

اکسید گرافن کربوکسیله به عنوان لایه تزریق کننده حفره مؤثر در دیود نورگسیل پلیمری

مریم مساح بیدگلی^{*}، محسن محسن نیا^۱، نگین معنوی زاده^۳

^۱ دکتری شیمی فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

m.massah.85@gmail.com

^۲ استاد دانشکده شیمی و مهندسی شیمی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

m.mohsennia@kashanu.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

manavizadeh@kntu.ac.ir

چکیده: در این مقاله، دیود نورگسیل پلیمری (PLED) با پیکربندی glass/ITO/GO-COOH/MEH-PPV/Al ساخته شد. ابتدا لایه نازک ایندیوم قلع اکسید (ITO) بر روی زیرلایه‌های شیشه‌ای، به روش کندوپاش فرکانس رادیویی (RF) لایه‌نشانی و سپس تأثیر اکسید گرافن کربوکسیله (GO-COOH) سنتزی به عنوان لایه تزریق کننده حفره (HIL) بر روی عملکرد PLED ساخته شده با پلی (۲- متوکسی - ۵ - (۲') اتیل هگزیلوکسی) - ۱، ۴- فنیلین وینیلین (MEH-PPV) بررسی شد. همچنین خواص الکتریکی و نوری الکتروود شفاف ITO اندازه‌گیری شد. در نهایت، عملکرد دیود ساخته شده بررسی گردید و با PLED ساخته شده با پلی (۳، ۴- اتیلن دی اکسی تیوفن): پلی (استایرن سولفونات) (PEDOT:PSS) به عنوان HIL مورد مقایسه قرار گرفت. به منظور تخمین ارتفاع سد پتانسیل تزریق حفره (φ) PLEDs ساخته شده، از مدل تونل زنی فاولر- نورد هایم (FN) استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که GO-COOH تزریق حفره در داخل ساختار PLED را بهبود داده و سبب کاهش ولتاژ روشن شدن قطع می‌شود. بنابراین، GO-COOH می‌تواند به عنوان یک HIL مناسب در PLEDs و همچنین سایر افزاره‌های میکرو و نانوالکترونیکی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: ایندیوم قلع اکسید، اکسید گرافن کربوکسیله، پلی (۲- متوکسی - ۵ - (۲') اتیل هگزیلوکسی) - ۱، ۴- فنیلین وینیلین، پلی (۳، ۴- اتیلن دی اکسی تیوفن): پلی (استایرن سولفونات)، دیود نورگسیل پلیمری.

۱. مقدمه

طول عمر آن را افزایش می دهد. با وجود مزایای PEDOT:PSS، این پلیمر به دلیل یون PSS، طبیعت اسیدی دارد که با مهاجرت ایندیوم به داخل آن باعث زدایش ITO می شود. بنابراین، بهبود خواص PEDOT:PSS یا جایگزینی پلیمر دیگری مورد توجه است [۵].

به تازگی نشان داده شده است که اکسید گرافن (GO) می تواند به عنوان HIL در ساختار LEDs مورد استفاده قرار گیرد. GO یک گرافن عامل دار شده با گروه های هیدروکسی و اپوکسی متصل شده روی صفحات و همچنین گروه های کربوکسی قرار گرفته در لبه هاست [۷]. GO به دلیل گروه های شامل اکسیژن، پراکندگی خوبی در آب و حلال های آلی قطبی نشان می دهد [۸]. با قرار دادن GO در یک محیط بازی و در حضور کلرواستیک اسید، GO-COOH به دست می آید که نسبت به GO، پراکندگی بهتری نشان می دهد [۹].

در این مقاله، ابتدا لایه نازک ITO بر روی زیرلایه های شیشه ای به روش کندوپاش RF^۶ لایه نشانی شده و به عنوان آند در ساخت PLEDs به کار گرفته می شوند. سپس به منظور بررسی اثر GO-COOH سنتز شده [۹] به عنوان HIL، قطعه ای با پیکربندی glass/ITO/GO-COOH/MEH-PPV/Al ساخته می شود. عملکرد دیود ساخته شده، با جزئیات مورد بررسی قرار گرفته و با قطعه متداول ساخته شده با پیکربندی glass/ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV/Al مقایسه می شود.

