

مارال قشنی^۱، عباس بهجت^{۲*}، فاطمه جعفری^۱

۱- گروه پژوهشی فوتونیک مرکز تحقیقات مهندسی، دانشگاه یزد
۲- گروه اتمی مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد

کپسوله کردن و مشخصه‌یابی دیودهای نورگسیل آلی نانوساختاری با استفاده از سیستم‌های تک‌لایه YF_3 و ZnS/YF_3

چکیده

در این تحقیق دیودهای نورگسیل آلی (OLED) نانو ساختار، کپسوله‌شده در مقابل نفوذ رطوبت و اکسیژن با استفاده از ترکیب تک‌لایه YF_3 و دولایه‌ای ZnS/YF_3 را ساخته‌ایم و مشخصه‌یابی نموده‌ایم. برای ساخت دیود از لایه‌نشانی به روش‌های لایه‌نشانی چرخشی و تبخیر حرارتی فیزیکی استفاده کرده‌ایم. برای کپسوله‌کردن دیود به ترتیب از تک‌لایه YF_3 و ترکیب دولایه ZnS/YF_3 استفاده نموده و اثر این تک‌لایه و دولایه بر طول عمر یک نمونه دیود نور سبز را اندازه‌گیری و با طول عمر نمونه کپسوله نشده مقایسه کرده‌ایم. همچنین طول عمر دیود نورگسیل ساخته شده را به ازای درخشندگی 22000 cd/cm در ولتاژ ثابت اندازه‌گیری و تغییرات شدت طیف الکترومینیسانس را در طول زمان بررسی نموده‌ایم. مشاهده شد طول عمر دیود برای نمونه‌های کپسوله‌شده با دولایه‌ای ZnS/YF_3 به‌طور قابل توجهی بهبود یافت. برای نمونه‌ی کپسوله‌شده با لایه ترکیبی ZnS/YF_3 درخشندگی بعد از گذشت ۲۰ ساعت به نصف مقدار ماکزیم رسید که بیانگر مقاومت مناسب دیود در مقابل نفوذ رطوبت و اکسیژن است. علاوه بر این، این روش کپسوله‌کردن ساده و ارزان، به دلیل شفاف‌بودن لایه‌ها برای کپسوله‌کردن دیودهای نورگسیل از بالا مناسب است.

واژه‌های کلیدی: دیود نور گسیل آلی، کپسوله‌کردن با لایه‌های نازک، طول عمر، ایتريوم فلوراید، زینک سولفید

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی برای دست‌یابی به چشمه‌های نوری پربازده و کم مصرف صورت گرفته است. نتیجه‌ی این تلاش‌ها دست‌یابی به چشمه‌های نوری حالت جامد شامل دیودهای نورگسیل معدنی (LED) و دیود نورگسیل آلی (OLED) بوده است [۱-۶].

دیودهای نورگسیل علی‌رغم بازدهی بالاتری که در مقایسه با چشمه‌های نوری دیگر دارا هستند ولی منابع نقطه‌ای برای انتشار نور به شمار می‌آیند و شار لومینسانس آن‌ها نسبتاً پایین است. بنابراین برای تامین روشنایی به تعداد زیادی از آن‌ها نیازمندیم و این خود مشکل اتلاف انرژی را به دنبال دارد. اما دیودهای نورگسیل آلی به دلیل کارایی قابل توجه به‌شدت مورد توجهند. دیودهای نورگسیل آلی هم از نظر خروجی و هم از نظر میزان بازده از لامپ‌های ال‌تھابی پیشی گرفته‌اند بطوری‌که داده‌ها نشان می‌دهد مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید حجم مشابهی نور در آن‌ها در مقایسه با چشمه‌های نوری فعلی بیش از ۵۰٪ کاهش می‌یابد [۷]. هم‌چنین دیودهای نورگسیل آلی در مقایسه با دیودهای نورگسیل معدنی چشمه‌های با توزیع نور مسطح هستند و صفحات نورده آن‌ها را می‌توان در هر ابعادی تولید کرد [۸]. این ویژگی، امکان داشتن چشمه نوری با شار لومینسانس بالا بدون وجود تابش خیره کننده را فراهم می‌سازد. بعلاوه قابلیت ساخت این دیودهای نورگسیل آلی بر روی بسترهای انعطاف پذیر از مزایای مهم آن به‌شمار می‌آید [۹].

از دیگر ویژگی‌های قابل توجه OLEDها، توانایی کوک‌پذیری رنگ در آن‌ها، به خاطر وجود مواد گسیلنده مختلف در ناحیه‌ی مرئی است. ترکیبی از این عناصر، محدوده‌ی رنگی وسیعی را امکان‌پذیر می‌سازد [۱۰-۱۵]. OLEDها دارای قابلیت ساخت ساده و تولیدپذیری بالا و قیمت پایینی هستند هم‌چنین کیفیت تصویر بالا و سبکی قابل توجهی دارند. این ویژگی‌ها منجر به کاربردهای وسیع آن در صنعت بویژه در تکنولوژی ساخت صفحات نمایش تمام رنگی و صفحات نورگسیل انعطاف‌پذیر می‌شود. از طرفی، از آنجایی که این دیودها از مواد آلی ساخته می‌شوند در مقایسه با چشمه‌های نوری دیگر سازگاری بهتری با محیط زیست دارند که این ویژگی وجود این چشمه‌ها را در صنعت روشنایی باارزش می‌کند.

