

ساخت و مشخصه‌یابی دیودهای نورگسیل پلیمری دو لایه با ساختار ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV/Al

شیدا نام‌نیا، محمد صباان*، منصور فرید

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

دریافت: 1395/07/26 ویرایش نهایی: 1396/03/25 پذیرش: 1396/06/29

چکیده

در این مقاله، گزارش ساخت و مشخصه‌یابی دیودهای نورگسیل پلیمری (PLED) دولایه با ساختار ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV/Al، با هدف کاهش ولتاژ روشن شدن، ارائه می‌شود. در این کار، لایه PEDOT:PSS به‌عنوان لایه تزریق‌کننده حفره با سرعت 2000 rpm و لایه MEH-PPV به‌عنوان ماده فعال با چهار سرعت لایه‌نشانی متفاوت و به‌روش لایه‌نشانی چرخشی، لایه‌نشانی شد. اثر تغییر ضخامت لایه MEH-PPV بر روی خواص سطحی لایه‌ها، خواص جذبی لایه‌ها، گاف نوری و از همه مهمتر، ولتاژ روشنایی دیود، بررسی شد. در نهایت دیودی که با مشخصات ITO/PEDOT:PSS(2000 rpm)/MEH-PPV(6000 rpm)/Al(165 nm) ساخته شد، کمترین ولتاژ روشنایی، یعنی 7/1 ولت، را داشت.

کلیدواژگان: دیود نورگسیل پلیمری، ضخامت لایه فعال، خواص ساختاری، خواص اپتیکی

مقدمه

در حال حاضر، سامانه‌های روشنایی عموماً شامل لامپ‌های تنگستن و فلوروسنت هستند که به دلیل ناسازگاری با محیط زیست - به‌خاطر استفاده از جیوه و سایر مواد مضر - در حال جایگزین شدن با سایر سامانه‌های روشنایی هستند. از بین سامانه‌های روشنایی مبتنی بر مواد جامد، یکی از بیشترین دستگاه‌هایی که امروزه مورد مطالعه قرار گرفته است، دیودهای نورگسیل¹ جدید هستند که منبع گسیل نور در آن‌ها، مولکول‌های کوچک آلی (OLED)² یا بزرگ پلیمری (PLED)³ هستند [1].

منابع نوری بر پایه دیودهای نورگسیل آلی به پیشرفت‌های قابل توجهی در سال‌های اخیر دست یافته‌اند. این به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد دیودهای نورگسیل آلی می‌باشد. برای مثال، یک دیود نورگسیل آلی می‌تواند ساخته شود. دیودهای نورگسیل آلی، می‌توانند انعطاف‌پذیر، شفاف و در ضخامتی بسیار کوچک که تنها توسط زیرلایه تعیین می‌شود، ساخته شوند. یک دیود نورگسیل آلی می‌تواند به‌صورت آنی خاموش و روشن شود. در واقع زمان پاسخ‌دهی آنها بسیار سریع و از 1 تا 10 میکرو ثانیه است. همچنین قادر به تولید نورهایی با رنگ‌های مختلف می‌باشند.

در حال حاضر، سامانه‌های روشنایی عموماً شامل لامپ‌های تنگستن و فلوروسنت هستند که به دلیل ناسازگاری با محیط زیست - به‌خاطر استفاده از جیوه و سایر مواد مضر - در حال جایگزین شدن با سایر سامانه‌های روشنایی هستند. از بین سامانه‌های روشنایی مبتنی بر مواد جامد، یکی از بیشترین دستگاه‌هایی که امروزه مورد مطالعه قرار گرفته است، دیودهای نورگسیل¹ جدید هستند که منبع گسیل نور در آن‌ها، مولکول‌های کوچک آلی (OLED)² یا بزرگ پلیمری (PLED)³ هستند [1].

* نویسنده مسئول: sabaian@scu.ac.ir

¹ Light Emitting Diode

² Organic Light Emitting Diode

³ Polymer light emitting diode

باز نشر این مقاله با ذکر منبع آزاد است.

