



# استفاده از نانوکامپوزیت گرافن اکساید-مولیبدن اکساید جهت تزریق حفره در دیودهای نورتاب آلی

حسن اله داغی\*، محمد زیرک

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

**چکیده:** دیودهای نورتاب آلی جزء دسته قطعات نورتابی هستند که با ظهور خود در صنعت نمایشگرها انقلابی ایجاد کردند. نازکی، عدم نیاز به خود روشنائی، انعطاف پذیری، قابلیت شفاف بودن و عدم نیاز به سیستم‌های خلاً خیلی بالا از مهم‌ترین مزیت این دیودها نسبت به دیگر قطعات تولید کننده نور است. مسئله بازده و کارایی یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که در این حوزه باید تا حد زیادی حل شود. الکترون از لایه تزریق کننده الکترون و حفره از لایه تزریق کننده حفره به سیستم تزریق و در لایه نورتاب بازترکیب می‌شوند که در نهایت به تولید نور منجر می‌شود. بنابر گزارشات مشکل اصلی دیودهای نورتاب مرسوم در تزریق حفره است که در اینجا ما با کامپوزیت کردن مولیبدن اکساید با گرافن اکساید و استفاده‌ی آنها در لایه تزریق کننده حفره (HIL) توانستیم بازده و کارایی این دیودها دهیم. نسبت‌های مختلف GO و  $MoO_x$  مورد آزمایش قرار گرفت که در نهایت نسبت ۱:۱ حالت بهینه بود که با عت شد تا حدود ۲۵٪ افزایش توان در بازده تبدیل توان داشته باشیم.

**واژگان کلیدی:** دیود نورتاب آلی، تزریق کننده حفره، گرافن اکساید، مولیبدن اکساید، نانوکامپوزیت.

*h.alehdaghi@hsu.ac.ir*

چاپ رسیده است. یکی از مهم‌ترین مزایایی که این دسته از چراغ-های حالت جامدی دارند این است که نیاز به خلأهایی خیلی زیادی ندارد که خود باعث کاهش در هزینه‌های تولید می‌شود [۱۱ و ۱۲]. از دیگر مزایای استفاده از OLEDها در صنعت نمایشگرها این است که اولاً نیاز به نور پشت زمینه ندارند و دوم اینکه می‌توان صفحه نمایشگرهایی ساخت که تا حد ممکن نازک و شفاف باشند [۸، ۱۲ و ۱۳]. یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در ساخت، بازده این نوع دیودهای نورتاب است. در ساختار مرسوم که ITO به پایانه‌ی مثبت منبع تغذیه و از فلزات با تابع کار پایین به عنوان کاتد استفاده می‌شود، تزریق حفره معمولاً با چالش مواجه است. کارهای زیادی در این زمینه صورت پذیرفته است. یون و همکارانش با استفاده از ترکیب تنگستن اکساید توانستند کارکرد

## ۱- مقدمه

ظهور دیودهای نورتاب آلی (OLED) با کارهای اولیه تنگ و همکارش شکل گرفت [۱]. در این نوع دیودها، الکترون از یک سمت و حفره از سمت دیگر به سیستم تزریق می‌شوند. این دو نوع حامل بار در لایه‌ی نورتاب با یکدیگر بازترکیب می‌شوند و نوری با انرژی متناسب با اختلاف تراز انرژی HOMO و LUMO پلیمر مزدوج (ماده نورتاب) در آن تولید و خارج می‌شود. از آن تاریخ به بعد مقالات زیادی در این حوزه از قبیل OLED های سفید [۲]، منعطف [۳ و ۴]، بر پایه نقاط کوانتومی [۷-۵] و شفاف [۱۰-۸] به