یکی از مسائل اساسی در مورد این ساختارها، طول عمر آنهاست. این ساختارها به شدت به بخار آب و هوا حساس هستند. به دلیل عواملی مانند اتصال کوتاه و یا اثرات گرمایی حفره‌هایی بر روی سطح ایجاد می‌شود که البته قابل مشاهده با چشم نیستند و نقاط تیره‌ی غیرتابشی را بر روی سطح به وجود می‌آورند که نتیجتاً طول عمر آنها بدون وجود هیچ ساختار حفاظتی در کمتر از چند ساعت به آخر می‌رسد. بنابراین باید از روشی برای کپسوله کردن ساختار استفاده کرد تا از آن در مقابل نفوذ بخار آب و اکسیژن محافظت کند. تا امروز تکنولوژی که این مشکل را به طور کامل حل کند ارائه نشده است و این مشکل مانع از آن شده که OLEDها به سرعت جایگاه وسیع خود را در بازار جهانی در بین دیگر چشمه‌های نوری به دست آورند [۱۷-۱۶].

راه‌های مختلفی برای کپسوله کردن دیود نورگسیل از آن جمله کپسوله کردن به وسیله شیشه یا فلز [۱۸]، لایه‌نشانی لایه‌های نازک [۱۹]، قرار دادن نمونه بین دو لایه شیشه‌ای یا پلاستیکی (که به عنوان لایه‌های محافظ عمل می‌کند) [۲۰] وجود دارد. رایج‌ترین شیوه برای کپسوله کردن OLEDها به وسیله شیشه یا فلز است با استفاده از چسب‌های اپوکسی بر روی سطح است. که این روش به دلیل هزینه‌بر بودن آنها برای کپسوله کردن سطوح انعطاف‌پذیر مناسب نیست [۲۱]. سطوح انعطاف‌پذیر امروزه به شدت مورد توجه است به دلیل این که مقاومت کمتری در مقابل نفوذ رطوبت دارند [۲۲ و ۲۳].

هم‌چنین برای کپسوله کردن از نوعی اپوکسی که آنها را تحت تابش UV قرار می‌دهند به همراه نوعی لایه‌ی خشک‌کننده استفاده می‌شود. این روش برای دیودهایی که از بالا تابش نور دارند مناسب نیستند، چون سطح غیرشفاف خشک‌کننده، بخش زیادی از نور را کاهش می‌دهد. بنابراین امروزه از روش‌های کپسوله کردن با سرپوش‌های انعطاف‌پذیر محافظ، شیشه‌های بسیار نازک و روش لایه‌نشانی تبخیر حرارتی استفاده می‌شود که در این میان روش لایه‌نشانی با تبخیر حرارتی بیشتر مورد توجه است. این تکنیک ساده‌تر و ارزان‌تر است و نمونه‌ها سبک و کم ضخامتند و دارای طول عمر قابل‌مقایسه با شیوه‌ی کپسوله کردن با شیشه می‌باشند و برای سطوح انعطاف‌پذیر مناسب است [۲۴].

تلاش‌های زیادی توسط محققین در جهت افزایش طول عمر دیودها صورت گرفته که در این راستا از موادی نظیر Al_2O_3 و SiO_2 و پلیمرهایی نظیر پلی‌اکریلیک و ترکیبات شیمیایی ارگانیک- غیر ارگانیک برای کپسوله کردن استفاده می‌کنند. در تلاش‌های اخیر از روش‌هایی نظیر تبخیر شیمیایی حرارتی به همراه کاتالیزور و تکنولوژی لایه‌نشانی اتمی (ALD)، که به طور وسیعی در ساخت لایه‌ی محافظ با کارایی بالا به کار می‌رود [۲۴]، استفاده می‌شود.

در این تحقیق نوعی روش کپسوله کردن با لایه نازک که کم‌هزینه و ساده است را معرفی می‌کنیم. هم‌چنین اثر لایه‌ی شفاف YF_3 و ZnS را به عنوان لایه‌ی محافظ بر روی الکتروود و تاثیر آن را بر روی طول عمر دیود نیز بررسی خواهیم کرد. بدین منظور اقدام به ساخت نوعی دیود نورگسیل نور سبز با ساختار $LiF/Al/ITO/PEDOT:PSS/TPD/Alq_3$ کرده‌ایم و اثر لایه‌ی YF_3 و ترکیب دولایه‌ای ZnS/YF_3 را به طور جداگانه بر روی طول عمر و عملکرد دیود نورگسیل بررسی کرده‌ایم و با هم مقایسه نموده‌ایم.