1970، الکترولومینسانس لایه‌های پلیمری برای اولین بار توسط راجر پارتریج⁷ در آزمایشگاه ملی فیزیک در انگلستان مشاهده شد که نخستین دیود نور گسیل پلیمری (PLED) شامل یک لایه PVK⁸ به ضخامت 2/2 میکرومتر بین دو الکتروود تزریق‌کننده بار بود. نتایج پژوهش او در سال 1983 منتشر شد [7]. در سال 1987، اولین دیود نورگسیل آلی دولایه توسط تانگ⁹ و همکاران در شرکت کداک¹⁰ گزارش شد که دارای بازده بالا و ولتاژ مورد نیاز بسیار پایین تری بود. برای ساخت این دیود، از دیامین¹¹ به‌عنوان لایه انتقال‌دهنده حفره و Alq₃¹² به‌عنوان لایه گسیلنده استفاده شد [8]. در سال 1990، باروز¹³ و همکاران، در دانشگاه کمبریج، نخستین دیود نور گسیل پلیمری نور سبز را با استفاده از PVP¹⁴ با ضخامت 100 نانومتر گزارش کردند. آنها نشان دادند که PVP می‌تواند به‌عنوان یک ماده فلوئورسانس با بازدهی بالا در یک وسیله تک لایه به‌خوبی عمل کند [9].

در دیودهای نورگسیل آلی و پلیمری، ضخامت لایه‌ها تأثیر به‌سزایی بر کارایی دیود دارد [10,11]. در مقاله حاضر، با تغییر ضخامت لایه گسیلنده (لایه فعال)، عملکرد دیود نورگسیل پلیمری دولایه را بررسی می‌کنیم. شکل 1 نمایی از ساختار دیود دولایه و ترازهای این کار، از ITO به‌عنوان آند، Poly(3,4-

مزایای دیگر این نوع دیودهای نورگسیل عبارتند از: سادگی در ساخت، تولید به‌صورت لایه‌های نازک، درخشندگی بیشتر، عدم وابستگی کیفیت تصاویر به زاویه دید، محدوده دمایی گسترده، کیفیت بالا، ولتاژ اعمالی پایین و در نتیجه مصرف انرژی کمتر و وزن اندک. اینها باعث شده است تا تحقیقات زیادی روی این سامانه‌های نورگسیل آلی، در حال انجام باشد [4-2]. اگرچه به‌دلیل بالا بودن هزینه تولید و سنتز مواد آلی و طول عمر کم آنها، مانع از تجاری شدن و تولید انبوه این منابع نوری و ورود آنها به صنعت روشنایی و بازارهای جهانی شده است [2].

اولین دیود نورگسیل توسط هنری جوزف راند¹ در قطعه‌ای از بلور کربنات سیلیسیم در سال 1907 ساخته شد [5]. برنانوس² و همکاران، در دانشگاه دانانسی فرانسه، اولین الکترولومینسانس³ را در مواد آلی و در اوایل سال 1950 با اعمال ولتاژ بالا و جریان متناوب به بلور فیلم نازک اکریدین⁴ نارنجی و کیناکریدون⁵ کشف کردند [5]. پوپه⁶ و همکاران در سال 1963 با استفاده از تک بلور آنتراسن، گزارشی در مورد الکترولومینسانس آلی منتشر کردند. در آن زمان، برای مشاهده نور، به ولتاژهای بالایی بیش از 100 ولت نیاز بود که دلیل آن ضخامت زیاد بلور بود. بنابراین، به‌علت ولتاژ کاری بالا و بازده کم، الکترولومینسانس آلی در آن زمان مورد توجه چندانی قرار نگرفت [6]. در سال

⁸ Poly(N-vinylcarbazole)

⁹ Tang

¹⁰ Kodak

¹¹ Diamine

¹² tris-(8-hydroxyquinoline)-aluminum

¹³ Burroughes

¹⁴ Polyphenylenevinylene

¹ Henry Joseph Round

² Bernanose

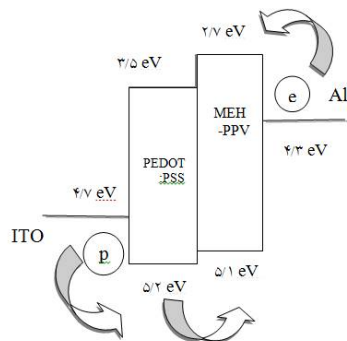
³ Electroluminescence (EL)

⁴ Acridine

⁵ Quinacridone

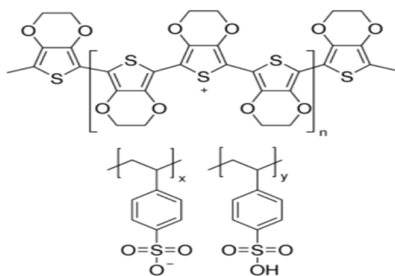
⁶ Pope

⁷ Roger Partridge



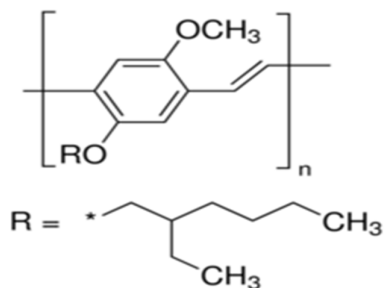
ب

شکل الف: نمایی از ساختار دیود نورگسیل پلیمری دو لایه.
ب: نمایی از ترازهای انرژی مواد به کار رفته در این ساختار
ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV/Al