۲. بخش تجربی

ابتدا لایه های ITO به روش کندوپاش RF با استفاده از ماده هدف سرامیکی که شامل ۹۰ درصد وزنی اکسید ایندیوم و ۱۰ درصد وزنی اکسید قلع است، بر روی زیرلایه های شیشه ای با ضخامت ۱۵۰ میکرومتر لایه نشانی می شوند. قبل از لایه نشانی، زیرلایه ها با محلول RCA (آب مقطر، هیدروژن پراکسید و آمونیاک به نسبت ۵، ۱ و ۱) شست و شو شده و پس از خشک کردن با گاز نیتروژن، داخل سیستم کندوپاش قرار می گیرند. پس از رسیدن فشار سیستم به مقدار 10^{-6} Torr، لایه نشانی در توان ثابت ۳۰۰ وات و فشار ۲۰ mTorr انجام می شود. سپس به منظور بهبود خواص الکتریکی، زیرلایه ها به مدت ۲ ساعت در کوره تحت خلأ و در دمای ۳۷۵ °C قرار می گیرند. زیرلایه های ITO لایه نشانی شده بر روی شیشه به عنوان آند در ساخت PLEDs به کار گرفته می شوند. ساختار PLEDs به صورت glass/ITO/HIL/MEH-PPV/Al است. برای ساخت قطعات، ابتدا لایه های نازک ITO به ترتیب با استفاده از حلال های آب مقطر، استون، متانول و ایزوپروپانول شست و شو داده می شود. برای ساختار مرجع، PEDOT:PSS را با نسبت ۱ به ۳ با آب

در سال های اخیر، تحقیقات بر روی تکنولوژی های ذخیره انرژی در سراسر جهان اهمیت فراوانی پیدا کرده است. صنعت روشنایی یکی از صنایعی است که به دلیل مصرف زیاد انرژی الکتریکی در آن، استفاده از این تکنولوژی ها به منظور کاهش مصرف و ذخیره انرژی کاملاً توجیه پذیر است. در منابع روشنایی متداول مانند لامپ های فیلامان، مقدار کمی از انرژی به شکل نور استفاده شده و بخش زیادی از آن به صورت گرما به هدر می رود. منابع دیگر مانند لامپ های تخلیه الکتریکی پر شده با گاز، با وجود کارایی بیشتر، به دلیل ایجاد آلودگی چندان متداول نیستند. بنابراین، یکی از راه های مؤثر برای غلبه بر این مشکلات، استفاده از انرژی های کارآمد، منابع روشنایی پاک و چشمه های نوری حالت جامد است [۱].

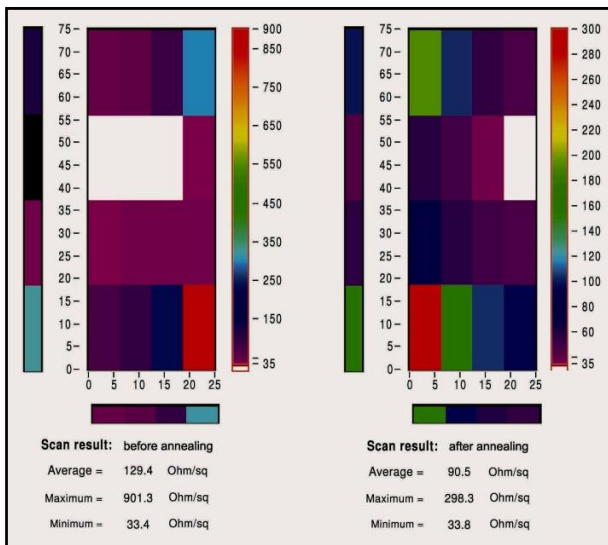
چشمه های نوری حالت جامد مانند دیودهای نورگسیل^۱ (LEDs) و دیودهای نورگسیل آبی^۲ (OLEDs)، یکی از منابع روشنایی دوستدار محیط زیست با پتانسیل بالا هستند. یکی از انواع OLEDs، PLEDs^۳ است که لایه نورگسیل آن از مواد پلیمری ساخته شده است. امروزه، PLEDs به دلیل مصرف انرژی کمتر، سادگی فرایند ساخت، حجم اندک، وزن پایین و زاویه دید گسترده، بسیار مورد توجه محققان و صنایع الکترونیکی قرار گرفته اند [۲].