۲- مراحل آزمایش

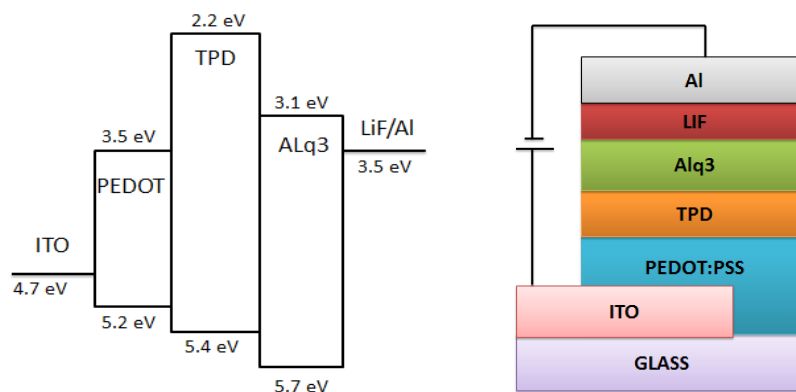
۲-۱- ساخت نمونه‌ها

مراحل آزمایش شامل دو بخش ساخت و کپسوله کردن دیود است. در ساخت آنها از روش‌های لایه‌نشانی چرخشی و روش تبخیر حرارتی فیزیکی استفاده کردیم. دیودها از نوع دیود نورگسیل از پایین هستند. زیرلایه‌های به کار رفته در این کار شامل اکسید ایندیوم آلاییده شده با فلز اند (ITO) است که بر روی شیشه لایه‌نشانی شده است و مقاومت این لایه‌ها $15 \Omega/cm^2$ می‌باشد. در ابتدا بخشی از ITO را بوسیله‌ی اسید کلریدریک رقیق شده به مدت ۱۰ الی ۲۰ دقیقه سونش داده شد بدین معنی که آن را از روی زیر لایه جدا کردیم. فرآیند تمیزسازی در ساخت دیود از اهمیت زیادی برخوردار است بدلیل اینکه با توجه به ضخامت لایه‌های به کار رفته در ساخت دیود که در ابعاد نانومتری هستند، وجود کوچک‌ترین ناخالصی یا آلودگی بر روی سطوح موجب اتصال کوتاه در نمونه‌شده و به طور کلی کارایی دستگاه را پایین می‌آورد.

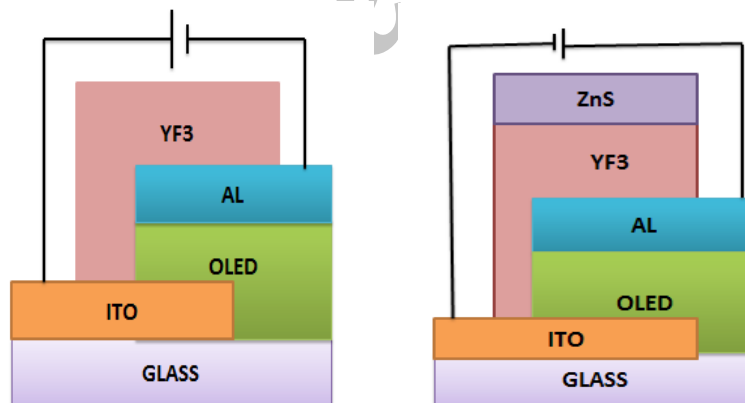
بدین منظور ابتدا زیرلایه‌های نقش‌دار شده را با آب و صابون شسته، سپس آن را در محلول پروپانول گذاشته و به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک قرار دادیم تا سطح آنها به طور یکنواخت شسته شود، سپس آن را به ترتیب در محلول استون و آب دو بار یونیزه شده قرار داده و سپس هرکدام را به مدت ۱۵ دقیقه توسط اولتراسونیک تمیز کردیم. در نهایت نمونه‌ها با عبور دادن گاز نیتروژن از روی سطوح آنها خشک شد.

دیودهای نورگسیل نور سبز طی چندین مرحله به شرح ذیل ساخته شد. ابتدا با استفاده از روش لایه‌نشانی چرخشی لایه‌ی ethylenedioxythiophene/polystyrenesulphonate (PEDOT:PSS-۴, -Poly۳) را به مدت ۶۰ ثانیه و با سرعت ۳۰۰۰ rpm/s بر روی زیرلایه (ITO) می‌نشانییم. با این شرایط ضخامت لایه‌ی PEDOT:PSS بین ۸۰ nm تا ۱۰۰ nm بدست می‌آید. این لایه نقش تزریق‌کننده‌ی حفره را دارد. سپس نمونه‌ها را برای مدت ۴۵ دقیقه در کوره در دمای ۱۱۰ درجه قرار می‌دهیم تا نمونه‌ها پخت شوند. نمونه‌های بازپخت شده را درون ماسکی با ابعاد ۱ سانتیمتر در ۶ سانتیمتر قرار داده و آنها را درون دستگاه تبخیر حرارتی در