الف:

Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) chemically doped with poly(styrene sulfonic acid) (PEDOT:PSS) [12]

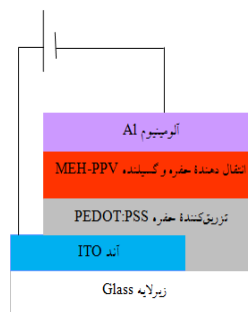


ب:

poly[2-methoxy-5-(2-ethyl-hexyloxy)-phenylene vinylene] (MEH-PPV) [13]

شکل الف: ساختار مولکولی MEH-PPV و ب:
PEDOT:PSS مورد استفاده در ساختار دو لایه.

ethylenedioxythiophene) chemically doped with poly(styrene sulfonic acid) PEDOT:PSS (با فرمول شیمیایی نشان داده شده در شکل 2الف) به عنوان لایه تزریق کننده حفره و poly[2-methoxy-5-(2-ethyl-hexyloxy)-phenylene vinylene] (با فرمول شیمیایی نشان داده شده در شکل 2ب) به عنوان لایه انتقال دهنده حفره و گسیلنده و از آلومینیوم به عنوان کاتد استفاده شده است. تحت اعمال بایاس مستقیم، الکترون‌ها از کاتد و حفره‌ها از آند به درون لایه‌های پلیمری تزریق می‌شوند. برای این کار، حامل‌های بار باید بتوانند بر سدهای انرژی در مرز ماده آلی و الکترو د غلبه کنند. این سدها به موقعیت ترازهای HOMO¹ و LUMO² و تابع کار الکترودهای به کار رفته وابسته هستند. با اعمال میدان الکتریکی، حامل‌های بار درون لایه پلیمری حرکت کرده و سپس در اثر جاذبه کولنی بین آنها، زوج الکترون-حفره یا اکسایتون تشکیل می‌شود. انرژی این اکسایتون‌ها در اثر فروپاشی به صورت فوتون آزاد می‌شود. نور تابشی می‌تواند بسته به نوع داشته باشد. در دیود ساخته شده در این کار، طول موج تابشی در محدوده نارنجی قرار دارد.



الف

² Lowest Unoccupied Molecular Orbital

¹ Highest Occupied Molecular Orbital

در این مقاله، ابتدا به بررسی خواص ساختاری و اپتیکی لایه فعال MEH-PPV مورد استفاده، که به‌روش لایه‌نشانی چرخشی لایه‌نشانی می‌شود، می‌پردازیم. خواص ساختاری از جمله میزان ناهمواری سطح لایه برای ضخامت‌های مختلف می‌تواند بر خواص اپتیکی لایه و نهایتاً بر عملکرد دیودهای نورگسیل پلیمری دو لایه تأثیرگذار باشد.

مواد و روش ساخت

در این کار، از ایندیم اکسید قلع (ITO) لایه‌نشانی شده روی شیشه، به‌عنوان آند شفاف استفاده شد. نور تولیدی در ماده فعال دیود، از این لایه به بیرون منتشر می‌شود. مقاومت سطحی لایه ITO مورد استفاده کمتر از $15 \Omega/\square$ بود که در صفحات $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ خریداری شدند. سپس در ابعاد $2\text{cm} \times 1\text{cm}$ برش داده شدند. در ابتدا بخشی از ITO (حدود 2mm) به‌صورت نوار از ابتدای صفحه، به‌وسیله هیدروکلریک اسید با خلوص 37% و به‌مدت 20 دقیقه سونش داده شد؛ به این معنی که قسمتی از ITO از روی زیرلایه تمیز شد. سپس زیرلایه‌ها ابتدا با استفاده از مایع ظرفشویی و سپس به‌ترتیب در استون خالص، متانول، ایزوپروپیل و آب یون‌زدایی شده خالص، هر کدام به‌مدت 15 دقیقه در دستگاه آلتراسونیک، شسته شدند. در نهایت، با استفاده از گاز نیتروژن خشک گردیدند. برای لایه‌نشانی مواد و ساخت دیودهای نورگسیل پلیمری دو لایه با ساختار ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV/Al، لایه‌های پلیمری PEDOT:PSS و MEH-PPV به‌روش