در ساختارهای متداول PLEDs، لایه ای از پلیمر نورگسیل مانند MEH-PPV بین زیرلایه هادی شفاف پوشیده شده با ITO به عنوان آند و فلز با تابع کار پایین (مانند کلسیم، منیزیم و آلومینیوم) به عنوان کاتد قرار می گیرد. در این ساختارها، نفوذ اکسیژن به داخل قطعه، به اکسیداسیون لایه نورگسیل و تخریب دیود و در نهایت، کاهش طول عمر آن منجر می شود [۳ و ۴]. یک راه حل مناسب برای غلبه بر این مشکل، استفاده از پلیمرهای رسانا مانند پلی آنیلین، پلی پیرول و PEDOT:PSS^۴ به عنوان HIL^۵ است که بین لایه نورگسیل و ITO قرار می گیرد [۵]. در میان پلیمرهای رسانا، PEDOT:PSS به دلیل خواص مطلوبی مانند شفافیت زیاد در ناحیه مرئی، تابع کار بالا (معمولاً بین ۴/۸-۵/۲ eV) و پایداری در شرایط محیطی، در PLEDs کاربرد گسترده ای دارد [۶]. علاوه بر این، PEDOT:PSS به عنوان یک لایه بافر به منظور جلوگیری از نفوذ اکسیژن از آند به داخل قطعه عمل می کند. PEDOT:PSS قرار گرفته بر روی آند به عنوان HIL، با کاهش سد انرژی تزریق حفره از آند به لایه نورگسیل و فراهم کردن تابع کار بالاتر نسبت به ITO، ولتاژ عملکرد قطعه را کاهش و

1. Light Emitting Diodes
2. Organic Light Emitting Diodes
3. Polymer Light Emitting Diodes
4. Poly(3,4- ethylenedioxythiophene):polystyrene sulfonate
5. Hole-Injection Layer

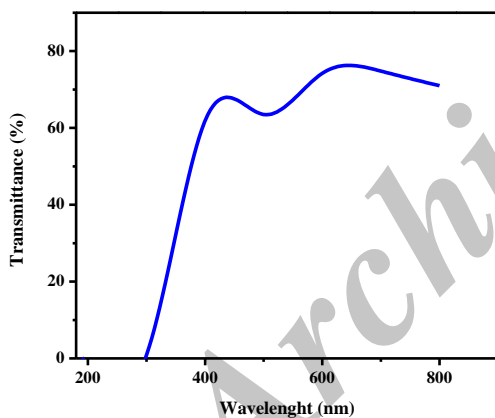
6. Sputtering

سطحی لایه‌های نازک ITO کاهش می‌یابد.



شکل (۱): مقاومت سطحی زیر لایه ITO لایه‌نشانی شده قبل و بعد از گرمادهی

شکل (۲) طیف عبور نوری ITO لایه‌نشانی شده بعد از گرمادهی را نشان می‌دهد. میانگین طیف عبوری در طول موج‌های ۸۰۰-۳۰۰ nm تقریباً برابر با ۷۱/۴ درصد است.



شکل (۲): طیف عبور نوری زیر لایه ITO لایه‌نشانی شده بعد از گرمادهی

به منظور بررسی اثر GO-COOH به عنوان HIL در ساختار PLED، مشخصات J-V دیودهای A و B بلافاصله بعد از ساخت اندازه‌گیری و در شکل (۳) نشان داده شده است. مطابق با این شکل، ولتاژ روشن شدن در دیودهای A و B به ترتیب برابر با ۷V و ۴/۵V است. علاوه بر این، هنگامی که ولتاژ بایاس به ترتیب در دیودهای A و B به ۸/۸V و ۶/۰V می‌رسد، چگالی جریان به حدود $33/66 \text{ mA.cm}^{-2}$ و $32/56 \text{ mA.cm}^{-2}$ افزایش می‌یابد. چنین اثری را می‌توان به وسیله کم شدن مقدار ϕ در دیود B و در نتیجه، افزایش تزریق حفره از HIL به لایه نورگسیل توضیح داد.

رقیق کرده و سپس محلول PEDOT:PSS:آب به عنوان HIL با استفاده از دستگاه لایه‌نشانی چرخشی^۱ بر روی زیر لایه ITO لایه‌نشانی شده و در نهایت، زیر لایه به مدت ۱ ساعت در دمای 80°C داخل آن قرار داده می‌شود تا حلال آن کاملاً تبخیر شود. جهت ارزیابی عملکرد GO-COOH سنتزی به عنوان HIL، پراکنده شده در آب مقطر با غلظت 5 mg.mL^{-1} بر روی glass/ITO لایه‌نشانی شده و به مدت ۱ ساعت در دمای 250°C در آن قرار می‌گیرد. در مرحله بعدی، لایه نورگسیل MEH-PPV نیز به روش لایه‌نشانی چرخشی بر روی HIL لایه‌نشانی می‌شود و سپس برای تبخیر حلال، به مدت ۵ دقیقه در آن با دمای 80°C قرار می‌گیرد. در مرحله آخر، آلومینیوم به عنوان کاتد بر روی لایه نورگسیل به روش تبخیر در خلأ لایه‌نشانی می‌شود. برای سهولت، دیود ساخته شده با PEDOT:PSS و GO-COOH به عنوان HIL به ترتیب A و B نام‌گذاری می‌شوند.

