بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هشتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۶ تا ۸ بهمن ماه ۱۳۹۴، دانشگاه یزد

ساخت و کپسوله کردن دیود نور گسیل آلی با استفاده از مجموعه ی چند لایه ای SiO/Si_3N_4 و مقایسه آن با پوشش شیشه

سهیلا مردانی[۱]، حمیدرضا فلاح[۱و۲] و حسین زابلیان[۱]

[۱]گروه فیزیک دانشگاه اصفهان

[۲] گروه پژوهشی اپتیک کوانتومی، دانشگاه اصفهان

در این پژوهش از جفت لایه ی SiO/Si_3N_4 برای کپسوله کردن دیود نورافشان آلی (OLED) با زیرلایه شیشه استفاده شده است. زمانی که لایه Si_3N_4 روی ساختار OLED لایه نشانی می شود کارایی سیستم نسبت به حالت کپسوله نشده افت می کند. به منظور رفع این مشکل از میان لایه SiO برای محافظت ساختار OLED در برابر آسیب های لایه نشانی به روش کندوپاش استفاده شد. لایه نازک Si_3N_4 به روش کندوپاش RF و لایه نازک SiO به روش تبخیر فیزیکی و در محفظه ی خلاء لایه نشانی شدند. پس از لایه نشانی مشخصه ی جریان-ولتاژ اندازه گیری شد و طیف تابش دیود مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت طول عمر دیود اندازه گیری شد. نمونه ی کپسوله شده با لایه نازک نیمه عمر حدودا ۵۴۲ ساعت و نمونه ی کپسوله شده با شیشه نیمه عمر حدودا ۱۰۷۸ ساعت دارند. نتایج بررسی ها نشان می دهد که طول عمر نمونه ی کپسوله شده با لایه نازک SiO/Si_3N_4 حدود نصف نیمه عمر نمونه ی کپسوله شده با شیشه است.

کلید واژه: دیود نورافشان آلی، کپسوله کردن دیود نورافشان آلی، لایه های نفوذ ناپذیر

Fabrication and encapsulation of organic light emitting diode with SiO/Si_3N_4 multilayer and compare with glass cover

Soheila Mardani[1], Hamidreza Fallah [1,2], and Hossein Zabolian [1]

[1]Physics department, University of Isfahan

[2] Quantum optics group, University of Isfahan

In this investigation silicon oxide (SiO) and silicon nitride (Si_3N_4) bilayers and glass cover were applied as encapsulation cap on glass-based organic light emitting diodes (OLEDs). When Si_3N_4 layer was deposited on to the OLED structure, the devices showed performance worse than one without any encapsulation. The adverse effects were attributed to the damage caused by reaction species during the Si_3N_4 sputtering deposition processes. To solve this problem, a SiO interlayer is used to provide effective protection to the OLED structure. Si_3N_4 thin film deposited by RF-sputtering and SiO thin film deposited by PVD method and both of them prepared in vacuum chamber. After deposition, current-voltage parameter and life time of diode have been measured. Diode luminescence spectra has been investigated. Half- life for the thin films encapsulation OLED estimated 542 hours and for the glass cover encapsulation OLED estimated 1078 hours. Results show life time for the thin films encapsulation OLED is half of glass cover encapsulation OLED.

Keywords: Organic light emtting diode (OLED), Organic light emtting diode encapsulation, Permeation barriers

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

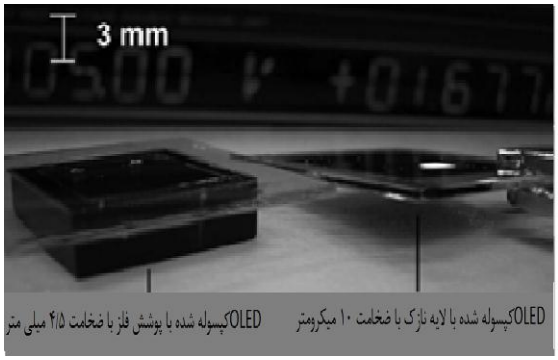
مقدمه

امروزه فن آوری تولید دیودهای نورافشان آلی(OLED) چه در شکل چشمه های نوری و چه در شکل نمایشگرها توجه بسیاری از شرکت های بزرگ دنیا را به خود جلب کرده است. OLED ها وسایل الکترواپتیکی هستند که بر پایه ی صنعت لایه نشانی ساخته می شوند. در ساختمان این وسایل، مجموعه ای از لایه های آلی بین دو لایه ی نازک از مواد رسانا که نقش الکترودهای آند و کاتد را دارند، قرار گرفته اند.