استفاده شد. بطوریکه دو محلول جداگانه شامل آمونیوم مولیبدن (چهارآب) با غلظت ۲۰ mM در گرافن اکساید (گرافن اکسایدها محلول در آب بودند) و محلول در آب DI بود. نسبت‌های ۱:۰، ۲:۰، ۱:۱، ۲/۵:۱، ۱:۱ و ۱:۰ از این ترکیبات ساخته شد که عدد اول و دوم بترتیب شامل محلول مولیبدن در گرافن و مولیبدن در آب DI است. این ترکیبات بر روی ITO الگوسازی شده با سرعت ۴۰۰۰ rpm لایه‌نشانی چرخشی شد و سپس در دمای ۳۰۰ °C روی صفحه داغ در محیط نیتروژن به مدت ۲۰ دقیقه پخت شد. لایه نورتاب شامل پلیمر PDY-132 (ابر زرد) محلول در تولوئن با ۵ درصد وزنی بود که توسط لایه‌نشانی چرخشی با سرعت ۸۰۰ rpm لایه‌نشانی شد. ضخامت‌های این دو لایه توسط پروفایلومتری حدود ۲۰ nm و ۷۰ nm بدست آمد. در نهایت برای لایه نشانی کاتد که در اینجا LiF/Al است، نمونه‌ها به محفظه خلا با فشار  $10^{-7}$  torr منتقل شد. ضخامت LiF حدود ۰/۵ nm با آهنگ لایه‌نشانی ۰/۱ Å/s و ضخامت Al حدود ۱۰۰ nm با آهنگ لایه‌نشانی ۲/۵ Å/s در نظر گرفته شد. بعد از ساخت، به منظور پایداری بیشتر، LEDها کپسوله شدند. برای اندازه‌گیری جریان-ولتاژ از سورس متر کیتلی مدل ۲۴۰۰ و برای اندازه‌گیری شدت نورتابی از دستگاه مینولتا ۱۰۰ استفاده شد. این دو دستگاه بصورت موازی به یکدیگر متصل بودند بطوریکه قادر به اندازه همزمان جریان-ولتاژ-نورتابی است. علاوه بر اندازه‌گیری شدت نورتابی توسط دستگاه مینولتا، این دستگاه قادر است که مشخصات رنگی تولیدی را نیز ثبت کند. در شکل ۱ مشخصات و ترکیبات مختلف LEDهای ساخته شده نمایش داده شده است.

Cathode	LiF/Al (100 nm)					
EML	0.5 wt% PDY-132, Real 140°C (set), Toluene (70nm)					
HIL 4000rpm (23 nm)	1:0 *	20:1	10:1	2.5:1	1:1	0:1
Anode	ITO (Rs ~ 10 Ω/□)					



شکل ۱: مشخصات LED های ساخته شده و ترکیبات مختلف HIL

این نوع دیودها را تا حدودی افزایش دهند [۱۴]. در کاری دیگر شی و همکارانش با استفاده از گرافن اکساید توانستند بخوبی حفره را در این نوع LEDها بهبود ببخشند. اله‌داغی و همکاران نیز از مولیبدن اکساید توانستند بهره بگیرند و این کار را انجام دهند [۱۵]. معمولاً برای داشتن یک لایه خوب باید از بستری استفاده کرد که علاوه بر حفظ ساختارهای انرژی مرتبط با LED بتواند شرایط کامپوزیت شدن با مواد دیگر در جهت افزایش بازده را داشته باشد. دیگر و همکارانش با استفاده از گرافن اکساید و PEDOT:PSS کامپوزیتی به منظور تزریق حفره ساختند [۱۶]. آن‌ها اندازه‌ها مختلف گرافیتی را مورد بررسی قرار دادند که از آنها گرافن اکساید تشکیل می‌شد. بازده LEDهای آنها گرچه کم بود ولی تاثیر گرافن اکساید در کارشان به عنوان HIL (تزریق کننده حفره) مشخص شد. در کاری دیگر گوپتا و همکارانش با استفاده از کامپوزیت کردن نانوذرات TiO<sub>2</sub> در PEDOT:PSS توانستند کارکرد دیود نورتاب خود را افزایش دهند [۱۷]. آنها نشان دادند ۱۵٪ وزنی نسبت بهینه-ای بود که ولتاژ روشن سیستم تا حدود زیادی کم می‌شد.

در این کار به منظور تحقیق بیشتر روی تزریق بهتر حفره در LEDهای ساختار مرسوم، نانوکامپوزیتهای GO:MoO<sub>x</sub> با نسبت‌های متفاوت در ساختار LED به کار برده شده است. در واقع نشان داده شده است که ترکیب بهینه ۱:۱ که تا حدود ۲۵ درصد میتواند منجر به افزایش بازده و حدود ۱۰۰ درصد می‌تواند باعث افزایش نورتابی شود. علاوه بر آن مشخص شد که این افزایش بازده و نورتابی می‌تواند بواسطه‌ی تازه‌های انرژی GO باشد که در نورتابی خودش را نشان می‌دهد.