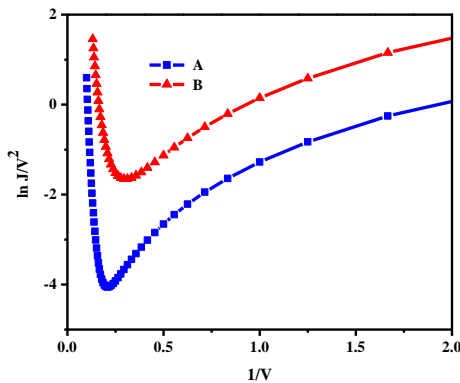
در نهایت، ضخامت لایه‌ها با دستگاه ضخامت‌سنج Dektak 500 اندازه‌گیری شد. طیف جذب با استفاده از دستگاه جذب UV-visible مدل Lambda 2S ساخت شرکت Perkin Elmer کشور آمریکا به دست آمد. برای اندازه‌گیری فتولومینسانس^۲ (PL) و الکترو لومینسانس^۳ (EL) به ترتیب از اسپکتروفتومترهای AvaSpec-2048 TEC و Spectra Scan 650 استفاده شد. مشخصه جریان-ولتاژ قطعات با استفاده از مجموعه منبع-اندازه‌گیر^۴ (SMU) مدل ۲۳۸ ساخت شرکت Keithley آمریکا اندازه‌گیری شد. جریان به دست آمده از دستگاه SMU را بر سطح فعال قطعه تقسیم کرده تا چگالی جریان به دست آید. برای اندازه‌گیری مقاومت سطحی زیر لایه‌ها، از سیستم پروپ چهار نقطه‌ای^۵ استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

به منظور بررسی خواص الکتریکی، مقاومت سطحی ITO لایه‌نشانی شده با ضخامت ۱۰۰ nm اندازه‌گیری شد. مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه مقاومت سطحی ITO قبل و بعد از گرمادهی در دمای 375°C در محیط خلأ به مدت ۲ ساعت در شکل (۱) نشان داده شده است. با مشاهده نتایج، مشخص می‌شود که مقادیر مقاومت سطحی بعد از گرمادهی کاهش می‌یابد. هنگامی که لایه‌ها در محیط خلأ گرمادهی شوند، واکنشی بین اکسیژن آزاد در هوا با لایه ITO انجام نشده و تنها ساختار کریستالی لایه ITO کامل‌تر می‌شود. علاوه بر این، تعدادی از اتم‌های اکسیژن جذب شده در سطح، آزاد می‌شوند و غلظت حامل‌ها افزایش یافته و در نتیجه، مقاومت

1. Spin Coater
2. Photoluminescence
3. Electroluminescent
4. Source Measure Unit
5. Four Point Probe

مقایسه با اختلاف تابع کار لایه PEDOT:PSS و سطح HOMO لایه نورگسیل نسبت داده شود. بنابراین با کاهش ارتفاع سد پتانسیل، تزریق حفره‌ها از لایه GO-COOH به لایه نورگسیل افزایش یافته و ولتاژ روشن شدن کاهش می‌یابد.



شکل (۴): نمودار FN گونه دیودهای A و B

برای بررسی مدل‌های انتقال بار، نمودار لگاریتمی مشخصه J-V دو قطعه در شکل (۵) نشان داده شده است. رفتار منحنی لگاریتمی J-V در مناطق مختلف، با توجه به چگالی بار تزریق شده و نوع و میزان به دام افتادن بارها در ترازهای ناخالصی متفاوت است. مطابق با این شکل، مشخص است که چگالی جریان از قانون توانی $J \propto V^{k+1}$ پیروی می‌کند و دو ناحیه ولتاژهای مختلف وجود دارد. در ناحیه اول (ولتاژهای پایین)، سازوکار محدودکننده حامل بار به صورت انتقال اهمی است. در این ناحیه، چگالی جریان به وسیله قانون اهم و طبق رابطه (۳) توصیف می‌شود [۱۲]:

$$J = q\mu n_0 \frac{V}{d} \quad (3)$$

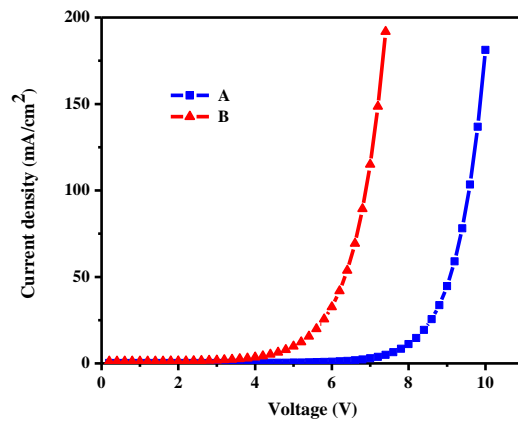
در این رابطه، μ و n_0 به ترتیب برابر با تحرک حامل بار و چگالی بار آزاد است. با گرفتن لگاریتم از هر دو طرف معادله (۳)، رابطه (۴) به دست خواهد آمد:

$$\log J = \log\left(\frac{q\mu n_0}{d}\right) + \log V \quad (4)$$

بنابراین، شیب نمودار لگاریتمی در این ناحیه، برابر با یک و در نتیجه مقدار k برابر با صفر است. در ناحیه دوم، مقدار k در دیودهای A و B به ترتیب برابر با ۸/۳۳ و ۴/۴۹ است که توصیف کننده انتقال محدود شده به بار تله‌هاست. در واقع در این ناحیه، چگالی جریان از معادله (۵) تبعیت می‌کند [۱۳]:

$$J = q^{1-k} \mu_p N_v \left(\frac{2k+1}{k+1}\right)^{k+1} \left(\frac{k}{k+1} \frac{\epsilon_0 \epsilon}{N_t}\right)^k \frac{V^{k+1}}{d^{2k+1}} \quad (5)$$

در این رابطه، μ_p تحرک پذیری حفره، N_v چگالی حالت‌های انتقال، N_t چگالی تله‌ها، ϵ_0 گذردهی بار آزاد، ϵ ثابت دی‌الکتریک و k برابر



شکل (۳): مشخصه J-V دیودهای A و B

یکی از مدل‌هایی که برای توصیف مشخصه J-V دیودها و تعیین مقدار ϕ استفاده می‌شود، مدل تونل زنی FN^۱ است. مدل تونل زنی FN به صورت معادله (۱) بیان می‌شود [۱۰ و ۱۱]:

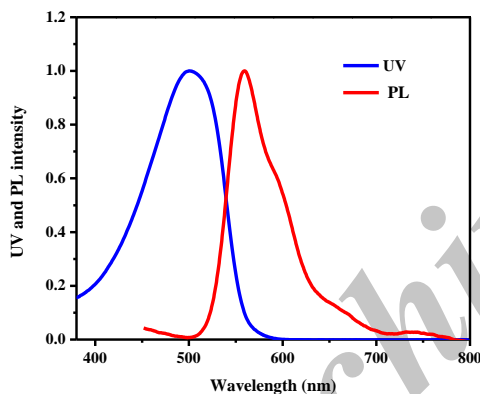
$$J = \frac{mq^3}{8\pi\hbar m^* \phi} E^2 \exp\left(-\frac{8\pi\sqrt{2m^*} \phi^{3/2}}{3\hbar q E}\right) \quad (1)$$

در این معادله، m ، m^* ، q ، \hbar و E به ترتیب برابر با جرم الکترون، جرم مؤثر حامل‌های داخل سد، بار الکترون، ثابت پلانک، ارتفاع سد پتانسیل تزریق حفره و میدان الکتریکی (میدان الکتریکی نیز برابر است با $E = \frac{V}{d}$ که V ولتاژ اعمالی و d ضخامت لایه است) می‌باشد. با قرار دادن عبارت مربوط به میدان الکتریکی در معادله (۱) و گرفتن لگاریتم از هر دو طرف معادله، رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$\ln\left(\frac{J}{V^2}\right) = \ln\left(\frac{mq^3}{8\pi\hbar d^2 m^* \phi}\right) - \left(\frac{8\pi d \sqrt{2m^*} \phi^{3/2}}{3\hbar q}\right) \left(\frac{1}{V}\right) \quad (2)$$

