

# ساخت و مشخصه یابی دیود نورتاب هیبریدی نیمه شفاف با ساختار معکوس

حسن اله داغی<sup>۱\*</sup> | محمد شهرکی<sup>۲</sup> | حمید حیدری<sup>۳</sup>

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

۲. دانشکده شیمی، دانشگاه سیستان بلوچستان، زاهدان، ایران

۳. دانشکده شیمی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

## چکیده

دیود های نور تاب آلی (OLEDs) نوع جدیدی از تکنولوژی نوری هستند که در دو دهه اخیر گوی سبقت در حوزه تحقیقات ادوات نوری، نسبت به دیگر رقبا را ربوده اند. ساختار اصلی OLED ها شامل یک لایه آلی از مواد نورتاب بعلاوه چندین لایه آلی یا معدنی است که نقش آنها تزریق یا انتقال بار است. شفافیت لایه ها باعث خروج نور تولیدی از آنها می شود. در این پروژه، استفاده از ضخامت های پایین نقره منجر به ساخت OLED هیبریدی نیمه شفاف با ساختار معکوس شد. با تغییر ضخامت نقره که توسط سیستم تبخیری لایه نشانی شد، کمینه ضخامت لازم برای ساخت LED ساختار "ITO/ZnO/Cs<sub>2</sub>Co<sub>3</sub>/PDY/MoO<sub>3</sub>/Ag" حدود ۳۰ nm بدست آمد. تحلیل نوری عبوری نشان از تشکیل جزیره ای لایه ی نقره در ضخامت های کم داشت. تصاویر میکروسکوپ اتمی (AFM) نشان داد که در ضخامت های بیشتر از ۱۰ nm، با افزایش ضخامت، زبری سطحی نیز افزایش می یابد. بیشینه شدت نورتابی بدست آمده برای دیود نیمه شفاف ۲۲۹۰ cd/m<sup>2</sup> و بازده جریان آن حدود ۱ cd/A بود.

واژگان کلیدی: OLED، نیمه شفاف، هیبریدی، نقره، ساختار معکوس.

## ۱ مقدمه

تحقیق در حوزه ی قطعات نیم رسانای آلی نورتاب با تلاش های اولیه تنگ و همکارش شکل گرفت [۱]. از آن تاریخ به بعد مقالات زیادی در این حوزه از قبیل OLED های سفید [۲]، منعطف [۳،۴]، بر پایه نقاط کوانتومی [۵،۶] و شفاف [۷-۹] به چاپ رسیده است. با توجه به عدم نیاز به خلأ های خیلی بالا و امکان ساخت شیمیایی، این دسته از قطعات می توانند براحتی در ابعاد بزرگ توسط روش های چاپ ساخته شوند [۱۰]. صفحه نمایش های مبتنی بر OLED بدون نیاز به نور پشت زمینه باعث تباین<sup>۲</sup> بی نهایت در تصویر می شود که این موضوع جلوه ای خاص به این صفحات می بخشد [۱۰]. قابلیت خروجی نور از بالا برای دیود های نورتاب این مزیت را به همراه خواهد داشت که اگر سیستم روی زیر لایه شفاف لایه نشانی شده باشد، تشکیل دیود شفاف یا نیمه شفاف را می دهد [۷]. دیود های شفاف می تواند در کاربردهای از قبیل صفحه نمایش جلو (HUD<sup>۳</sup>) در صنایع هوایی، خودرو و تبلیغات استفاده شود [۱۱]. اگر لایه نهایی نیز بصورت شفاف باشد دیود نهایی دیود شفاف خواهد بود. روش های متفاوتی برای ساخت این لایه وجود دارد که بصورت فیزیکی و شیمیایی تقسیم بندی می شوند. کندوپاش<sup>۴</sup> TCO از قبیل (ZnO)<sub>x</sub>(SnO<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub> یا ITO، تبخیر نقره از جمله روش های فیزیکی است [۱۲، ۱۳]. لایه نشانی چرخشی از مرسوم ترین روش های شیمیایی است. که در این روش معمولاً سعی می شود از نانوتیوب های کربنی، گرافن و یا نانومیله های نقره استفاده شود [۱۴، ۱۵].