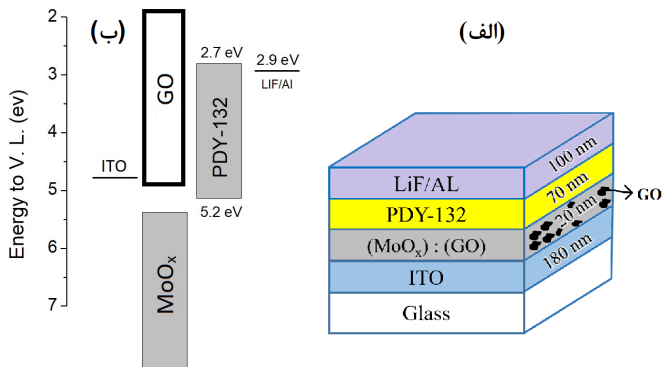
## ۲- بخش تجربی

### مواد و تجهیزات

لایه‌های ITO ی برش خورده با مقاومت سطحی  $10 \Omega/m^2$  در حلال‌های مرسوم، متانول، IPA و آب DI به ترتیب به مدت ۱۵ دقیقه تحت ارتعاش توسط حمام التراسونیک شستشو داده شد. سپس برای رفع هرگونه آلودگی کربنی توسط تابش یووی ازون کاملاً تمیز شدند و سریعاً به داخل گلاوباکس منتقل شدند. برای ساخت لایه‌ی تزریق کننده حفره از کامپوزیت GO:MoO<sub>x</sub>

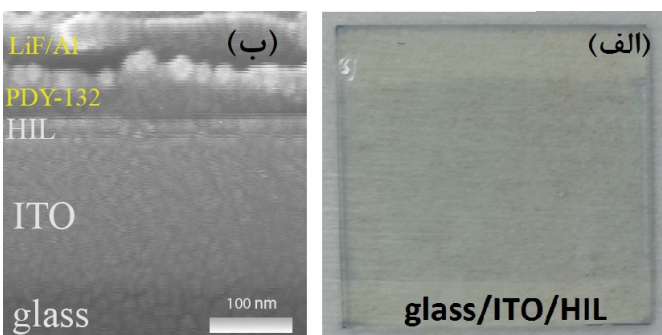
## ۳- نتایج و بحث

MoO<sub>x</sub> به عنوان میزبان که دارای یکنواختی بسیار خوب است، استفاده شد.



شکل ۲: پیکربندی LED ساخته شده و ضخامت لایه‌ها (الف) و ترازهای انرژی لایه‌ها در LED مورد نظر (ب)

در شکل ۳ (الف) لایه کامپوزیتی که روی ITO نشانده شده است تحت نور محیطی مشاهده می‌شود. این عکس نشان از شفافیت بالای این لایه‌ها دارد. در قسمت (ب) همین شکل عکس میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) که از سطح مقطع LED گرفته شده است نمایش داده شده است. LED glass/ITO/HIL/PDY-132/LiF:Al ساخته شده با ساختار LED glass/ITO/HIL/PDY-132/LiF:Al ساخته شده است. با توجه به عکس سطح مقطع SEM، کیفیت لایه تزریق کننده حفره (HIL) در این شکل کاملاً واضح است. همانطور که قبلاً اشاره شد، ضخامت حدودی این لایه ۲۰ nm اندازه‌گیری شده بود.

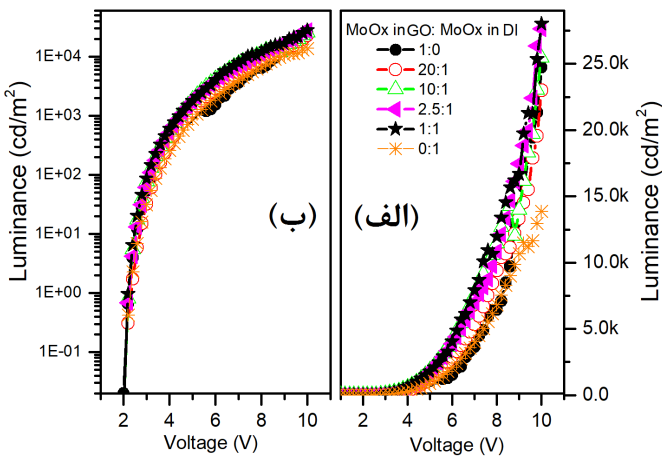


شکل ۳: تصویر نوری لایه تزریق کننده حفره روی ITO (الف) و تصویر میکروسکوپ الکترونی لایه‌های بکار رفته در LED

با توجه به عدم یکنواختی لایه GO، ما قادر نشدیم LED را منحصر با این لایه بسازیم. بنابراین GO ها در لایه میزبان MoO<sub>x</sub> قرار گرفته است. LED ساخته شده با لایه‌ی تزریق