لایه‌نشانی چرخشی تهیه شدند. ماده PEDOT:PSS (تزریق‌کننده حفره) که در ابتدا به‌صورت محلول می‌باشد با نسبت یک به پنج در ایزوپروپیل رقیق شد. با توجه به اینکه MEH:PPV به‌صورت پودر است، برای لایه‌نشانی به‌روش چرخشی، ابتدا باید محلول MEH-PPV تهیه شود. برای این کار، محلولی با غلظت 4 mg/ml در حلال کلروفرم انتخاب شد. برای ساختن محلول، بعد از اضافه کردن 10 ml کلروفرم به 40 mg MEH:PPV و قرار دادن مگنت درون آن، ظرف روی استیرر قرار داده شد و به‌مدت 10 دقیقه در دمای 75°C حرارت دهی شد. ماده PEDOT:PSS (تزریق‌کننده حفره) با نسبت یک به پنج در ایزوپروپیل رقیق شد. ابتدا دوره‌های متفاوت برای لایه PEDOT:PSS، در یک ساختار دو لایه ITO/PEDOT:PSS/MEH:PPV (3000 rpm با دوره‌های متفاوت 2000 تا 6000 rpm) مورد بررسی قرار گرفتند. در تمامی این نمونه‌ها سرعت لایه‌نشانی MEH-PPV ثابت و برابر 3000 rpm انتخاب شد. کمترین ولتاژ روشن شدن 10/14 ولت برای دور 2000 rpm مشاهده شد. به‌همین دلیل برای تمامی ساختارها در این مقاله، سرعت لایه‌نشانی چرخشی برای لایه PEDOT:PSS 2000 rpm در زمان 30s انتخاب شد. پس از لایه‌نشانی PEDOT:PSS، نمونه‌ها در دمای 130°C به‌مدت 20 دقیقه تحت گاز نیتروژن حرارت‌دهی شدند. لایه پلیمری MEH-PPV (لایه انتقال‌دهنده حفره و گسیلنده نور) با دوره‌های متفاوت 3000، 4000، 5000 و 6000 rpm در مدت زمان 20 s به‌روش لایه‌نشانی

جدول 1. ناهمواری لایه MEH:PPV برحسب سرعت چرخش دستگاه لایه‌نشانی منتج از آنالیز AFM .

دور لایه‌نشانی (rpm)	ناهمواری سطح (nm)
3000	7,5
4000	8,99
5000	10,72
6000	14,5

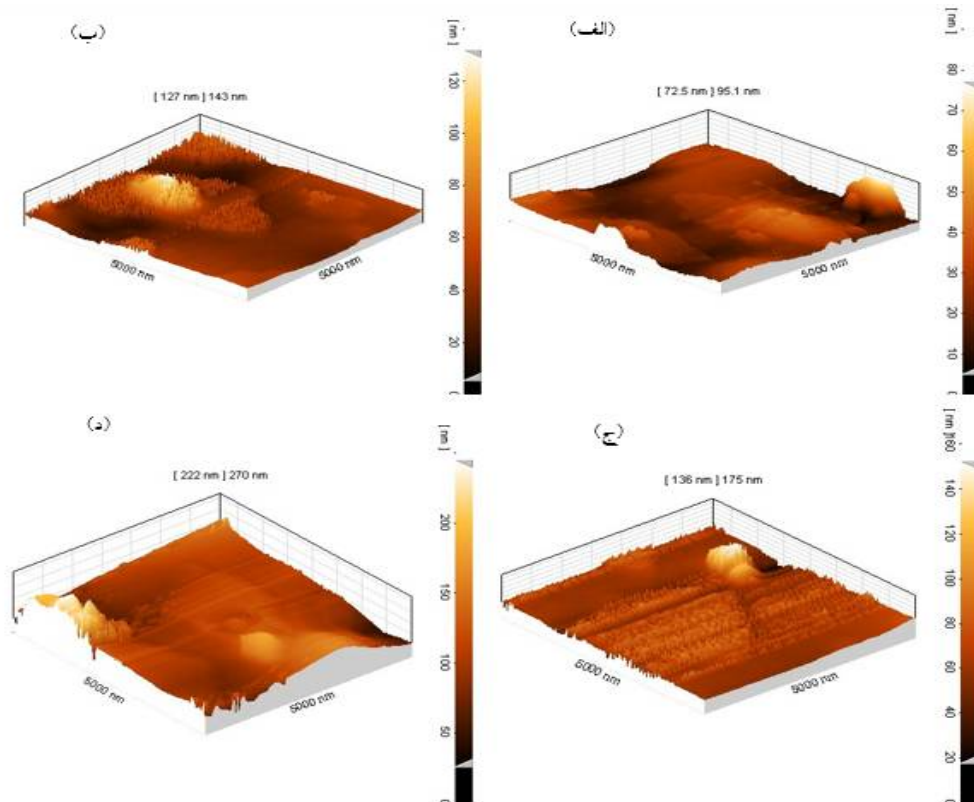
چرخشی، لایه‌نشانی شد. سپس در دمای 150°C برای مدت 15 دقیقه تحت گاز نیتروژن حرارت‌دهی شد. در انتها نیز لایه Al با ضخامت 165nm به‌عنوان کاتد با روش لایه‌نشانی تبخیر حرارتی در خلأ لایه‌نشانی شد. ضخامت لایه آلومینیوم توسط ضخامت‌سنج جرمی بلور کوارتز تعبیه‌شده درون دستگاه لایه‌نشانی اندازه‌گیری شد.