<sup>۱</sup> Head-Up Display

<sup>۵</sup> Transparent Conductive Oxide

<sup>۱</sup> Organic Light Emitting Diode

<sup>۲</sup> Contrast

اکساید از شرکت آلدیج تهیه و استفاده گردید. پلیمر نورتاب ابر زرد<sup>۶</sup> با نام تجاری PDY-132 که نقش اصلی در تولید نور را ایفا می‌کند از شرکت مرک خریداری شد. از سیستم تبخیری ادوارد برای لایه نشانی نقره بهره گرفته شد. از دستگاه طیف سنج نوری در بازه مرئی-فرابنفش (پرکین المر) برای ثبت طیف عبور استفاده شد. در اندازه‌گیری ریخت شناسی سطح لایه‌های نازک نقره از میکروسکوپ نیروی اتمی ساخت شرکت ویکو<sup>۷</sup> استفاده شد. در قسمت های آنالیز نوری-الکتریکی از سیستم آمپرتر دقیق پالمسنس و منبع‌سنج<sup>۸</sup> کیتلی<sup>۹</sup> ۲۴۰۰ استفاده شد.

### روش آزمایش

زیر لایه ها توسط لیزر ایندیوم-یگ الگوسازی شد. بعد از شستشو با مایع ظرفشویی، آب، آب دوبار یونیزه شده، استون و اتانول، به منظور لایه نشانی اسپری پایرولیز روی صفحه داغ قرار گرفتند. دمای این صفحه حدود  $350 \pm 5^\circ \text{C}$  تنظیم شد. جزئیات روش اسپری پایرولیز برای لایه ZnO در کار قبلی گزارش شده است [۱۶]. ضخامت بهینه این لایه حدود ۱۰۰ nm در نظر گرفته شد. لایه خیلی نازک  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  توسط لایه نشانی چرخشی روی ZnO لایه نشانی شد. حلال مورد استفاده اتوکسی اتانول بود که در آن سزیوم کربنات با غلظت mg/ml ۵ حل شده بود. سپس لایه نورتاب پلیمری PDY-132 با غلظت ۵٪ وزنی در تولوئن با سرعت ۷۰۰ rpm لایه نشانی چرخشی شد. این مشخصات ضخامت حدودی ۸۰ nm را برای لایه نورتاب منجر می‌شود. به دلیل اینکه تمام مراحل لایه نشانی در محیط عادی صورت پذیرفته است هیچ گونه حرارت دهی برای لایه پلیمری در نظر گرفته نشد. در نهایت لایه‌ها به محفظه‌ی تبخیر برده شدند و به ترتیب دو ماده  $\text{MoO}_3$  و Ag توسط ماسک تحت خلأ ( $2 \times 10^{-5}$  torr) لایه نشانی شد. LEDهای ساخته شده بلافاصله تحت مشخصه یابی جریان-ولتاژ-نورتابی قرار گرفتند. با استفاده از یک فتودیود کالیبره که به دستگاه پیکوآمپر متر متصل شده بود و منبع‌سنج مشخصه یابی مورد نظر صورت گرفت. به منظور شناسایی رفتار

لایه نشانی به روش چرخشی به عنوان آخرین لایه همیشه مشکل ساز است زیرا از طرفی نباید به لایه‌های زیری آسیب بزند و از طرف دیگر باید بخوبی روی لایه قبلی بخوبی لایه-نشانی شود. در روش کندوپاش هم گاهی امکان صدمه زدن به قطعه، به علت پلاسمای بوجود آمده در محیط، وجود دارد. بنابراین بهترین روش از نظر ساخت، روش تبخیری است که به راحتی روی لایه‌های قبلی لایه نشانی می‌شود. نقره در ضخامت‌های کم علاوه بر این که خاصیت رسانایی خود را حفظ می‌کند ف در ناحیه مرئی پنجره‌ی خوبی نیز محسوب می‌شود.