در شکل ۲ پیکربندی LED ساخته شده نمایش داده شده است. در قسمت الف ضخامت لایه‌های مختلف نشان داده شده است. تزریق حفره‌ها در این LED به عهده‌ی لایه‌ی نانوکامپوزیتی با ترکیب گرافن اکسید: مولیبدن اکسید است. نانساختار GO بصورت کامپوزیت با MO ضخامت حدود ۲۰ nm را تشکیل می‌دهد که توسط پروفایلومتر اندازه‌گیری شده است. تزریق الکترون‌ها بوسیله‌ی لایه کاتد LiF/Al صورت می‌پذیرد که در نهایت در لایه پلیمری ابر زرد (PDY-132) با حفره‌ها ترکیب می‌شود. نور خروجی از ITO و زیر لایه که شیشه است خارج می‌شود. در قسمت (ب) این شکل ترازهای انرژی LED ساخته شده با GO:MoO<sub>x</sub> نسبت به تراز انرژی خالص نشان داده شده است [۱۸ و ۱۹]. حفره‌ها بخوبی به تراز HOMO پلیمر نورتاب توسط این لایه‌ی کامپوزیتی انتقال پیدا می‌کند. این شکل بخوبی نشان می‌دهد که وجود GO باعث تزریق بهتر حفره به لایه نورتاب می‌شود. از طرفی دیگر هم باعث می‌شود که این لایه نقش بلوکه کننده‌ی الکترون‌ها را نیز ایفا کند که خود باعث نشت کمتر الکترون از سیستم می‌شود. حفره‌ها از تراز فرمی ITO به سمت تراز HOMO پلیمر نورتاب باید روانه شوند. اگر لایه تزریق کننده حفره در این LED وجود نداشته باشد، لایه نورتاب در تماس مستقیم با لایه رسانا ITO دچار افت نورتابی می‌شود. این افت از دو عامل ناشی می‌شود، اول اینکه رسانایی زیاد باعث خاموشی اکسایتون‌های تشکیل شده می‌شود و دوم اینکه به دلیل وجود سد انرژی حدود ۰/۴ eV بین ITO و پلیمر نورتاب، تزریق حفره به سختی صورت می‌پذیرد. پس وجود تزریق کننده حفره که در اینجا MoO<sub>x</sub> و یا ترکیب آن با GO است تا حد خوبی این مشکلات را رفع می‌کند. در این نوع LED ها، تزریق حفره تا حدودی مشکل دارد که در اینجا سعی بر تزریق بهتر حفره شده است. الکترون‌ها هم به راحتی از تابع کار LiF/Al به LUMO پلیمر نورتاب تزریق می‌شوند. با توجه به ترازهای انرژی می‌توان این نتیجه را گرفت که شاید وجود لایه GO خود به تنهایی بتواند تزریق حفره را بر عهده گیرد. این نتیجه درست است به شرط آنکه بتوان یک لایه‌ی یکنواخت از این ماده داشت که بسیار مشکل است. برای رفع این مشکل از لایه‌ی

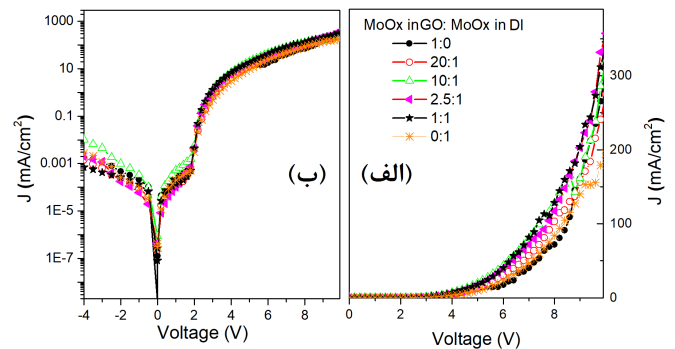
دارای بیشترین نورتابی با مقدار  $28000 \text{ cd/m}^2$  است. این به معنی این است که در مقادیر نورتابی ها توانسته ایم به افزایش بیش از ۱۰۰ درصدی در ولتاژ ۱۰ ولت برسیم. با توجه به این نمودارها در می‌یابیم که نمونه ساخته شده با مشخصات ۱:۱ نسبت به نمونه‌های دیگر سریع‌تر شروع به نورتابی می‌کند که این می‌تواند به علت تزریق بهتر حفره به ماده نورتاب باشد. در قسمت (ب) این شکل نمایش نیم‌لگاریتمی ترسیم شده است. مشاهده می‌شود نمونه ۱:۱ در کل بازه ولتاژ دارای بیشترین نورتابی است که خود به معنی این می‌تواند باشد که دارای کمترین ولتاژ روشن شدن است. نکته‌ی حائز اهمیت برای تمامی این LED این است که تقریباً در ولتاژ ۲۷ تمامی این‌ها دارای نورتابی هستند.