OLED ها به دلیل داشتن ویژگی هایی از جمله درخشش بالا، بازده بالا، زاویه ی دید وسیع و زمان پاسخ سریع به عنوان نمایشگر، مطلوب و مورد توجه هستند. به علاوه، OLEDها می توانند در وزن کم و به صورت نمایشگرهای انعطاف پذیر نازک تولید شوند. بنابراین، این ابزار توانایی جایگزین شدن به جای نمایشگرهای کریستال مایع(LCD) که امروزه به طور وسیعی به عنوان نمایشگرهای صفحه تخت استفاده می شوند را دارند[۱].

از طرفی یک مشکل مهم در ساختار OLEDها، طول عمر آن ها می باشد. قسمت های فلزی و آلی این ابزار در معرض اکسیژن و بخار آب سریع تخریب می شوند. تخریب OLED سبب شکل گیری نواحی که تابندگی ندارند می شود که به تدریج باعث اتمام روشنایی دستگاه می شود[۲]. بنابراین طول عمر دستگاه سریع کاهش می یابد. در روش های معمول و رایج کپسوله کردن OLED، از یک پوشاننده ی شیشه یا فلز استفاده می شود که در محیطی پر از نیتروژن خالص بر روی OLED چسبانده می شود که برای افزایش طول عمر OLED مؤثر است [۳].

امروزه به صفحه نمایش های نازک تر برای طراحی های فوق نازک و سبک نیاز است [۴]. برای حل این مشکل به جای پوشش های شیشه ای یا فلزی از لایه های نازک به عنوان پوشش محافظتی استفاده می شود. تفاوت در ضخامت این دو نوع نمونه در شکل ۱ نشان داده شده است.

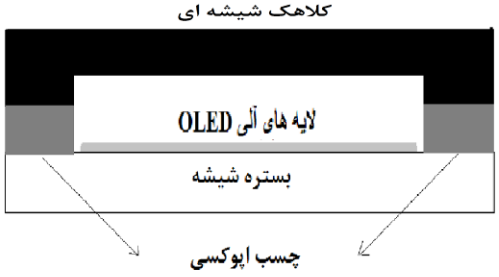


شکل ۱: تفاوت ضخامت OLED کپسوله شده با شیشه یا فلز با لایه نازک(۳) .

در این پژوهش با لایه نشانی به روش تبخیر فیزیکی و کندوپاش، مجموعه ی چند لایه ای SiO/Si_3N_4 لایه نشانی و سپس مشخصه یابی شد. در نهایت نتایج مربوط به طول عمر قطعه با نمونه ی مشابه کپسوله شده با شیشه مقایسه شده است.

مواد و روشها

در این پژوهش از OLED نور سبز با ساختار $ITO/MoO_3/NpB/Alq_3/LiF/Al$ که با استفاده از روش تبخیر فیزیکی در محفظه ی خلاء با فشار پایه $۱۰^{-۵}$Torr تهیه شده است استفاده می کنیم. پس از تولید، این محصول را به دو روش کپسوله می کنیم. یک نمونه را از دستگاه لایه نشانی به glove box منتقل می کنیم و در این فضا که با گاز نیتروژن با خلوص۹۹/۹۹۹۵٪ پر شده است، پوشش شیشه ای که به صورت کلاهک شیشه ای طراحی شده است مطابق شکل ۲ با استفاده از چسب اپوکسی بر روی OLED چسبانده می شود به گونه ای که چسب و شیشه هیچ تماسی با سطح OLED نداشته باشند. سپس این محصول را در معرض تابش UV قرار داده تا اپوکسی به طور کامل خشک شده و مانع از نفوذ رطوبت و اکسیژن شود.