در اینجا ما از ساختار معکوس در LED های هیبریدی استفاده می‌کنیم که لایه نورتاب پلیمری و دیگر لایه معدنی هستند. در این ساختار ITO به عنوان کاتد (قطب منفی) و لایه تبخیری نقره به عنوان آند استفاده می‌شود. مزیت این ساختار در این است که می‌توان از تزریق کننده‌های الکترونی که نسبتاً در دمای بالا ساخته می‌شوند استفاده کرد. ضخامت‌های مختلف نقره توسط سیستم تبخیری لایه نشانی شد. به کمک تحلیل عبوری و میکروسکوپ نیروی اتمی، ریخت‌شناسی سطحی این لایه‌ها مشخص شد. LED های ساخته شده با ساختار "ITO/ZnO/Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/PDY/MoO<sub>3</sub>/Ag" تحت مشخصه‌یابی جریان-ولتاژ-نورتابی قرار گرفت و مورد بررسی قرار گرفت. شدت نورتابی و بازده جریان خروجی LED نیمه شفاف ساخته شده به ترتیب حدود  $2290 \text{ cd/m}^2$  و  $1 \text{ cd/A}$  بود.

## ۲ بخش تجربی

### مواد و تجهیزات

از ITO خریداری شده از شرکت ژین یان تکنولوژی ۵ به ضخامت ۱۸۰ nm روی شیشه به عنوان زیر لایه استفاده شد. شیشه‌های ITO در شرکت پرسناژ لیزر توسط لیزر ایندیوم-یگ الگوسازی شد. زینک استات چهار آبه (مرک) به عنوان پیش‌ماده ZnO در نظر گرفته شد. سزیوم کربنات و مولیبدن

<sup>۸</sup> Source meter

<sup>۹</sup> Keithley

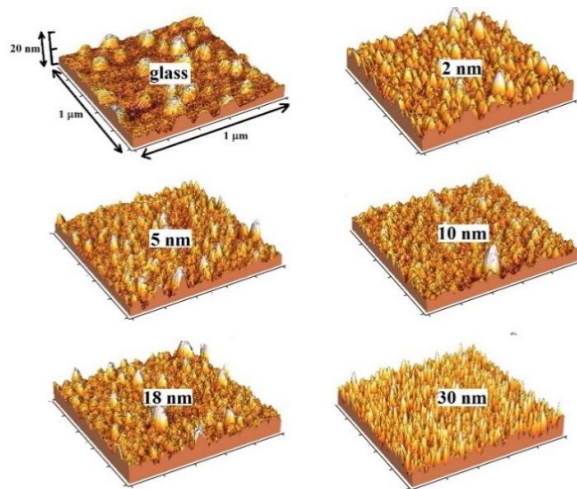
<sup>۶</sup> Xin Yan Technology Limited

<sup>۷</sup> Super yellow

<sup>۸</sup> Veeco

می‌باشد. در بالای همین شکل عکسی از این لایه‌ها که روی شیشه لایه‌نشانی شده‌اند، زیر نور مهتابی به نمایش در آمده است. با افزایش ضخامت نقره مقدار نور عبوری کم می‌شود. در هر بازه‌ی طول موجی که عبور زیاد باشد، رنگ لایه به همان رنگ دیده می‌شود. به عنوان مثال لایه ۲ نانومتری در گستره طول موجی زرد به بالاتر نسبت به سبز و آبی از عبور بیشتری برخوردار است که رنگ آن زرد دیده می‌شود.

به منظور بررسی ریخت‌شناسی سطحی لایه‌های نازک نقره با ضخامت‌های مختلف تحلیل AFM نیز انجام شد. در شکل ۳ تصاویر سه بعدی شبیه سازی شده مربوط به این لایه‌ها روی شیشه نمایش داده شده است. با افزایش ضخامت یکنواختی لایه‌ها بهتر می‌شود. یکنواختی لایه در ضخامت ۳۰ nm نسبت به ضخامت‌های کمتر بهتر است. می‌توان گفت که در ضخامت‌های پایین امکان جزیره‌ای تشکیل شده لایه بیشتر است.