نتایج

خواص ساختاری

خواص ساختاری از جمله میزان ناهمواری سطح لایه می‌تواند بر خواص اپتیکی لایه و نهایتاً بر عملکرد دیود تأثیرگذار باشد. هدف از گرفتن تصاویر AFM برای برخی از سطوح، بررسی ناهمواری سطح برای ضخامت‌های مختلف و ارتباط آن با میزان جذب لایه‌ها و همچنین بررسی این اثرات بر کارایی و عملکرد دیودهایی با ضخامت‌های متفاوت می‌باشد.

در شکل 3، ریخت‌شناسی سطح لایه MEH-PPV لایه‌نشانی شده بر روی دو لایه دیگر، یعنی ساختار ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV نشان داده شده است. لایه MEH-PPV، با چهار دور متفاوت 3000، 4000، 5000 و 6000rpm به‌روش لایه‌نشانی چرخشی، لایه‌نشانی شد. متوسط ناهمواری سطح این چهار نمونه توسط AFM اندازه‌گیری شد. مطابق با ستون عمودی رنگی (میله رنگ) در کنار شکل‌ها، با کاهش ضخامت (افزایش دور)، ناهمواری سطح لایه‌ها افزایش می‌یابد [۱۴، ۱۵]. نتایج AFM در جدول 1 آورده شده است.



شکل 3. تصاویر سه‌بعدی AFM سطح لایه MEH-PPV لایه‌نشانی شده بر روی ITO/PEDOT:PSS با ضخامت‌های متفاوت برای لایه MEH-PPV الف: 3000 rpm، ب: 4000 rpm، ج: 5000 rpm، د: 6000 rpm.

با چهار دور متفاوت به روش لایه‌نشانی چرخشی بر روی آن لایه‌نشانی شد. نتایج این اندازه‌گیری در شکل 4 نشان داده شده است. کاهش سرعت چرخش، متناظر با افزایش ضخامت لایه و در نتیجه افزایش میزان جذب می‌باشد. مشاهده می‌شود که برای دور 3000rpm، بیشترین میزان جذب رخ می‌دهد. برای بقیه ضخامت‌ها، میزان جذب تقریباً یکسان است. این موضوع نشان می‌دهد که خواص اپتیکی برای لایه‌ها با دورهای 4000، 5000 و 6000 rpm یکسان است. همچنین میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های بلند (ناحیه قرمز و مادون قرمز نزدیک) جزئی است. مقدار طول موج بیشینه

خواص نوری لایه‌ها

در این بخش، ابتدا نتایج طیف‌سنجی مجموعه لایه‌ها توسط طیف‌سنج جذبی UV-Vis ارائه می‌شود. سپس گاف نوری به روش تاک¹ محاسبه می‌شود.