ارتفاع مناسب قرار می‌دهیم. دستگاه رادر سه مرحله خلأ نموده و در نهایت در فشار میلیتر جیوه، لایه‌نشانی را آغاز می‌کنیم. لایه‌ی TPD (N,N' -bis(3-methylphenyl)- N,N' -diphenylbenzidine) را به‌عنوان لایه‌ی انتقال‌دهنده‌ی حفره با ضخامت ۴۰ nm و لایه‌ی Alq_3 (tris(8-hydroxyquinoline)Aluminum) را به‌عنوان لایه‌ی تابشی و انتقال‌دهنده‌ی الکترون به ضخامت ۵۰ nm، لایه‌ی LiF به‌عنوان لایه‌ی بافر و تزریق‌کننده‌ی الکترون به ضخامت ۵ nm و در نهایت لایه‌ی Al به‌عنوان کاتد به ضخامت ۱۲۰ nm، لایه‌نشانی می‌کنیم. نرخ لایه‌نشانی برای مواد آلی $0.7 - 0.6 \text{ \AA/S}$ و برای LiF، 0.1 \AA/S و برای Al در ابتدا 1 \AA/S و سپس 5 \AA/S اندازه‌گیری شد. ضخامت لایه‌ها به‌وسیله‌ی بلور کوارتز موجود در دستگاه لایه‌نشانی اندازه‌گیری شد. پس از لایه‌نشانی، نمونه‌ها را پس از سرد شدن از محفظه خلأ خارج می‌کنیم، چون در صورت بالا بودن دمای زیرلایه، به سرعت لایه‌ها در مجاورت هوا اکسید می‌شوند.



شکل ۱: ساختار شماتیک دیودها و تراز انرژی مربوط به مواد به‌کار رفته در آن‌ها



شکل ۲: طرح شماتیک ساختار دیودهای نورگسیل آلی کپسوله شده D_2 و D_3

۲-۲- کپسوله کردن نمونه‌ها

در این تحقیق سه ساختار شامل دیود کپسوله‌نشده، دیود کپسوله‌شده با لایه YF_3 دیود کپسوله‌شده با لایه ترکیبی ZnS/YF_3 را بررسی می‌کنیم. این نمونه‌ها به‌ترتیب تحت عنوان نمونه‌های D_1 ، D_2 و D_3 نامگذاری شده‌اند. برای کپسوله‌کردن نمونه‌ها، خلأ دستگاه تبخیر حرارتی را شکسته و نمونه‌ها را به روش مناسب درون ماسک قرار می‌دهیم و مجدداً به وسیله‌ی دستگاه تبخیر حرارتی لایه‌نشانی می‌کنیم. در نمونه‌ی D_1 از YF_3 (۱۰۰ نانومتر) به‌عنوان لایه‌ی محافظ استفاده کردیم و نمونه‌ی D_2 را هم به دلیل قابل مقایسه بودن با ساختار قبلی YF_3 ، به ضخامت ۱۰۰ nm و ZnS را به ضخامت ۵۰ nm لایه‌نشانی کردیم. مساحت ناحیه‌ی فعال نمونه‌ها 0.6 cm^2 است. در شکل ۲ نیز ساختار شماتیک دیودها و تراز انرژی مربوط به مواد به‌کار رفته در ساخت آن‌ها نمایش داده شده است. در شکل ۲ نیز ساختار دیودهای نورگسیل آلی کپسوله شده D_2 و D_3 نشان داده شده است.