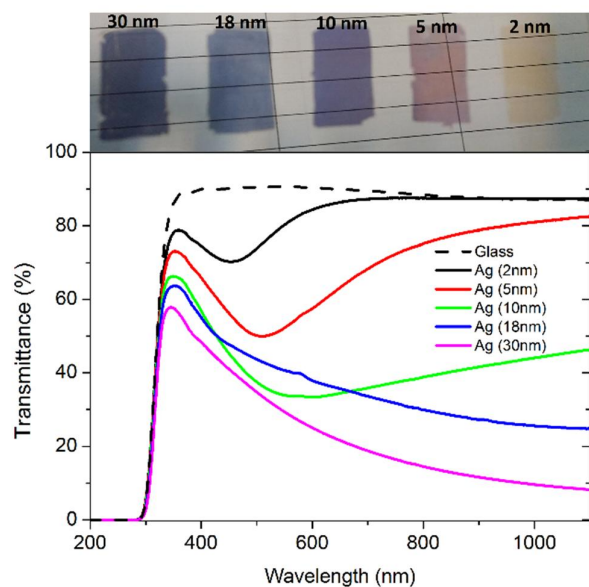
شکل ۲. تصاویر سه بعدی میکروسکوپ نیروی اتمی از لایه‌های نقره روی شیشه

زبری موثر سطحی به ازای ضخامت‌های مختلف نقره محاسبه شد. این نمودار در شکل ۴ رسم شده است. زبری شیشه حدود ۱/۹ nm است که با قرار گرفتن لایه نقره افزایش پیدا می‌کند. زبری زیاد لایه ۲ nm را می‌توان به جزیره‌ای تشکیل شدن

نوری و ریخت‌شناسی سطحی لایه‌های نازک نقره، ضخامت‌های مختلف Ag در بازه ۲ تا ۳۰ nm روی شیشه لایه نشانی شد و تحت تحلیل نوری UV-Visible و AFM قرار گرفت.

### ۳ نتایج و بحث

در شکل ۱ طیف عبور لایه‌های نقره به ازای ضخامت‌های مختلف روی شیشه نمایش داده شده است. طیف نقطه چین مربوط به شیشه است. همان‌طور که در این طیف‌ها مشخص است دره‌ای در طیف عبور وجود دارد که به جذب پلاسمون‌های سطحی جایگزیده (LSPR<sup>۱۰</sup>) نسبت داده می‌شود. با افزایش ضخامت لایه‌ها مکان این دره به طول موج‌های بزرگتر انتقال پیدا می‌کند [۱۷]. در واقع در ضخامت‌های حدود زیر ۲۰ nm ما لایه نازکی نداریم زیرا لایه بصورت جزیره‌ای (نانوذره‌ای) رشد یافته است. با افزایش اندازه جزیره‌ها قله جذب مربوطه به سمت طول موج‌های بزرگتر پیش می‌رود [۱۸].

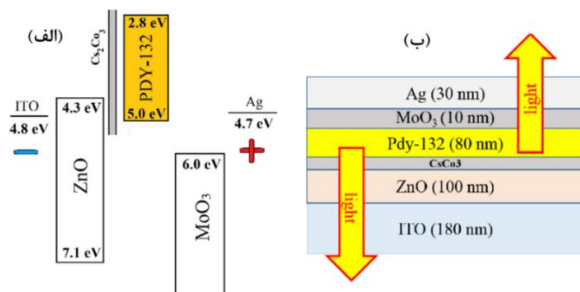


شکل ۱. طیف عبور لایه‌های نقره از ضخامت ۲ nm تا ۳۰ nm، بالای شکل عکس این لایه‌ها را زیر نور مهتابی نشان می‌دهد.

ضخامت لایه‌ها از ۲ nm شروع و به ۳۰ nm ختم می‌شود. جذب لایه‌ها در حدود ۳۳۰ nm نانومتر به علت زیر لایه شیشه