شکل ۵: مشخصه نورتابی-ولتاژ LED های ساخته شده در نمایش خطی (الف) و نیم لگاریتمی (ب)

بازدهی تبدیل توان بر حسب شدت نورتابی و بازده جریان یا کارایی (Efficacy) برای LED های ساخته شده با درصد های متفاوت کامپوزیت MoOx:MO در شکل ۷ نشان داده شده است. برای نمونه‌های ۱:۱ و ۲/۵:۱ بیشترین بازده بدست می‌آید. ماکزیمم بازده تبدیل توان برای نمونه ۱:۱ بدست می‌آید که نسبت به نمونه MoOx حدود ۲۵٪ افزایش دربر دارد. ماکزیمم بازده جریان در ولتاژ حدود ۵ V برای نمونه‌های ۱:۱ و ۲/۵:۱ حدود  $10 \text{ cd/A}$  بدست می‌آید. با افزایش ولتاژ، بازده کم می‌شود که می‌توان این طور توجیه کرد که با افزایش ولتاژ و تجمع بارها، ترازهای انرژی LED تا حدودی تغییر می‌کند که باعث برهم زدن تعادل بارها می‌شود که در نهایت باعث افزایش جریان و کاهش نورتابی متناسب با آن می‌شود. در نتیجه، معمولاً بازده‌ها با افزایش ولتاژ

کننده به مشخصات ۱:۰ به معنی این است که نسبت GO به MoOx بیشینه است و LED ساخته شده با ۰:۱ به معنی این است که لایه‌ی تزریق کننده حفره کاملاً شامل MoOx است. LED ها تحت ولتاژ در بازه ۴- تا ۱۰ ولت قرار گرفتند. مشخصه جریان ولتاژ بصورت نمایش خطی در شکل ۴ (الف) ترسیم شده است. به وضوح رفتار دیودی این نمودارها دیده می‌شود. در این شکل دیده می‌شود که LED های ساخته شده با ساختار ۱:۰ و ۰:۱ دارای بدترین مشخصه جریان ولتاژ است طوری که نسبت به نمونه‌های دیگر، جریان آنها در ولتاژهای یکسان، کمتر است. نمونه‌ی ۱:۱ که با ستاره در نمودارها نمایش داده شده است بهترین مشخصه را دارا است. به معنی این که حامل‌های بار نسبت به نمونه‌های دیگر راحت‌تر می‌تواند انتقال پیدا می‌کنند. به منظور بررسی بهتر مشخصه جریان-ولتاژ در محدوده‌های خیلی کوچک جریان، در قسمت (ب) مشخصه جریان-ولتاژ LED ها در نمایش نیم-لگاریتمی نشان داده شده است. بازه‌ی اندازه‌گیری جریان عبوری از نمونه‌ها تا ۱۱ مرتبه‌ی بزرگی را پوشش می‌دهد. بزرگی مقدار جریان در ولتاژ معکوس را بعضاً به عنوان پارامتری برای شاخص نشستی جریان نیز در نظر می‌گیرند. در اینجا نمونه ۱:۱ دارای کمترین جریان عبوری در ولتاژ ۴- V است که خود دلیلی برای بیشتر بودن بازده به علت جریان کمتر نشستی می‌تواند باشد.

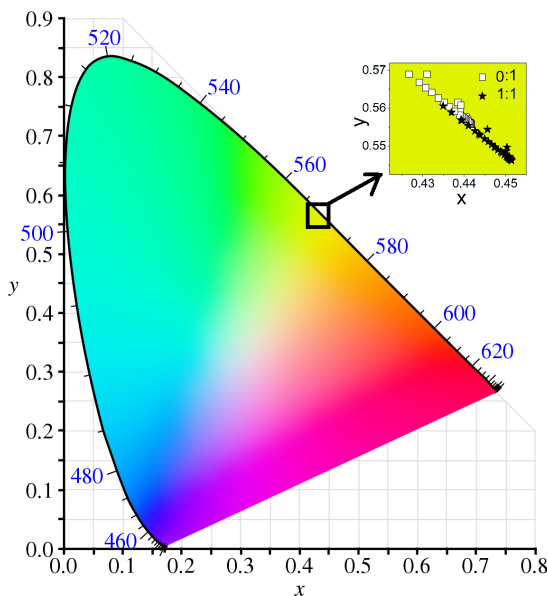


شکل ۶: مشخصه جریان-ولتاژ LED های ساخته شده در نمایش خطی (الف) و نیم لگاریتمی (ب)