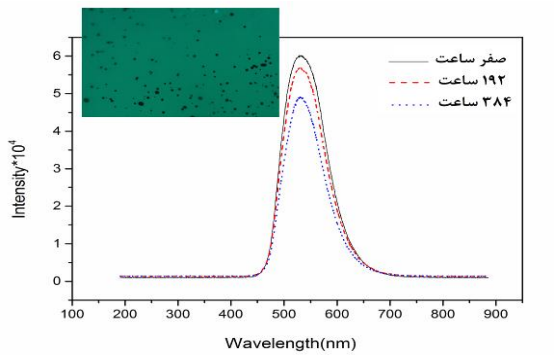


شکل ۲: نمایشی از OLED کپسوله شده با پوشش شیشه

یک OLED دیگر را با لایه نازک کپسوله می کنیم. برای کپسوله کردن این محصول از جفت لایه ی SiO/Si_3N_4 استفاده می کنیم. لایه نازک Si_3N_4 که یک سد رطوبتی بسیار خوب بشمار می آید[۴] را به روش کندوپاش RF لایه نشانی می کنیم[۵]. محیط پلاسمایی که در لایه نشانی کندوپاش و شیمیایی وجود دارد باعث آسیب رساندن به OLED می شود [۳]. بنابراین نیاز به یک میان لایه داریم که بلافاصله بعد از لایه نشانی OLED روی سطح آن لایه نشانی شود و مانع از آسیب محیط پلاسمایی بر روی ساختار OLED شود. به این منظور از لایه SiO با ضخامت ۲۰۰nm استفاده می کنیم که به روش تبخیر فیزیکی با آهنگ انباشت ۱ nm/s در فشار ۱×۱۰^{-۵} Torr ، بلافاصله بعد از لایه نشانی کاتد OLED بر روی ساختار لایه نشانی می شود و در مقابل محیط پلاسمایی مقاوم می باشد[۶]. پس از آن قطعه از طریق glove box به دستگاه لایه نشانی کندوپاش منتقل می شود و لایه Si_3N_4 باضخامت ۳۲nm روی این ساختار لایه نشانی می شود.

بررسی طیف الکترولومینسانس

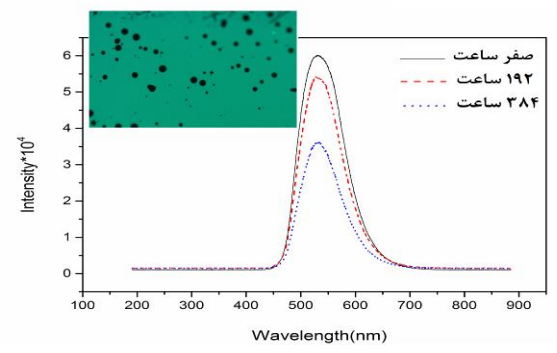
برای اندازه گیری مشخصات لومینسانس دیودهای ساخته شده، نظیر طول موج های گسیلی و شدت گسیل در این طول موج ها از بیناب سنج jaz ساخت شرکت ocean optics استفاده کردیم. شکل ۳ مشخصه ی طیف الکترولومینسانس دیود نورگسیل آلی مزبور می باشد که با شیشه کپسوله شده است. همان طور که مشخص است بیشینه ی نمودار در ۵۳۰ nm است که محدوده ی طیف سبز می باشد. در این جا تغییرات مشخصه ی طیف تابشی را با زمان ثبت کردیم و کاهش شدت طیف در طول زمان به وضوح آشکار است. بعد از گذشت۳۸۴ ساعت شدت نور تابشی از OLED به اندازه ی ۱۷٪ از شدت اولیه کاهش یافته که نسبت به نمونه های گزارش شده که در ساختاری مشابه بعد از گذشت ۱۲۰ ساعت شدت تابش به نصف مقدار اولیه کاهش یافته نتیجه ی بهتری به دست آوردیم[۷]. همچنین تصویری از سطح OLED کپسوله شده با شیشه بعد از ۴۸ ساعت توسط میکروسکوپ اپتیکی گرفته شده و نقاط تاریک ایجاد شده که عامل کاهش شدت نور هستند، در سطح قابل رویت



شکل ۳: منحنی تغییرات EL اندازه گیری شده برای OLED کپسوله شده با شیشه در طول زمان توسط بیناب سنج jaz و تصویر میکروسکوپ اپتیکی از سطح این OLED بعد از ۴۸ ساعت

می باشند.