بنابراین با توجه به معادله (۲)، زمانی که نمودار $\ln\left(\frac{J}{V^2}\right)$ بر حسب $\frac{1}{V}$ خطی باشد، استنباط می‌شود که فرایند تونل زنی در سازوکار تزریق حامل‌ها غالب است. از این رو در شکل (۴)، نمودارهای FN گونه یعنی $\ln\left(\frac{J}{V^2}\right)$ بر حسب $\frac{1}{V}$ برای دیودهای A و B نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، در ولتاژهای بالا به هریک از منحنی‌ها می‌توان یک خط راست منطبق کرد. مطابق با معادله (۲)، شیب نمودار FN گونه در ولتاژهای بالا برابر با $-\frac{8\pi d \sqrt{2m^*} \phi^{3/2}}{3\hbar q}$ است، که با استفاده از شیب نمودارها می‌توان مقدار ϕ را محاسبه کرد. مقدار ϕ در دیودهای A و B به ترتیب برابر با ۰/۱۴۷eV و ۰/۰۹۳eV به دست آمد. این پدیده می‌تواند به تطابق بیشتر در اختلاف تابع کار لایه GO-COOH لایه‌نشانی شده روی ITO و سطح انرژی HOMO لایه نورگسیل در

طیف جذب و نشر محلول MEH-PPV در شکل (۷) نشان داده شده است. مطابق با این شکل، پلیمر MEH-PPV دارای یک جذب قوی در ناحیه ۶۰۰-۴۰۰ nm است که بیشینه آن در ۵۰۰ nm واقع شده است. طیف PL پلیمر MEH-PPV، یک پیک نشری در طول موج ۵۵۹ nm نشان می‌دهد. مقایسه قابل مشاهده بین طیف جذب و نشر MEH-PPV نشان می‌دهد که تفاوت بسیاری بین طول موج‌های بیشینه جذب و نشر وجود دارد. به‌طور کلی، در اثر جذب نور توسط ماده، الکترون‌ها از حالت پایه به تراز ارتعاشی در حالت برانگیخته منتقل می‌شوند. الکترون‌های برانگیخته‌شده در ترازهای ارتعاشی بالا به پایین‌ترین تراز ارتعاشی رفته و انرژی اضافی خود را به محیط اطراف می‌دهند؛ این فرایند بازگشت معمولاً غیرتابشی است. سپس الکترون‌ها از پایین‌ترین تراز ارتعاشی حالت برانگیخته با نشر فوتون به حالت پایه برمی‌گردند. بنابراین، این عامل باعث می‌شود بین طول موج بیشینه جذب و نشر اختلاف انرژی مشاهده شود که این اختلاف را جابه‌جایی استوکس می‌نامند که برای پلیمر MEH-PPV برابر با ۵۹ nm است [۱۴].



شکل (۷): طیف جذب و نشر پلیمر MEH-PPV

شکل (۸) طیف EL دیودهای A و B را همراه با نور نشرشده از دیود B در ولتاژ ۷ V نشان می‌دهد. مطابق با این شکل، طول موج بیشینه EL در ۵۸۹ nm ظاهر شده که مربوط به نور نشرشده نارنجی‌رنگ از پلیمر MEH-PPV است. با مقایسه بین طیف PL محلول MEH-PPV و طیف EL دیودها مشاهده می‌کنیم که بین طول موج‌های بیشینه طیف‌های PL و EL تفاوت وجود دارد. علت این اختلاف را می‌توان به این حقیقت نسبت داد که طیف EL و PL به ترتیب از محلول لایه نورگسیل و دیود ساخته‌شده گرفته می‌شود و با وجود اینکه ریخت‌شناسی مترامک در حالت محلول نسبتاً پیچیده است، ساختار مترامک پیچیده‌تری در لایه نازک می‌توان انتظار داشت که این امر بر روی مشخصات EL تأثیر می‌گذارد.