نورتابی LED ها نیز مورد بررسی قرار گرفت که از مقایسه آنها نتایج بدست آمد. شکل ۵ مشخصه نورتابی این نمونه‌ها رو نشان می‌دهد. در قسمت نمایش خطی مشاهده می‌شود که در ولتاژ ۱۰ ولت نمونه‌ی ۱:۰ دارای بیشینه نورتابی حدودی  $1000 \text{ cd/m}^2$  و نمونه ۰:۱ حدود  $14000 \text{ cd/m}^2$  است. اما در نمونه ۱:۱ و ۲/۵:۱

شکل ۷: مقایسه جریان-ولتاژ (سمت راست) و بازده توان-نورتابی (سمت راست) برای بهترین ساختار LED ساخته شده در این پروژه و LED مرسوم ساخته شده با PEDOT:PSS

رنگ LEDهای ساخته شده در این کار نیز بر اساس مختصات رنگی CIE ۱۹۳۱ در شکل ۷ مشخص شده است. محدوده‌ی رنگ تولیدی در ناحیه زرد رنگ می‌باشد. با تمرکز روی رنگ‌های تولید شده در دو مورد LED ساخته شده ۰:۱ (بدون وجود MoOx) و ۱:۱ (پر بازده ترین) مشاهده می‌شود که رنگ‌های تولید شده LED ۱:۱ کمی به سمت قرمز سوق پیدا کرده است. با توجه به طول موج‌های بلند قرمز در مقابل سبز، این به معنی این است که اختلاف انرژی تراز حفره‌ها و الکترون‌ها کمی کوچکتر شده است. با توجه به ترازهای انرژی که در شکل ۲ ترسیم شده است، می‌توان این گونه نتیجه گرفت که احتمالاً تعدادی از حفره‌ها از تراز انرژی GO با الکترون‌ها بازترکیب شده‌اند که خود باعث می‌شود تا حدودی رنگ تولیدی به سمت رنگ قرمز سوق پیدا کند.

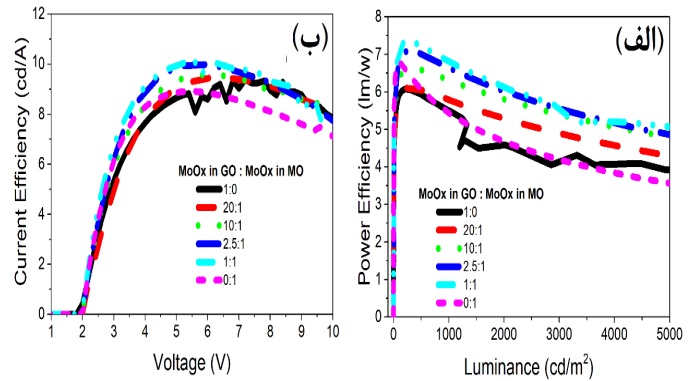


شکل ۸: مختصات رنگی تولیدی LEDهای ساخته شده که دارای رنگ سبز می‌باشند، مربع بزرگ شده، دو رنگ تولیدی LED 0:1 و ۱:۱ را بصورت دقیق تر نشان می‌دهد.

## ۴- نتیجه گیری

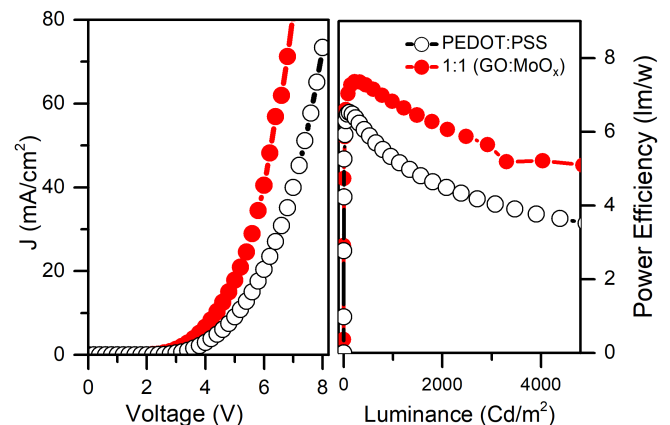
با توجه به مزایایی که مواد نیم‌رسانای اکسیدی از جمله پایداری، رسانایی بالا، ارزان بودن و راحتی در ساخت، دارند، در این پروژه از

کاهش می‌یابد. در این شکل مشاهده می‌شود با اضافه کردن مقدار درستی از GO به محلول MoOx می‌توان بازده را تا حدود ۲۵ درصد افزایش داد که خود می‌تواند رهیافت بسیار مهمی در این زمینه باشد.