<sup>۱۰</sup> Localized Surface Plasmon Resonance

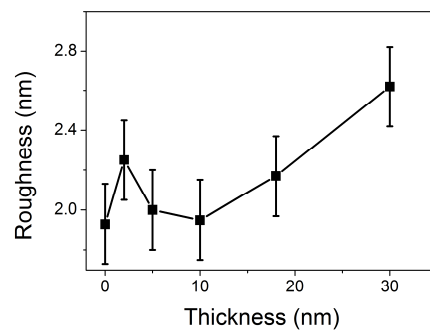
اکسید به سیستم تزریق می‌شود. الکترون و حفره در ترازهای انرژی HOMO و LUMO ی پلیمر باز ترکیب می‌شوند و نور زرد رنگی را خلق می‌کنند. این نور از هر سمتی می‌تواند خارج شود. LED های غیر شفاف نور فقط مجاز به خارج شدن از یک طرف می باشد ولی در اینجا همان طور که در این شکل قسمت (ب) مشاهده می‌شود علاوه بر خارج شدن از زیر لایه، از نقره نیمه شفاف نیز خارج می‌شود. LED های ساخته شده با ضخامت‌های مختلف نقره (۲ و ۵ و ۱۰ و ۱۸ و ۳۰ و ۱۰۰ نانومتر) ساخته شد. در این پروژه ضخامت‌های زیر ۳۰ nm دارای نوردهی نبودند.



شکل ۴. (الف) ترازهای انرژی LED نیمه شفاف ساخته شده (ب) پیکربندی آن با ضخامت‌های مربوطه

گرچه لایه مربوط به ضخامت ۱۸ nm بصورت محلی گاهی نورتابی داشت. که این عامل را می‌توان به مقاومت بالای لایه نقره به سبب جزیره‌ای بودن آن نسبت داد. در اینجا برای مقایسه مشخصه LED نیمه-شفاف، LED غیر شفاف با همان پیکربندی نیز ساخته شد. در شکل ۵ مشخصه یابی جریان-ولتاژ (الف)، نورتابی-ولتاژ (ب)، بازده جریان-نورتابی (ج) و بازده تبدیل توان-نورتابی (د) برای دو LED نیمه شفاف (Ag-30 nm) و غیر شفاف (Ag-100 nm) رسم شده است. خط-نقاط دایروی مربوط به LED نیمه شفاف و خط-نقاط مربعی مربوط به LED غیر شفاف است. بازدهی ولتاژ ورودی بین ۰ تا ۲۵ V در نظر گرفته شد. در قسمت (الف) منحنی جریان بر حسب ولتاژ بصورت

این لایه نسبت به لایه‌های ۵ و ۱۰ nm نسبت داد. از ضخامت‌های ۱۰ nm به بعد با افزایش ضخامت، زبری نیز افزایش پیدا می‌کند. می‌توان این طور نتیجه گرفت که در با رشد جزیره‌ای زبری افزایش پیدا می‌کند و با رشد جزیره‌ها و چسبیدن آنها به یکدیگر زبری کم می‌شود و به کمترین مقدار خود در ضخامت ۱۰ nm می‌رسد. از این ضخامت به بعد به دلیل افزایش ضخامت، زبری زیاد می‌شود [۱۶]. بیشترین زبری مربوط به لایه‌ی ۳۰ نانومتری است که ر حدود ۲/۶ nm- باشد.



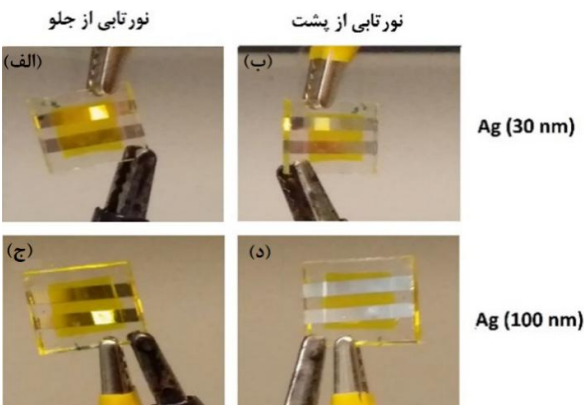
شکل ۳. زبری بر حسب ضخامت لایه-های نقره (ضخامت صفر مربوط به سطح شیشه می‌شود).