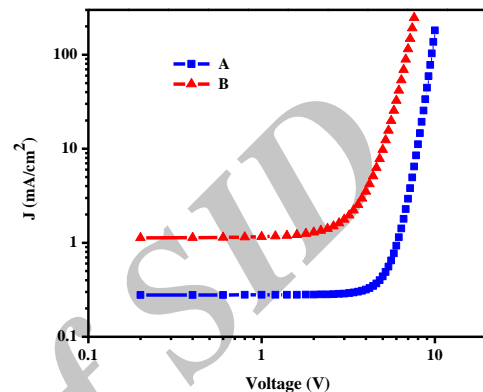
است با $k = \frac{T_t}{T}$ که T دمای اندازه‌گیری شده و T_t دمای مشخصه است. با گرفتن لگاریتم از هر دو طرف معادله به رابطه (۶) می‌رسیم:

$$\log J = \log \alpha + (k+1) \log V \quad (6)$$

که α برابر است با:

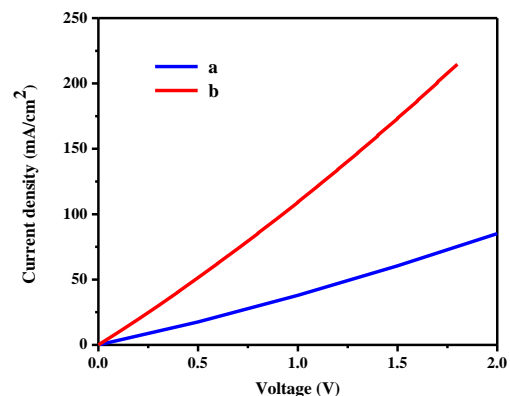
$$\alpha = q^{1-k} \mu_p N_v \left(\frac{2k+1}{k+1} \right)^{k+1} \left(\frac{k}{k+1} \frac{\epsilon_0 \epsilon}{N_t} \right) \frac{1}{d^{2k+1}} \quad (7)$$

در این ناحیه، مطابق با معادله (۶)، شیب نمودار لگاریتمی برابر با $k+1$ است.



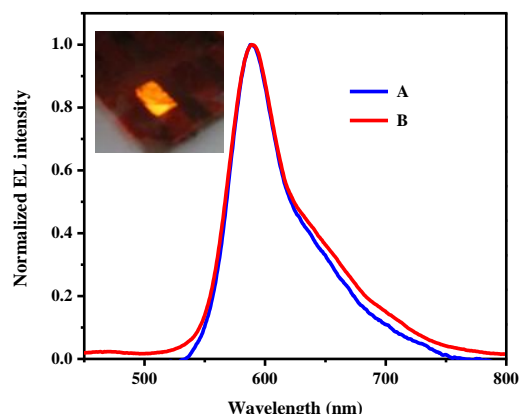
شکل (۵): نمودار لگاریتمی مشخصه J-V دیودهای A و B

تأثیر HIL، بر روی مشخصه J-V قطعاتی که شامل PEDOT:PSS و GO-COOH قرار گرفته بین دو الکترود آند و کاتد است، بررسی شد. مشخصه J-V این قطعات در شکل (۶) نشان داده شده است. قطعات ساخته شده با ساختار glass/ITO/PEDOT:PSS/Al به ترتیب با حروف a و b نشان داده می‌شود. مطابق با این شکل، هدایت GO-COOH بیشتر از PEDOT:PSS است که به افزایش چگالی جریان قطعه ساخته‌شده با GO-COOH در یک ولتاژ معین منجر می‌شود. علاوه بر این، هدایت بالاتر GO-COOH در مقایسه با PEDOT:PSS، افزایش انتقال حفره و کاهش ولتاژ روشن شدن در دیود ساخته‌شده با GO-COOH را تأیید می‌کند.



شکل (۶): مشخصه J-V قطعات a و b

گرفته شد. سپس به منظور بررسی عملکرد GO-COOH سنتزی به عنوان HIL در PLED، قطعه‌ای با پیکربندی glass/ITO/GO-COOH/MEH-PPV/Al ساخت و نتایج آن با دیود ساخته شده با ماده متداول PEDOT:PSS به عنوان HIL مقایسه شد. تأثیر HIL بر روی عملکرد دیودهای ساخته شده از طریق مشخصه J-V قطعات، مورد بحث و بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری‌های J-V نشان داد که مدل تونل‌زنی FN با نتایج جریان-ولتاژ ثبت شده در ولتاژهای بالا تطابق خوبی نشان می‌دهد. مطابق با نتایج به دست آمده، ولتاژ روشن شدن و سد پتانسیل تزریق حفره در دیود ساخته شده با GO-COOH سنتزی در مقایسه با دیود ساخته شده با PEDOT:PSS به ترتیب حدود $2/5$ V و $0/54$ eV کاهش نشان داد که علت این کاهش را می‌توان به سازگاری بیشتر تابع کار لایه GO-COOH و سطح انرژی HOMO لایه نورگسیل در مقایسه با PEDOT:PSS و همچنین هدایت بالاتر GO-COOH نسبت داد. بنابراین، استفاده از GO-COOH سنتزی به عنوان ماده تزریق کننده حفره می‌تواند پتانسیل کاربردی جدیدی را برای ساخت PLEDs و دیگر افزاره‌های اپتوالکترونیک معرفی کند.