شکل ۶: بازده تبدیل توان بر حسب شدت نورتابی (الف) و بازده جریان بر حسب ولتاژ (ب) برای LED های ساخته شده

در شکل ۷ مشخصات LED ساخته شده با شرایط ۱:۱ (GO:MoOx) و LED ساخته شده با PEDOT:PSS به عنوان تزریق کننده حفره مقایسه شده است. در سمت چپ این شکل منحنی جریان-ولتاژ نشان داده شده است. این شکل بخوبی نشان می‌دهد که LED ساخته شده با نانوکامپوزیت GO:MoOx دارای مقاومت کمتری نسبت به نمونه ساخته شده PEDOT:PSS می‌باشد. در قسمت چپ این شکل منحنی بازده تبدیل توان بر حسب نورتابی ترسیم شده است. از نظر نورتابی هم دیوده‌های ساخته شده با این نانوکامپوزیت نسبت به نمونه‌ی مرسوم بهینه تر است. این به معنی این است که حفره‌ها توانسته‌اند بهتر به لایه نورتاب تزریق شوند.





microwave-assisted method”, *J. Alloys Compd.* 586, 380–384, 2014.

[8] G. Gu, V. Bulovic, P. E. Burrows, S. R. Forrest, M.E. Thompson, “Transparent organic light emitting devices”, *Appl. Phys. Lett.* 68, 2606–2608, 1996.

[9] M. Zhang, S. Höfle, J. Czolk, A. Mertens, A. Colmann, “All-solution processed transparent organic light emitting diodes”, *Nanoscale.* 7, 20009–20014, 2015.

[10] B. J. Meyer, T. Winkler, S. Hamwi, S. Schmale, H. Johannes, T. Weimann, P. Hinze, W. Kowlasky, T. Riedl, “Transparent inverted organic light-emitting diodes with a tungsten oxide buffer layer”, *Appl. Phys. Lett.* 93, 3839–3843, 2008.

[11] L. S. Yue-MinXie, QiSun, TaoZhu, Lin-SongCui, FengLiang, Sai-Wing, Tsang, Man-Keung Fung, “Solution processable small molecule based organic light-emitting devices prepared by dip-coating method”, *Org. Electron.* 55, 1–5, 2018.

[12] B. H. Kim, M. S. Onses, J. Bin Lim, S. Nam, N. Oh, H. Kim, K. J. Yu, J. W. Lee, J. H. Kim, S. K. Kang, C. H. Lee, J. Lee, J. H. Shin, N. H. Kim, C. Leal, M. Shim, J. a. Rogers, “High-resolution patterns of quantum dots formed by electrohydrodynamic jet printing for light-emitting diodes”, *Nano Lett.* 15, 969–973, 2015.

[13] Q. Sun, Y. A. Wang, L. S. Li, D. Wang, T. Zhu, J. Xu, C. Yang, Y. Li, Bright, “Multicoloured light-emitting diodes based on quantum dots”, *Nat. Photonics.* 1, 717–722, 2007.

[14] J. H. Youn, S. J. Baek, H. P. Kim, D. H. Nam, Y. Lee, J. G. Lee, J. Jang, “Improving the lifetime of a polymer light-emitting diode by introducing solution processed tungsten-oxide”, *J. Mater. Chem. C.* 1, 3250, 2013.

[15] H. Alehdaghi, M. Marandi, A. Irajizad, N. Taghavinia, J. Jang, H. Zare, “Investigating the different conditions on solution processed MoOx thin film in long lifetime fluorescent polymer light emitting diodes”, *Mater. Chem. Phys.* 204, 262–268, 2018.

[16] H. Diker, G. B. Durmaz, H. Bozkurt, F. Yeşil, C. Varlikli, “Controlling the distribution of oxygen

مولیبدن اکساید به عنوان لایه‌ی بستر به منظور تزریق حفره استفاده شد. از طرفی نانوکامپوزیت کردن این لایه با گرافن اکساید باعث افزایش کارکرد این دیودها می‌شود که در این پروژه این مهم مورد بررسی قرار گرفت. ترکیب بهینه ۱:۱ (GO: MoO<sub>x</sub>) نسبت به ترکیب‌های دیگر رسانایی، نورتایی و بازدهی بیشتری را داشت که این افزایش در بازده حدود ۲۰ درصد بود. نورتایی این LED نسبت به LED ساخته شده با MoO<sub>x</sub> تنها، حدود دو برابر بیشتر شد. علاوه بر آن بازده تبدیل توان در نورتایی ۱۰۰۰ cd/m<sup>2</sup> حدود ۲۵ درصد و بازده تبدیل توان حدود ۱۱ درصد باعث افزایش شد.