ترازهای انرژی و ساختار لایه‌ای LED نیمه شفاف ساخته شده در شکل ۴ نمایش داده شده است [۱۹]. در LED های با ساختار معکوس، الکترون‌ها از ITO یا FTO و حفره‌ها از بالاترین لایه به سیستم تزریق می‌شوند. در اینجا نیز الکترون از ITO به LED تزریق می‌شود. لایه‌ی ZnO دو نقش تزریق‌کننده‌ی الکترون (تسهیل در تزریق الکترون به سیستم) و سد کننده‌ی حفره (از سمت راست) را دارا می‌باشد. لایه‌ی خیلی نازک سزیم کربنات باعث کاهش سد پیش روی الکترون می‌شود. در این ساختار LED، عدم وجود این لایه منجر به کم شدن شگرف بازده خواهد شد. دلیل این افزایش بازده را به نفوذ Cs به درون سیستم و افزایش رسانایی و کاهش سد الکترونی نسبت می‌دهند [۱۹،۲۰]. الکترون تزریق شده وارد لایه PDY-132 که یک پلیمر نورتاب است می‌شود. نام دیگر این پلیمر ابر زرد می‌باشد. حفره نیز از سمت نقره وارد و توسط لایه مولیبدین

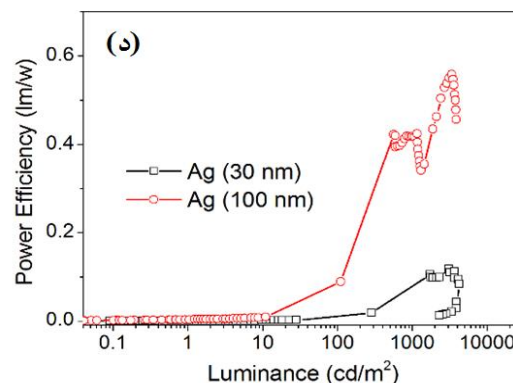
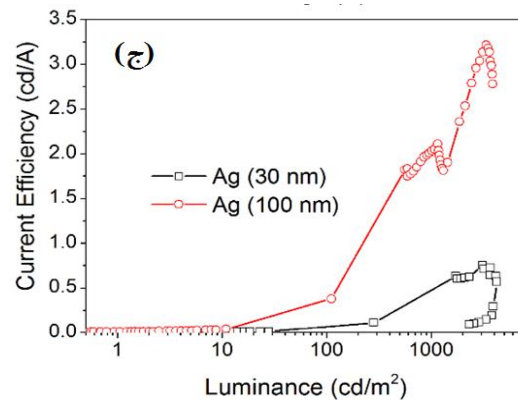
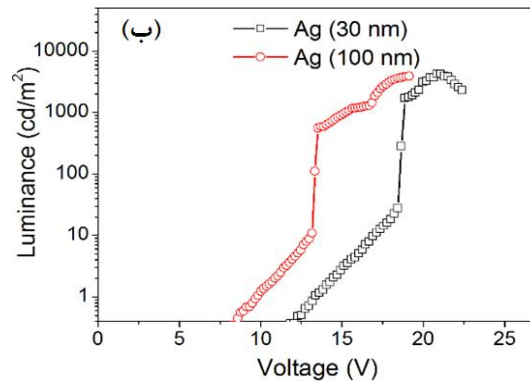
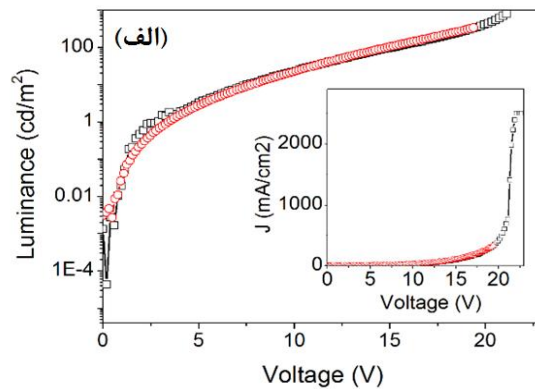
نیمه-لگاریتمی رسم شده است. تغییرات حدود ۷ مرتبه‌ی بزرگی در جریان فقط و فقط به سبب اعمال ولتاژ بین بازه ۰ تا ۲۵ V رخ می‌دهد که نشان از رفتار دیودی این قطعه دارد. در داخل شکل نمودار غیر لگاریتمی جریان-ولتاژ نیز نشان داده شده است. رفتار دیود نیمه‌شفاف کاملاً شبیه به غیر شفاف است فقط با این تفاوت که دیود نیمه-شفاف در ولتاژهای بالا جریان بیشتری می‌کشد که منجر به پایین آمدن بازده جریان می‌شود. در قسمت (ب) از شکل ۵ نورتابی بر حسب ولتاژ بصورت نیمه لگاریتمی نمایش داده شده است. در اینجا نیز رفتار دو دیود کاملاً شبیه به یکدیگر است. تنها تفاوت مهم که در LED نیمه‌شفاف نسبت به غیر شفاف رخ می‌دهد بالا بودن ولتاژ عملگری حدود ۴ V است. که این امر منجر به کم شدن بازده تبدیل توان می‌شود.

