۰ به دست می‌آید. با توجه به نمودار جریان- ولتاژ، جریان در ولتاژهای مختلف را در اختیار داشته و همچنین با مشخص بودن ضخامت فیلم آلی می‌توان

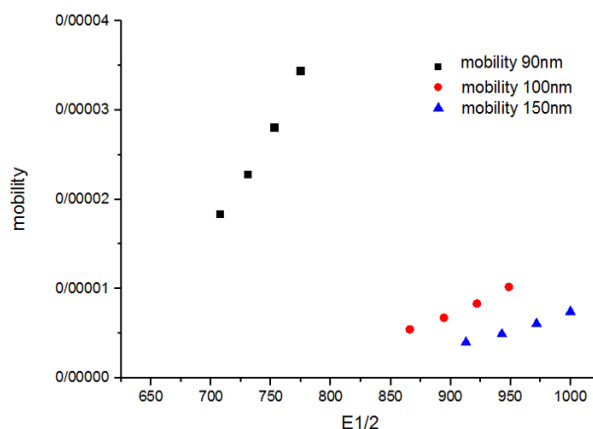
۴- نتیجه گیری

در این کار ترکیبات ایمیدازولی سنتز شده‌اند و خواص نوری این ترکیبات مورد بررسی قرار گرفت. همچنین کاربرد این ترکیبات در ساخت دیود نورگسیل آلی به عنوان لایه نورگسیل و انتقال دهنده الکترون مورد بررسی قرار گرفت. ترکیب ۱ بازدهی و چگالی جریان دیود را بطور قابل توجهی افزایش می‌دهد. در ترکیب ۲ پدیده نادر الکتروپلیکس مشاهده شد، همچنین با تغییر گروه عاملی رنگ دیود نور گسیل تغییر می‌کند. در نهایت برای اولین بار تحرک پذیری الکترون در این ترکیبات در ساخت یک دیود آلی تحت ضخامت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه صنعتی ارومیه برای همکاری آنها سپاسگزار می‌کنند.

در شکل ۱۱ نمودارهای $\ln(J/E^2)$ با توجه به تغییرات میدان الکتریکی در هر سه ضخامت نمایش داده شده‌اند. حال با استفاده از تحرک پذیری در میدان صفر و شیب بدست آمده از طریق نمودارها و جایگذاری در رابطه ۴، تحرک پذیری در میدان‌های مختلف برای ضخامت‌های مختلف بدست می‌آید که نمودار تغییرات تحرک پذیری با تغییرات میدان الکتریکی برای سه ضخامت ۱۵۰، ۱۰۰ و ۹۰ نانومتر در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱۲: نمودار وابستگی تحرک پذیری به میدان الکتریکی.

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.
- L. Huang, K. Tang, Q. Yang, G. Shen, S. Jia, Synthesis and characterization of ZrS_3 nanocrystallites. *Mater. Res. Bull.* 39(2004), 1083-1089.
- Y. Du, Q. Pan, J. Li, J. Yu, R. Xu, Synthesis, structure, and photoluminescence property of a new layered zirconium phosphate $[\text{Co}(\text{dien})_2][\text{Zr}_4\text{H}_8\text{P}_5\text{O}_{26}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. *Inorg. Chem.* 46(2007), 5847-5851.
- H. Shahroosvand, F. Nasouti, E. Mohajerani, A. Khabbazi, Red-yellow electroluminescence, yellow-green photoluminescence of novel N, O donor ligands-chelated zirconium (IV) complexes. *Opt. Mater.* 27(2005), 339-344.
- B. Yan, Q. Xie, The Photophysical Properties of Quaternary Lanthanide (Eu^{3+} , Tb^{3+} , Sm^{3+} , Dy^{3+}) functional molecular complexes. *Monatsh. Chem.* 135(2004), 757-764.
- م. جانقوری، ع. مهاجرانی، م. قلیپور اصل، پ. پناهیانفر، ساخت دیود نور گسیل آلی زرد و قرمز با اضافه کردن رنگینه به روش لایه‌نشانی تک بوت‌های. *نشریه علمی علوم و فناوری رنگ*. ۱۴(۱۳۹۹)، ۸۲-۷۳.
- م. جانقوری، ع. مهاجرانی، ز. قاسمی، ر. سلامت بخش، آ. ابوالقاسمی فخری، الکترو لومینسنس سفید غیر عادی در دیود نور گسیل آلی بر پایه مشتقات ایمیدازولی. *نشریه علمی علوم و فناوری رنگ*. ۱۴(۱۳۹۹)، ۲۲۲-۲۱۵.
- Y. Pan, A. Zheng, F. Hu, H. Xiao, Copolymers of styrene with a quaternary europium complex. *J. Appl. Polym. Sci.* 100(2006), 1506-1510.
- م. حسین‌نژاد، س. مرادیان، ک. قرنجیگ، مروری بر سلول‌های خورشیدی دویشته حساس شده به مواد رنگزا. *نشریه علمی علوم و فناوری رنگ*. ۴(۱۳۹۵)، ۸۲-۷۵.
- C. D. B. Vandevyver, A.S. Chauvin, S. Comby, J. C. G. Bünzli, Luminescent lanthanide bimetallic triple stranded helicates as potential cellular imaging probes. *Chem. Commun.* 17(2007), 1716-1718.
- R. J. Aarons, J. K. Notta, M. M. Meloni, J. Feng, R. Vidyasagar, J. Narvainen, S. Allan, N. Spencer, R. A. Kauppinen, J. S. Snaith, S. Faulkner, A luminescent probe containing a tuftsin targeting vector coupled to a terbium complex. *Chem. Commun.* 8(2006), 909-911.
- L. N. Sun, J. B. Yu, H. J. Zhang, Q. G. Meng, E. Ma, C. Y. Peng, K. Y. Yang, Near-infrared luminescent mesoporous materials covalently bonded with ternary lanthanide [Er (III), Nd (III), Yb (III), Sm (III), Pr (III)] complexes. *Chem. Mater.* 17(2005), 156-165.
- M. Janghour, S. Minasian, M. Mahmoudi, S. Eyvazi, Photo/electroluminescence and electron transport properties of new zinc complexes. *Opt. Mat.* 89(2019), 488-493.
- M. Pazoki, U.B. Cappel, E.M.J. Johansson, A. Hagfeldt, G. Boschloo, Characterization techniques for dye sensitized solar cells. *J. Appl. Phys.* 141(2002), 672-709.
- 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. M. M. Richter, Electrochemiluminescence. *Chem. Rev.* 104(2004), 3003-3036.
20. M. Janghouri, Electroluminescence and photoluminescence from a fluorescent cobalt porphyrin grafted on graphene oxide. *J. Electron. Mater.* 46(2017), 5635-5641.
21. 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. Com.* 40(2010), 1270-1275.
22. X. Zhao, X. Zhan, Electron transporting semiconducting polymers in organic electronics. *Chem. Soc. Rev.* 40(2011), 3728-3743.