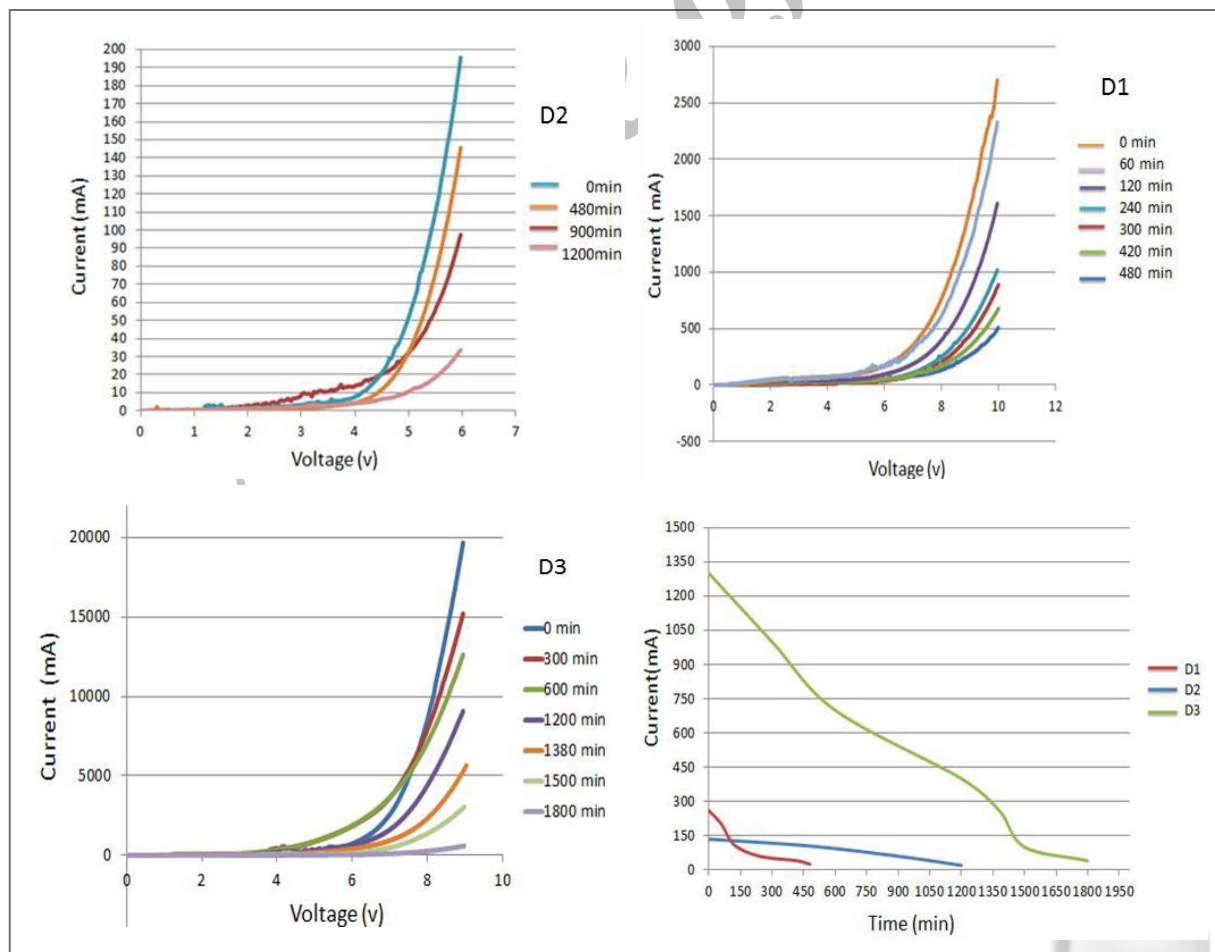
۳- بحث و بررسی

سه ساختار D1، D2، D3 به صورت دیود کپسوله نشده و دیود کپسوله شده با YF_3 به ضخامت 100 nm و نمونه سوم با ساختار ZnS/YF_3 (100nm/50nm) ساخته شده‌اند. همانطور که اشاره شد برای بررسی طول عمر دیودها تغییرات طیف تابشی در طول یک ولتاژ ثابت در طول زمان اندازه‌گیری شد. برای این منظور می‌توان از تغییرات ولتاژ راه‌انداز به ازای جریان ثابت در طول زمان نیز استفاده نمود [25-27]. برای اندازه‌گیری مشخصه ولتاژ-جریان از دستگاه Keithley 2400 و برای اندازه‌گیری طیف الکترومینیسانس از دستگاه طیف‌سنج Ocean Optics، مدل HR4000 استفاده کردیم. در این بررسی برای تخمین طول عمر دیود تغییرات شدت طیف تابشی در طول زمان را بررسی نموده‌ایم.