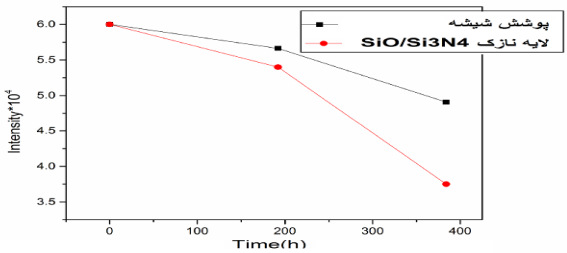
شکل ۴ مشخصه ی طیف الکترولومینسانس دیود نور گسیل آلی ذکر شده می باشد که با لایه نازک SiO/Si_3N_4 کپسوله شده است. در این جا نیز تغییرات مشخصه ی طیف تابشی را با زمان ثبت کردیم و کاهش شدت طیف در طول زمان به وضوح آشکار است. بعد از گذشت ۳۸۴ ساعت شدت نور تابشی از OLED تقریبا به اندازه ی ۳۳٪ از شدت اولیه کاهش یافته است که نسبت به نمونه های گزارش شده که در بهترین حالت در یک دیود نور سبز که با جفت لایه YF_3/ZnS کپسوله شده بعد از گذشت ۲۰ ساعت شدت تابش نصف شده است به نتیجه به مراتب بهتری دست یافتیم[۸]. همچنین تصویری از سطح OLED کپسوله شده با لایه نازک بعد از ۴۸ ساعت توسط میکروسکوپ اپتیکی گرفته شده و نقاط تاریک ایجاد شده که عامل کاهش شدت نور هستند، در سطح قابل رویت می باشند.



شکل ۴: منحنی تغییرات EL اندازه گیری شده برای OLED کپسوله شده با لایه نازک در طول زمان توسط بیناب سنج jaz و تصویر میکروسکوپ اپتیکی از سطح این OLED بعد از ۴۸ ساعت

بررسی طول عمر دیود نورگسیل آلی

بر اساس تغییر منحنی طیف الکترولومینسانس در طول زمان و مطابق با نتایج به دست آمده از شکل های ۳ و۴، منحنی تغییرات برای دو OLED کپسوله شده با شیشه و لایه نازک در شکل ۵ نشان داده شده است.

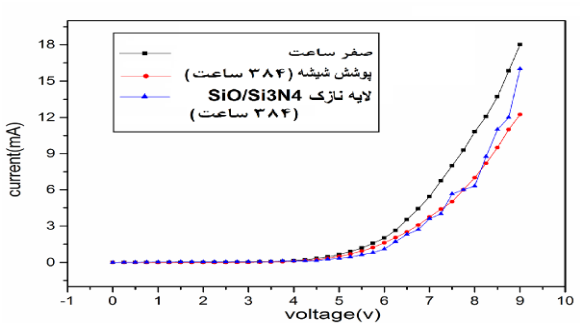


شکل ۵: منحنی طول عمر OLED کپسوله شده با شیشه و لایه نازک

طبق تعریف، زمانی که شدت بیشینه ی نمودار به نصف مقدار بیشینه می رسد را به عنوان نیمه عمر در نظر گرفتیم. نیمه عمر برای نمونه ی کپسوله شده با شیشه، ۱۰۷۸/۴۲ ساعت و برای نمونه ی کپسوله شده با لایه نازک SiO/Si_3N_4 ، ۵۴۲ ساعت تخمین زده می شود که دلیل آن نفوذ بیشتر اکسیژن و رطوبت در ساختار جفت لایه SiO/Si_3N_4 نسبت به نفوذ از طریق پوشش شیشه و چسب اپوکسی می باشد و همان طور که در بخش قبل توضیح داده شد در مقایسه با نتایج گزارش شده مشابه در دنیا، نتایج خوبی می باشد[۳و۷و۸].