## مراجع

[1] C. W. Tang, S. A. Vanslyke, “Organic electroluminescent diodes”, *Appl. Phys. Lett.* 51, 913, 1987.

[2] H. J. Bolink, E. Coronado, M. Sessolo, “White hybrid organic-inorganic light emitting diode using ZnO as the air-stable cathode”, *Chem. Mater.* 21, 439–441, 2009.

[3] T. Han, Y. Lee, M. Choi, S. Woo, S. Bae, B. H. Hong, J. Ahn, T. Lee, “Extremely efficient flexible organic light-emitting diodes with modified graphene anode”, *Nat. Photonics.* 6, 105–110, 2012.

[4] J. W. Kang, W. I. Jeong, J. J. Kim, H. K. Kim, D. G. Kim, G. H. Lee, “High-performance flexible organic light-emitting diodes using amorphous indium zinc oxide anode”, *Electrochem. Solid-State Lett.* 10, 75, 2007.

[5] V. A. Online, H. Kim, J. Youn, J. Jang, “Inverted quantum-dot light emitting diodes with cesium carbonate doped aluminium-zinc-oxide as the cathode buffer layer for high brightness”, *J. Mater. Chem. C.* 1, 3924, 2013.

[6] J. Tang, K.W. Kemp, S. Hoogland, K. S. Jeong, H. Liu, L. Levina, M. Furukawa, X. Wang, R. Debnath, D. Cha, K.W. Chou, A. Fischer, A. Amassian, J.B. Asbury, E.H. Sargent, “Colloidal-quantum-dot photovoltaics using atomic-ligand passivation”, *Nat. Mater.* 10, 765–771, 2011.

[7] H. Alehdaghi, M. Marandi, M. Molaei, A. Irajizad, N. Taghavinia, “Facile synthesis of gradient alloyed Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>S nanocrystals using a

functionalities on GO and utilization of PEDOT:PSS-GO composite as hole injection layer of a solution processed blue OLED”, *Curr. Appl. Phys.* 17, 565–572, 2017.

[17] N. Gupta, R. Grover, D. S. Mehta, K. saxena, “Efficiency enhancement in blue organic light emitting diodes with a composite hole transport layer based on poly(ethylenedioxythiophene): poly(styrenesulfonate) doped with TiO<sub>2</sub> nanoparticles”, *Displays.* 39, 104–108, 2015.

[18] B. R. Lee, J. J.Y. Kim, D. Kang, D.W. Lee, S.-J. Ko, H.J. Lee, C.-L. Lee, H.S. Shin, M.H. Song, “Highly efficient polymer light-emitting diodes using graphene oxide as a hole transport layer”, *ACS Nano.* 6, 2984–91. 2015.

[19] L.Y. Lixia Gao, J. Xie, X. Ma, M. Li, DNA@Mn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> “Nanoparticles supported with graphene oxide as photoelectrodes for photoeletrocatalysis”, *Nanoscale Res. Lett.* 12, 1, 2017.



# Utilizing Nanocomposite of Molybdenum Oxide: Graphene Oxide as a Hole Injecting Layer in Light Emitting Diode

H. Alehdaghi\*, M. Zirak

Faculty of Science, Hakim Sabzevari University, Sabzevar

**Abstract:** Discovery of organic light emitting diode (OLED) opens up exciting opportunities in the lighting industry. Lightness, no need to back light, mechanical flexibility, ability to be fabricated as a transparent device and no need to ultra-high vacuum are the most prominent advantageous of OLED in comparison to another lighting devices. The efficiency of device is one of the key challenges which should be addressed. There are many advantageous strategy to improve performance of OLEDs that providing of balance generation is one of most important agent. Electrons from electron injecting layer (EIL) and holes from hole injecting layer (HIL) are injected into emissive layer to recombine with each other, leading to light emission. According to the reports, as electron injection in conventional OLEDs is satisfactory, improvement in hole injecting inside the HIL could increase the LED efficiency. Herein, we improved the efficiency of LED through combination of nanostructured molybdenum oxide and graphene oxide layer with different volume fractions by improvement of hole injection to emissive layer. The most efficiency improvement about 25% was achieved for GO:MoO<sub>x</sub> composite with volume fraction of 1:1.

**Keywords:** OLED, HIL, Graphene oxide, Molybdenum oxide, Nanocomposite.