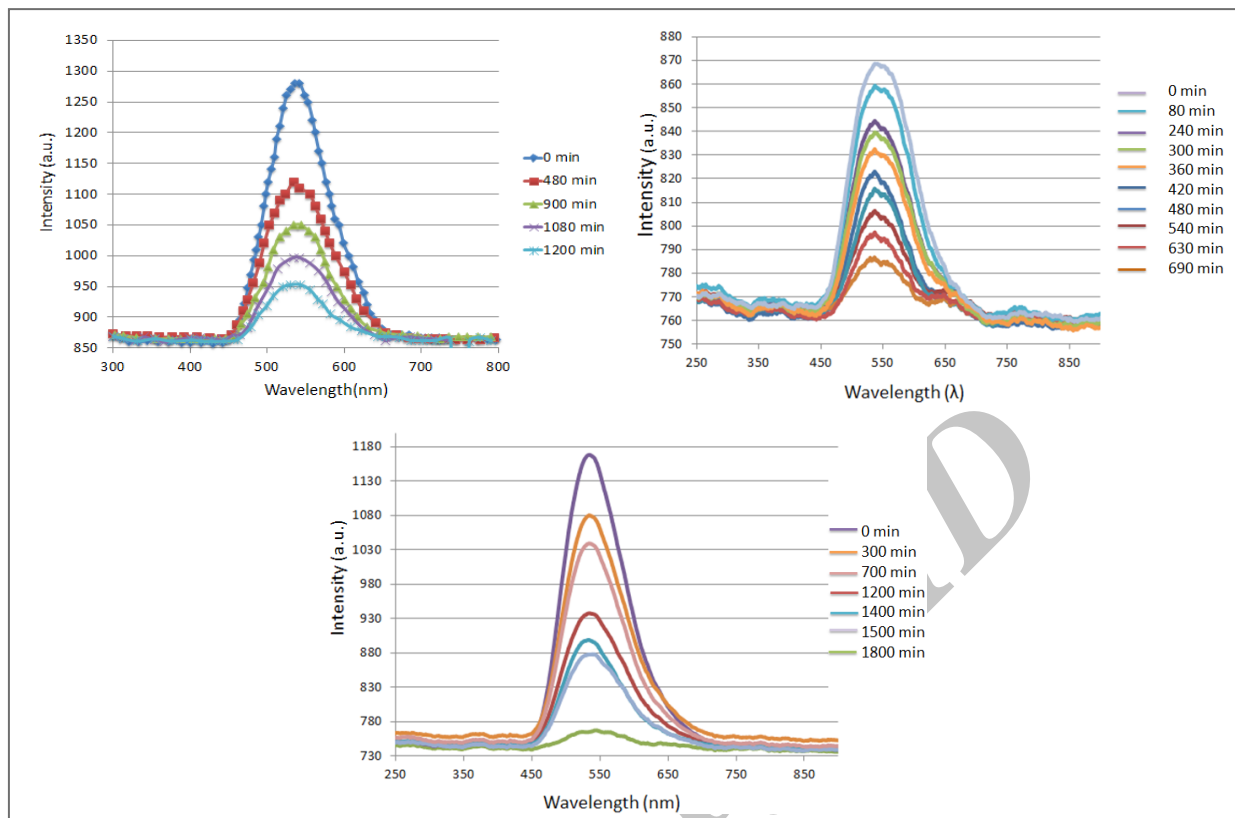
۳-۱- بررسی دیود نورگسیل سبز

۳-۱-۱- بررسی مشخصه ولتاژ-جریان:

می‌توان برای محاسبه تخمین طول عمر تغییر جریان دیود را به ازای ولتاژ ثابت در طول زمان در نظر گرفت. لذا تغییرات منحنی ولتاژ-جریان دیودهای نورگسیل آلی ساخته شده را در طول زمان بررسی کردیم. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود به ازای ولتاژ ثابت در هر سه نمونه مقدار جریان با گذشت زمان کاهش و ولتاژ راه‌انداز دیودها با گذشت زمان افزایش یافته است. بر این اساس منحنی تغییرات جریان بر حسب زمان را برای سه نمونه دیود به ازای ولتاژ ثابت رسم کردیم. بر اساس داده‌ها نیمه عمر دیودهای D1، D2 و D3 به ترتیب 140، 720 و 900 دقیقه تخمین زده شد. همان‌طور که در شکل ۳ تغییرات جریان بر حسب زمان دیده می‌شود، در نمونه‌ای که فقط از YF_3 جهت کپسوله کردن استفاده کردیم تغییرات جریان در طول زمان بسیار کندتر و یکنواخت‌تر است.



شکل ۳: تغییرات جریان بر حسب ولتاژ در زمان‌های مختلف برای سه نمونه دیود ساخته شده D1، D2، D3 و منحنی تغییرات جریان بر حسب زمان در یک ولتاژ معین برای سه نمونه ساخته شده