شکل (۸): طیف EL دیودهای A و B همراه با نور نشر شده از دیود B

نتیجه گیری

ابتدا لایه نازک ITO با ضخامت 100 nm بر روی زیرلایه‌های شیشه‌ای به روش کندوپاش RF لایه‌نشانی شد و پس از بررسی خواص نوری و الکتریکی آن، به عنوان الکترود شفاف آند در ساخت PLEDs به کار

مراجع

- Mazzeo, M., (Ed.) *Organic Light Emitting Diode, Chapter Organic Light Emitting Diodes for White Light Emission*, Kamalasanan, M. N., Srivastava, R., Chauhan, G., Kumar A., Tyagi, P., Kumar, A., InTech, 2010.
- Tomita, Y., *Alternative Transparent Electrodes for Organic Light Emitting Diodes*, Ph.D. Thesis, Dresden University of Technology, 2008.
- Xinkai, Wu., Jun, L., Gufeng, He., "A Highly Conductive PEDOT:PSS Film with the Dipping Treatment by Hydroiodic Acid as Anode for Organic Light Emitting Diode," *Organic Electronics*, Vol. 22, pp. 160-165, 2015.
- Song, C., Zhong, Z., Hu, Z., Wang, J., Wang, L., Ying, L., Wang, J., Cao, Y., "Methanol Treatment on Low-Conductive PEDOT:PSS to Enhance the PLED's Performance." *Organic Electronics*, Vol. 28, pp. 252-256, 2016.
- Mohsennia, M., Massah Bidgoli, M., Akbari Boroumand, F., Khademi, A., "Use of a New Blue Emitter in Color-Stable, Flexible, Polymeric White Light-Emitting Diodes with a Simple Structure", *Journal of Electronic Materials*, Vol. 44, pp. 2745-2753, 2015.
- Wang, J., Zhang, H., Ji, W., Zhang, H., "Efficient Quantum Dot Light Emitting Devices with Ethanol Treated PEDOT:PSS Hole Injection Layer", *Synthetic Metals*, Vol. 209, pp. 484-489, 2015.
- Eda, G., Mattevi, C., Yamaguchi, H., Kim, H., Chhowalla, M., "Insulator to Semimetal Transition in Graphene Oxide", *Journal of Physical Chemistry C*, Vol. 113, pp. 15768-15771, 2009.
- Paredes, J. I., Villar-Rodil, S., Martínez-Alonso, A., Tascón, J. M. D., "Graphene Oxide Dispersions in Organic Solvents", *Langmuir*, Vol. 24, pp. 10560-10564, 2008.
- Massah Bidgoli, M., Mohsennia, M., Akbari Boroumand, F., "Synthesis of Carboxylated Graphene Oxide-CdS Nanocomposite and its Application on Photovoltaic Devices", *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, Vol. 88, pp. 684-689, 2015.
- Chiguvare, Z., Parisi, J., Dyakonov, V., "Current Limiting Mechanisms in Indium-Tin-Oxide/Poly-3-hexylthiophene/Aluminum Thin Film Devices", *Journal of Applied Physics*, Vol. 94, pp. 2440-2448, 2003.
- Chiou, Y. L., Gambino, J. P., Mohammad, M., "Determination of the Fowler-Nordheim Tunneling Parameters from the Fowler-Nordheim Plot", *Solid-State Electronics*, Vol. 45, pp. 1787-1791, 2001.
- Blochwitz, J., *Organic Light-Emitting Diodes with Doped Charge Transport Layers*, Ph.D. Thesis, Dresden University of Technology, 2001.
- Rafiq, M. A., Tsuchiya, Y., Mizuta, H., Oda, S., Uno, S., Durrani, Z. A. K., Milne, W. I., "Charge Injection and Trapping in Silicon Nanocrystals", *Applied Physics Letters*, Vol. 87, pp. 182101-182103, 2005.
- Massah Bidgoli, M., Mohsennia, M., Akbari Boroumand, F., "Low Driving Voltage Characteristics of Polyaniline-Silica Nanocomposites as Hole-Injection Material of Organic Electroluminescent Devices", *Materials Research Bulletin*, Vol. 72, pp. 29-34, 2015.