بررسی مشخصه ی ولتاژ- جریان

در شکل ۶ نمودار مشخصه ی ولتاژ- جریان اندازه گیری شده توسط دستگاه Keithley 2450 برای دو نمونه ی کپسوله شده با شیشه و لایه نازک در ابتدای تولید و بعد از گذشت ۳۸۴ ساعت نشان داده شده است. در این نمودار کاهش مقدار جریان در یک ولتاژ ثابت به وضوح آشکار است. نسبت به نمونه های گزارش شده که در یک ولتاژ ثابت برای مثال ۸ ولت بعد از گذشت ۲۳ ساعت، جریان تقریبا ۷۵٪ کاهش یافته است[۸]. نتیجه ی حاصل شده در این پژوهش نتیجه ی بهتری است چراکه بعد از گذشت ۳۸۴ ساعت، در ولتاژ ثابت ۸ ولت برای نمونه ی کپسوله شده با شیشه جریان، ۳۵٪ کاهش یافته و برای نمونه ی کپسوله شده با لایه نازک جریان ۵۹٪ کاهش یافته است.



شکل ۶: تغییرات مشخصه ی ولتاژ- جریان OLED کپسوله شده با شیشه و لایه نازک در طول زمان اندازه گیری شده توسط دستگاه Keithley 2450

نتیجه گیری

طبق نتایج به دست آمده از طیف سنجی و منحنی I-V مشاهده می کنیم که در روش کپسوله با پوشش شیشه ای محافظت بهتری از OLED شده است و طول عمر OLED نسبت به نمونه ی کپسوله شده با لایه نازک بیشتر بوده و افت جریان آن با گذشت زمان نسبت به نمونه ی کپسوله شده با لایه نازک کمتر است. از طرفی طبق اندازه گیری ها، نمونه ی کپسوله شده با لایه نازک SiO/Si_3N_4 نسبت به نمونه های مشابه کپسوله شده با لایه نازک، نتایج به مراتب بهتری از خود نشان داد.

مراجع

[1] C Y Li1,2, B Wei1, Z K Hua1,2 ,H Zhang1,X F Li1 , and J H Zhang1,2, *Thin Film Encapsulation of OLED Displays with Organic-Inorganic Composite Film*, IEEE (2008).

[2] P.Melpignano, A.Baron-Toaldo, V.Biondo, S.Priante, *Mechanism of dark-spot degradation of organic light-emitting devices*, Appl.phys.lett.86.041105 (2005).

[3] F. L. Wong, M. K. Fung, , S. L. Tao, S. L. Lai, W. M. Tsang, K. H. Kong, W. M. Choy, C. S. Lee and S. T. Lee, *Long-lifetime thin-film encapsulated organic light-emitting diodes*, Appl. Phys. 104, 014509 (2008).

[4] T.N. Chen, D.S. Wuu, C.C. Wu, C.C. Chiang, H.B. Lin, Y.P. Chen, R.H. Horng, *High-Performance Transparent Barrier Films of SiOx/SiNx Stacks on Flexible Polymer Substrates*, J. Electrochem. Soc. (2006).

[۵] سهیلا مردانی، حمیدرضا فلاح و حسین زابلیان، *ساخت و مشخصه یابی لایه نازک سیلیکن نیترید*، چهارمین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر ایران،۱۳۹۴.

[6] Won Min Yun, Jaeyoung Jang, Sooji Nam, Lae Ho Kim, Sang Joon Seo, and Chan Eon Park, *Thermally Evaporated SiO Thin Films As a Versatile Interlayer for Plasma-Based OLED Passivation*, ACS Appl. Mater. Interfaces, (2012).

[۷] مهناز آقایی گودی، حمیدرضا فلاح و مرتضی حاجی محمودزاده، *مطالعه و بررسی روش های کپسوله کردن دیودهای نورگسیل آلی و ساخت یک نمونه از آن*، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک اتمی و ملکولی، دانشگاه اصفهان،۱۳۹۲.

[۸] مارال قشنی، عباس بهجت، *ساخت و کپسوله کردن یک دیود نور گسیل آلی نانوساختاری و بررسی کارایی آن*،پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک اتمی و ملکولی،دانشگاه یزد،۱۳۹۱.