ولتاژ روشن برای LED نیمه‌شفاف و غیر شفاف حدود ۵/۸ و ۱۲/۵ V است. در قسمت (ج) و (د) بازده جریان و تبدیل توان بر حسب مقدار نورتابی نمایش داده شده است. دو دلیل بالا بودن جریان در LED نیمه‌شفاف و ولتاژ عملگری باعث می‌شود که این دو بازده برای آن، نسبت به LED غیر شفاف، پایین باشد.

در شکل ۶، تصویر دو LED روشن شده نیمه‌شفاف و غیر شفاف در حالت روشن نشان داده شده است. در این تصویر علاوه بر زرد رنگ بودن نور خروجی LED، خروج نور از دو طرف برای نیمه‌شفاف نیز دیده می‌شود.



شکل ۶. تصویری از LED نیمه شفاف (Ag-30nm) و غیر شفاف (Ag-100nm) از نمای جلو و پشت



شکل ۵. مشخصه یابی جریان-ولتاژ (الف)، نورتابی-ولتاژ (ب)، بازده جریان-نورتابی (ج) و بازده تبدیل توان-نورتابی (د) برای دو LED نیمه شفاف (Ag-30 nm) و غیر شفاف (Ag-100 nm).

شایان ذکر است نور خروجی از قسمت بالای LED ساخته شده حدود ۳۰٪ نور طرف پایین بود.

#### ۴ نتیجه گیری

ضخامت‌های مختلف نقره توسط سیستم تبخیری لایه نشانی شد. تحلیل عبوری نشان داد که در ضخامت‌های زیر حدود ۲۰ nm نقره بصورت جزیره‌ای لایه نشانی می‌شود. که این جزیره‌ها از خود خواص LSPR نشان دادند. با توجه به تحلیل AFM متوجه شدیم که زبری لایه‌های ضخامت زیاد، با افزایش مقدار ضخامت زیاد می‌شوند. مشخصه یابی جریان-ولتاژ-نورتابی LEDها نیز صورت پذیرفت. به علت جزیره‌ای بودن لایه‌های خیلی نازک نقره و مقاومت خیلی زیاد آنها، LEDهای ساخته شده مربوطه قابلیت کارایی نداشت. نتایج نورتابی پایدار برای ضخامت کمینه ۳۰ nm رخ داد. در این ضخامت، دیود قادر بود که از دو طرف نورتابی داشته باشد. مشخصه این دیود با دیود غیر شفاف (با همین ساختار) مقایسه شد. گرچه بازده آن نسبت به دیود غیر شفاف پایین بود ولی مقادیر نورتابی تقریباً یکسانی از خود نشان دادند.

#### مراجع

[1] C.W. Tang, S. a. VanSlyke, Organic electroluminescent diodes, Appl. Phys. Lett. 51, pp. 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 , pp. 439–441. 2009.

[3] T. Han, Y. Lee, M. Choi, S. Woo, S. Bae, B.H. Hong, et al., Extremely efficient flexible organic light-emitting diodes with modified graphene anode, Nat. Photonic. 6 , pp. 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 , pp. J75. 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, pp. 3924. 2013.

[6] J. Tang, K.W. Kemp, S. Hoogland, K.S. Jeong, H. Liu, L. Levina, et al., Colloidal-quantum-dot photovoltaics using atomic-ligand passivation, Nat. Mater. 10 , pp. 765–771. 2011.