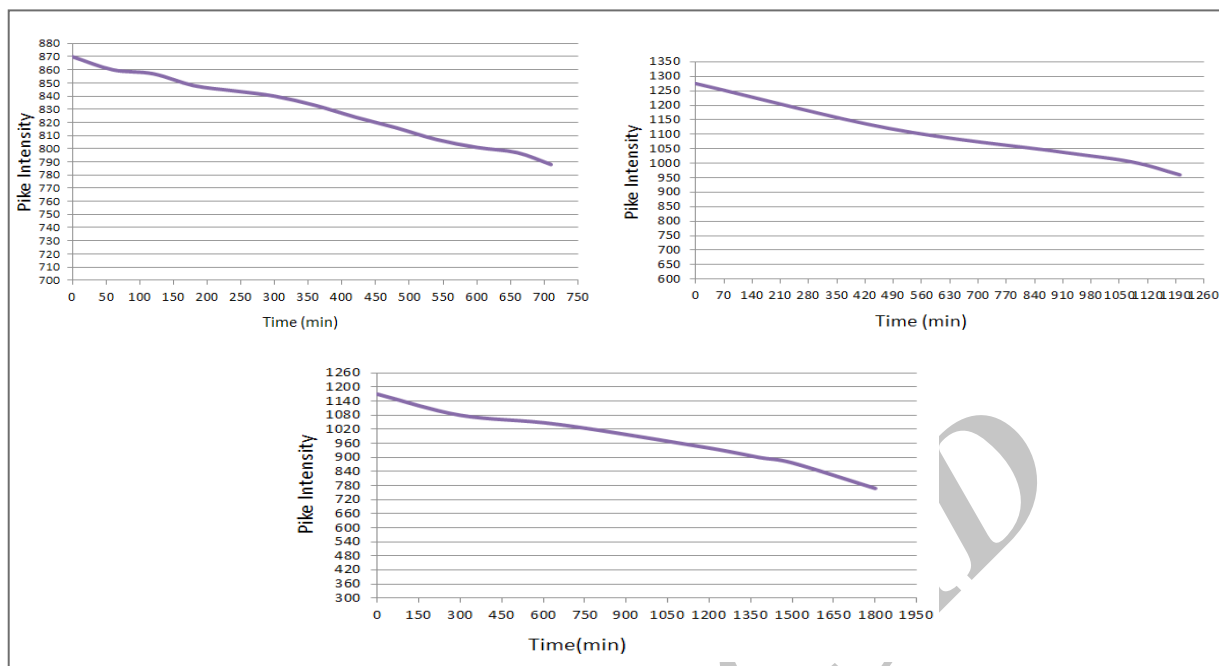
شکل ۴: تغییرات طیف الکترومینیسانس برحسب زمان برای سه ساختار D_۱، D_۲، و D_۳

۲-۱-۳ بررسی مشخصه‌ی طیف الکترومینیسانس و منحنی مشخصه طول عمر دیودها:

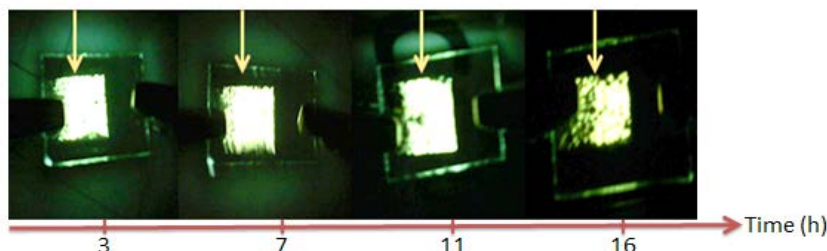
تغییر در طیف الکترومینیسانس نمونه‌های ساخته شده در زمان‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم بیشینه نمودارها همه در ۵۴۰ nm و در محدوده‌ی طیف سبز است که ناشی از ماده گسیلنده Alq_۳ است. از تغییرات ماکزیمم منحنی طیف الکترومینیسانس نمونه‌ها برحسب زمان می‌توان به عنوان شاخصی برای تخمین طول عمر دیود نام برد. لذا بر اساس تغییرات طیف تابشی در طول زمان طول عمر نمونه‌ها را به صورت تغییر ماکزیمم طیف الکترومینیسانس بر حسب زمان تخمین زده‌ایم.

تغییرات خروجی نمونه‌ی D_۱ را برای مدت ۱۲ ساعت بررسی کردیم و با توجه به شکل طول عمر این نمونه در حدود ۵۰۰ دقیقه تخمین زده شد. نمونه‌ی D_۲ را برای مدت ۲۰ ساعت بررسی کردیم و بر اساس شکل طول عمر این نمونه را بعد از کپسوله شدن در حدود ۷۵۰ دقیقه تخمین زدیم. برای نمونه‌ی D_۳ تغییرات طیف الکترومینیسانس را برای مدت ۲۴ ساعت بررسی کردیم و طول عمر تخمین زده شده بر اساس نمودار در حدود ۱۲۰۰ دقیقه است. از مقایسه‌ی داده‌ها به خوبی قابل مشاهده است که نمونه‌ها بعد از کپسوله شدن دارای طول عمر بیشتری هستند. گرچه نمونه‌های کپسوله شده با یک لایه YF_۳ به دلیل دارا بودن خواص نظیر مقاومت بالا در مقابل نفوذ بخار آب و اکسیژن و همچنین سختی و مقاومت بالا در مقابل حرارت و شوک مکانیکی برای کپسوله کردن نمونه‌ها مناسب‌تر به نظر می‌رسد لکن با مقایسه‌ی نمونه‌های D_۲ و D_۳، نمونه‌های D_۳ کارایی بیشتری از نظر افزایش طول عمر دیود نشان می‌دهند که می‌توان آن را نتیجه‌ی خواص فیزیکی ویژه ZnS دانست. ویژگی‌هایی نظیر پهنای گاف انرژی بالا، ضریب بازتاب بالا و همچنین عبور نور در ناحیه‌ی مرئی، که ویژگی‌ی اخیر مشکل دیودهای نور گسیل از بالا را نیز برطرف می‌کند. تغییرات خروجی دیودها بر حسب زمان به ازا و ولتاژ ثابت ۸ ولت در شکل ۵ رسم شده است. اندازه‌گیری‌ها تا وقتی که بیشینه شدت طیف خروجی دیودها به نصف مقدار اولیه خود برسند صورت گرفته است. اندازه‌گیری‌ها با تقریب خوبی با نتایج به دست آمده در بخش قبل موافقت دارد.