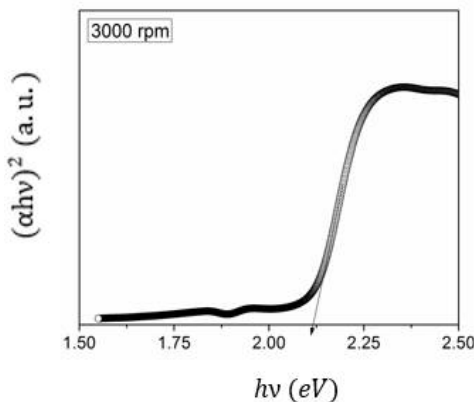
اندازه‌گیری و تحلیل طیف جذبی لایه گسیلنده MEH-PPV لایه‌نشانی شده بر روی

ITO

برای این کار، ابتدا لایه PEDOT:PSS به روش لایه‌نشانی چرخشی با دور 2000 rpm بر روی لایه ITO لایه‌نشانی شد. بعد از بازپخت، لایه MEH-PPV

¹ Tauc

اپتیکی برای لایه MEH-PPV لایه‌نشانی شده بر روی ITO/PEDOT:PSS با چهار ضخامت متفاوت محاسبه شد. مقدار گاف به‌ازاء دورهای لایه‌نشانی 3000، 4000، 5000 و 6000 rpm به ترتیب 2/160، 2/165، 2/159 و 2/156 eV به دست آمدند. در شکل 5 نمودار $(\alpha hv)^2$ برحسب hv برای لایه MEH-PPV لایه‌نشانی شده بر روی ITO/PEDOT:PSS برای دور 3000 rpm آورده شده است و برای مابقی دورها نیز به همین روش محاسبه شده است.

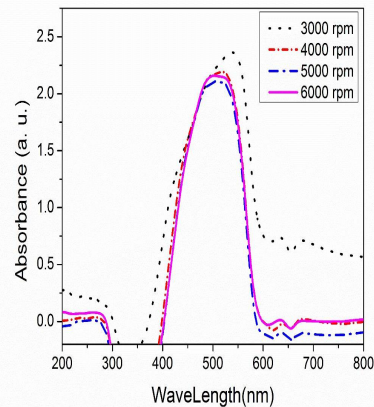


شکل 5. نمودار $(\alpha hv)^2$ برحسب hv برای لایه MEH-PPV لایه‌نشانی شده بر روی ITO/PEDOT:PSS با دور لایه‌نشانی 3000 rpm.

مشخصه ولتاژ-جریان دیودها

نمودار ولتاژ-جریان برای چهار دیود نورگسیل پلیمری دو لایه با ساختار ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV/Al و دورهای متفاوت برای لایه MEH-PPV در شکل 6 آورده شده است. مشخصه‌های ولتاژ-جریان دیودها برای دورهای 3000، 4000، 5000 و 6000 rpm به ترتیب در شکل‌های الف تا د نشان داده شده است. باید توجه داشت که در این ساختار دیودی دو لایه، ضخامت لایه

برای دورهای 3000، 4000، 5000 و 6000 rpm به ترتیب (502/53، 503/55، 518/39، 538/67 nm) این اعداد نشان می‌دهند با افزایش دور (کاهش ضخامت) طول موج با جذب بیشینه، اندکی کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده تغییر اندک گاف اپتیکی لایه‌ها می‌باشد. در ادامه به محاسبه گاف اپتیکی لایه‌ها با تغییر دور خواهیم پرداخت.



شکل 4. طیف جذبی برای لایه MEH-PPV لایه‌نشانی شده به روش چرخشی بر روی لایه ITO/PEDOT:PSS.

محاسبه گاف اپتیکی لایه MEH-PPV

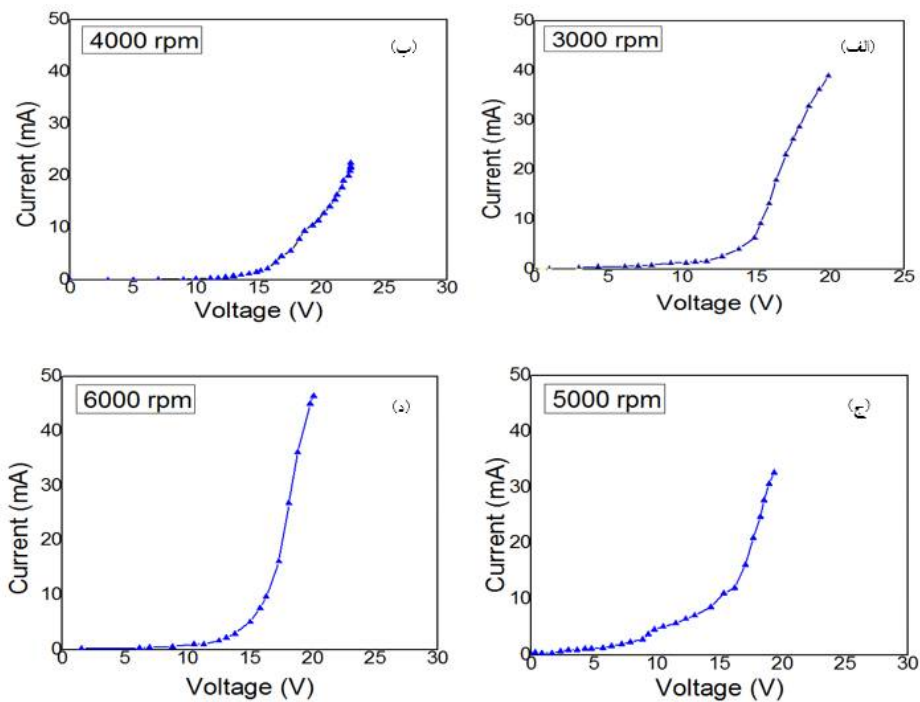
برای محاسبه گاف اپتیکی، از فرمول معروف تاک، به صورت زیر، استفاده کردیم:

$$(\alpha hv)^n = c(hv - E_g) \quad 1$$

که α ضریب جذب، hv انرژی فوتون فرودی، c یک ثابت و E_g گاف انرژی است. نمای $n = 2$ برای نیم‌رساناهای با گاف مستقیم و $n = \frac{1}{2}$ برای نیم‌رساناهای با گاف غیرمستقیم است [16، 17]. با استفاده از طیف UV-Vis، نمودار $(\alpha hv)^2$ را برحسب hv رسم کردیم و سپس E_g (گاف انرژی) را با استفاده از روش برون‌یابی محاسبه کردیم. گاف

به $39/4$ میلی آمپر رسید. در واقع در این ولتاژ، بیشینه روشنایی حاصل شد. برای دور 4000 rpm لایه MEH-PPV، ولتاژ روشن شدن دیود $11/16$ ولت بود که در این ولتاژ، جریان عبوری از دیود $0/3$ میلی آمپر بود.

برای تمام نمونه‌ها یکسان است و با سرعت دور 2000 rpm لایه‌نشانی شده است. برای دور 3000 rpm لایه MEH-PPV، ولتاژ روشن شدن دیود $10/14$ ولت و جریان عبوری از آن $1/3$ میلی آمپر بود. با افزایش ولتاژ تا $20/62$ ولت، جریان عبوری از دیود



شکل 6. نمودار ولتاژ-جریان برای دیود دولایه با ساختار ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV/ Al(165 nm) با دورها و ضخامت‌های متفاوت برای لایه MEH-PPV الف: 3000 rpm، ب: 4000 rpm، ج: 5000 rpm و د: 6000 rpm.

لایه‌ها با AFM و خواص جذبی و اندازه گاف نوری آنها با روش تاک بررسی شد. نتایج AFM نشان داد که با افزایش ضخامت لایه، مقدار ناهمواری سطح کاهش می‌یابد. از طریق طیف‌سنجی UV-Vis مقدار طول‌موج بیشینه جذب برای دوره‌های 3000، 4000 و 5000 rpm به ترتیب 2/1167، 2/1602 و 2/1651 eV و 2/1597 به دست آمدند. برای لایه‌نشانی MEH-PPV دور 6000 rpm برای لایه MEH-PPV، کمترین ولتاژ روشن شدن یعنی 7/1 ولت برای این دیود نورگسیل پلیمری حاصل شد.

مرجع‌ها

- [1] N. Thejo Kalyani, S.J. Dhoble, Organic light emitting diodes: Energy saving lighting technology-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 2696-2723.
- [2] Yuan-Sheng Tyan, Organic light-emitting-diode lighting overview, *Journal of Photonics for Energy* 1 (2011) 011009.
- [3] A. Khazanchi, A. Kanwar, L. Saluja, A. Damara, V. Damara, OLED: A New Display Technology, *International Journal Of Engineering And Computer Science* 1 (2012) 75-84.
- [4] W.X. Li, J. Hagen, R. Jones, J. Heikenfeld, A.J. Steckl, Color tunable organic light emitting diodes using Eu complex doping, *Solid-State Electronics* 51 (2007) 500-504.
- [5] E.F. Schubert, History of light-emitting diodes, Cambridge University Press, 1-10, (2006).
- [6] M. Cai, Organic Light-Emitting Diodes (OLEDs) and Optically-Detected Magnetic