- [7] G. Gu, V. Bulovi??, P.E. Burrows, S.R. Forrest, M.E. Thompson, Transparent organic light emitting devices, *Appl. Phys. Lett.* 68 , pp. 2606–2608. 1996.
- [8] M. Zhang, S. Höfle, J. Czolk, A. Mertens, A. Colsmann, All-solution processed transparent organic light emitting diodes, *Nanoscale.* 7, pp.20009–20014. 2015
- [9] B.J. Meyer, T. Winkler, S. Hamwi, S. Schmale, H. Johannes, T. Weimann, et al., Transparent inverted organic light-emitting diodes with a tungsten oxide buffer layer, *Adv. Mater.* 20 , pp. 3839–3843. 2008.
- [10] B.H. Kim, M.S. Onses, J. Bin Lim, S. Nam, N. Oh, H. Kim, et al., High-resolution patterns of quantum dots formed by electrohydrodynamic jet printing for light-emitting diodes, *Nano Lett.* 15, pp. 969–973. 2015.
- [11] P.E. Burrows, G. Gu, S.R. Forrest, E.P. Vicenzi, T.X. Zhou, Semitransparent cathodes for organic light emitting devices, *J. Appl. Phys.* 87 , pp. 3080–3085. 2000.
- [12] M. Morales-Masis, F. Dazou, Q. Jeangros, A. Dabirian, H. Lifka, R. Gierth, et al., An Indium-Free Anode for Large-Area Flexible OLEDs: Defect-Free Transparent Conductive Zinc Tin Oxide, *Adv. Funct. Mater.* 26 , pp. 384–392. 2016.
- [13] P. Görm, M. Sander, J. Meyer, M. Kroger, E. Becker, H.H. Johannes, et al., Towards see-through displays: Fully transparent thin-film transistors driving transparent organic light-emitting diodes, *Adv. Mater.* 18 , pp. 738–741. 2006.
- [14] D.L. Simonato, G. Giusti, C. Mayousse, C. Celle, D. Bellet, Jean-Pierre, Flexible transparent conductive materials based on silver nanowire networks: a review, *Nanotechnology.* 24 , pp. 452001. 2013.
- [15] P.P. Jung-Yong Lee, Stephen T. Connor, Yi Cui, Solution-Processed Metal Nanowire Mesh Transparent Electrodes, *Nano Lett.* 8 , pp. 689-692. 2007.
- [16] H. Alehdaghi, M. Marandi, A. Irajizad, N. Taghavinia, Influence of cathode roughness on the performance of F8BT based organic – inorganic light emitting diodes, *Org. Electron.* 16, pp. 87–94. 2015.

# Fabrication and Characterization of Semi-Transparent Hybrid Light Emitting Diode with Inverted Structure

H. Alehdaghi <sup>1,\*</sup>, M. Shahraki <sup>2</sup>, H. Heydari <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculty of science, Hakim Sabzevari university, Sabzevar

<sup>2</sup> Departeman of chemistry, university of Sistan & baluchestan, Zahedan

<sup>3</sup> Departman of chemistry, Razi university, Kermanshah

## Abstract

In recent two decades, a large share of lighting research has been assigned to investigation on organic light emitting diodes (OLEDs). The basic structure of OLEDs consist of an organic emissive layer and another layers as injection or transporting layers which can be organic or inorganic. In this report, with varying of silver thickness which acts as anode layer we could fabricated a semi-transparent hybrid LED. The minimum thickness which OLED with structure of "ITO/ZnO/Cs<sub>2</sub>Co<sub>3</sub>/PDY/MoO<sub>3</sub>/Ag" emits light both side was about 30 nm. The optical transmittance analysis showed Ag layers with thickness lower than 20 nm has been grown in island mode. In thick Ag layers, atomic force microscopy demonstrated that roughness is increased as Ag thickness is increased. The maximum brightness for semi-transparent hybrid LED was about 2290 cd/m<sup>2</sup> with current efficiency of about 1 cd/A.

## Keywords

OLED, semi-transparent, hybrid, silver, inverted structure.