با افزایش ولتاژ تا 25/6 ولت، جریان عبوری از آن به 22/4 میلی‌آمپر رسید که در این حالت بیشینه روشنایی رخ داد. با افزایش ولتاژ، دیود شروع به سوختن کرد. برای دور 5000 rpm لایه MEH-PPV، دیود در ولتاژ 10/5 ولت روشن شد و جریان 5/1 میلی‌آمپر از آن عبور کرد. با افزایش ولتاژ تا 21/1 ولت، جریان به 33/36 میلی‌آمپر رسید. در این ولتاژ، دیود بیشینه روشنایی را داشت. برای دور 6000 rpm لایه MEH-PPV، دیود در ولتاژ 7/1 ولت روشن شد و جریانی که در این ولتاژ از دیود می‌گذشت، 176 میکروآمپر بود. با افزایش ولتاژ تا 21/1 ولت، جریان عبوری همواره افزایش یافت و به 46/6 میلی‌آمپر رسید که در این ولتاژ بیشینه روشنایی رخ داد. بنابر نتایج به دست آمده، دور 6000 rpm به عنوان بهترین حالت برای لایه MEH-PPV انتخاب شد. دیود ساخته شده در این کار، در محدوده طول موجی 550 nm تا 650 nm گسیل داشت که به رنگ نارنجی دیده می‌شد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، چهار نوع دیود نورگسیل پلیمری دو لایه ITO/PEDOT:PSS/MEH-PPV/Al(165nm) با سرعت دور ثابت برای PEDOT:PSS و دوره‌های متفاوت برای لایه MEH-PPV ساخته شدند. لایه PEDOT:PSS از طریق لایه‌نشانی چرخشی و با دور 2000 rpm لایه‌نشانی شد. لایه MEH-PPV نیز به روش لایه‌نشانی چرخشی و با دوره‌های متفاوت 3000، 4000، 5000 و 6000 rpm روی ITO/PEDOT:PSS لایه‌نشانی شد. خواص سطحی

- [14] S. Jin, X. Lu, L. Lin, A.T. Wu, K. Zhao, Buffered electropolishing parameters on niobium sheet, *Physical Review Special Topics-Accelerators and Beams* (PRST-AB). 13, (2010).
- [15] N. Mustapha, Z. Fekkai, Optical Properties of Solution-Processed MEH-PPV Thin Films for Optoelectronic Applications” *Journal of Materials Science and Engineering A* 1 (2011), 224-227.
- [16] B.M. Omer, Optical Properties of MEH-PPV and MEH-PPV/ [6,6]-Phenyl C61-butyric Acid 3-ethylthiophene Ester Thin Films, *Journal of Nano- and Electronic Physics* 4 (2012) 04006.
- [17] N.Z. Yahya1, M. Rusop, Investigation on the Optical and Surface Morphology of Conjugated Polymer MEH-PPV:ZnO Nanocomposite Thin Films, *Journal of Nanomaterials* 201 (2012).
- Resonance Studies on Organic Materials, PhD Thesis, Iowa State University (2011).
- [7] R. Partridge, Electroluminescence from polyvinylcarbazole films: 4. Electroluminescence using higher work function cathodes, *Polymer* 24 (1983), 755-762.
- [8] C.W. Tang, S.A. van Slyke, Organic electroluminescent diodes, *Applied Physics Letter* 5 (1987) 913-916.
- [9] J.H. Burroughes, D.D.C. Bradley, A.R. Brown, R.N. Marks, K. MacKay, R.H. Friend, P.L. Burns, A.B. Holmes, Light-emitting diodes based on conjugated polymers, *Nature* 347 (1990) 539-541.
- [10] P. Jiang, W. Zhu, Z. Gan, W. Huang, J. Li, H. Zeng, J. Shi, Electron transport properties of an ethanol-soluble Alq₃-based coordination polymer and its applications in OLED devices, *Journal of Material Chemistry* 19 (2009) 4551-4556.
- [11] K. Narayan, S. Varadharajaperumal, G. Mohan Rao, M. Manoj Varma, T. Srinivas, Effect of thickness variation of hole injection and hole blocking layers on the performance of fluorescent green organic light emitting diodes, *Current Applied Physics* 13 (2013) 18-25.
- [12] P. Jiang, W. Zhu, Z. Gan, W. Huang, J. Li, H. Zeng, J. Shi, Electron transport properties of an ethanol-soluble Alq₃-based coordination polymer and its applications in OLED devices, *Journal of Material Chemistry* 19 (2009) 4551-4556.
- [13] J. Shinar (Ed.), Organic light-emitting devices (OLEDs) and OLED-based chemical and biological sensors: an overview, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2008 (2003) 133001.