شکل ۶ تغییرات درخشندگی نمونه‌ای از دیود نورگسیل نور سبز را در طول زمان نشان می‌دهد. با گذشت زمان شاهد ظهور لکه‌های تیره بر روی سطح دیود هستیم. بخش کپسوله شده در تصویر با فلش جدا شده است. به وضوح آشکار است بعد از گذشت زمان در بخش کپسوله شده نقاط تیره‌ی کمتری ظاهر شده است و شدت تابش سطح بسیار بالاتر است.



شکل ۵: نمودار طول عمر نمونه‌های D₁، D₂، و D بر اساس تغییرات طیف الکترومینیانس بر حسب زمان



شکل ۶: تغییر در یک نمونه از دیویدهای ساخته شده در طول زمان از چپ به راست (سمت راست سطح نمونه از محلی که با فلش نشان داده شده است کپسوله شده است). نقاط تیره بر روی سطح در سمت چپ محل نشان داده شده بسیار بیشتر است و شدت طیف تابشی آن نیز کمتر است.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سه نمونه دیود نورگسیل سبز ساختیم و آن‌ها را مشخصه‌یابی نمودیم. همچنین طول عمر این سه دیود نورگسیل آلی نور سبز را تخمین زدیم. روش کپسوله کردن این دیودها را با استفاده از لایه نازک و با استفاده از دستگاه تبخیر حرارتی بررسی کردیم. با توجه به نوع لایه‌ها نشان دادیم که لایه ترکیبی ZnS/YF_۳ مقاومت خوبی در مقابل نفوذ رطوبت و اکسیژن دارد. علاوه بر این بهبود قابل توجهی در طول عمر دیود کپسوله شده با دولایه‌ای ترکیبی ZnS/YF_۳ در مقایسه با دیودهای کپسوله شده تک لایه توسط YF_۳ مشاهده شد. نیمه عمر دیود برای این نمونه‌ها در ولتاژ ثابت ۸ ولت اندازه‌گیری شد و بر این اساس طول عمر دیودها به ترتیب حدود ۳۰ و ۲۰ ساعت تخمین زده شد. بنابراین این لایه ترکیبی شفاف و یکنواخت با مقاومت مناسب در مقابل نفوذ هوا، کارایی بالایی برای کپسوله کردن دیودهای نور گسیل از بالا و دیودهای انعطاف پذیر دارا است که علاوه بر امکان گذار مناسب در ناحیه مرئی روش ساخت ساده‌ای نیز دارد.

۵- تشکر و قدردانی

مولفین از همکاری جناب آقای دکتر حمید رضا فلاح و کمک‌های پرسنل آزمایشگاه تحقیقاتی لایه‌های نازک گروه فیزیک دانشگاه اصفهان در ساخت بعضی از نمونه‌ها تشکر و قدردانی می‌نمایند.



phenothiazine-based derivative”, *Synthetic Metals* 157 427–431(2007).

11. N. Agarwal, P. K. Nayaka, F. Ali, M. P. Patankarb, K.L. Narasimhanb, N. Periasamy, “Tuning of HOMO levels of carbazole derivatives: New molecules for blue OLED”, *Synthetic Metals* 161 466–473(2011).
12. H. H. Sung, I. H. Kim, K. N. Byun, H. S. Yoo, “Characterization of new red dopants for red color OLED”, *Current Applied Physics* 5 345–347 (2005).
13. J. Zhang, F. Liu, Y. Liu, H. Wuc, W. Zhu, W. Wua, L. Wua, “Life prediction for white OLED based on LSM under lognormal distribution”, *Solid-State Electronics* 75 102–106 (2012).
14. M. Neghabi, A. Behjat, “Electical and electroluminescence properties of ITO/PEDOT:PSS/TPD:Alq3:C60/Al organic light emitting diodes”, *Current Applied Physics*, 1-5 (2011) .
15. M. Neghabi, A. behjat, B. B. F. Mirjalili, L. Zamani, “Improvement of performance of tetraphenylprophyrin-based red organic light emitting diodes using WO₃ and C60 buffer laers”, *Current Applide Physics* 13 302-306 (2013).
16. P.E. Burrows, V. Bulovic, S.R. Forrest, L.S. Sapochack, D.M. McCarty, M.E. Thompson, “Reliability and degradation of organic light emitting devices” *Appl. Physics. Lett.* 65 2922-2924 (1994).
17. J. McElvain, H. Antoniadis, M.R. Hueschen, J.N. Miller, D.M. Roitman, J.R. Sheats, R.L. Moon, “Formation and growth of black spots in organic light-emitting diodes”, *J. Appl. Phys.* 80 6002-6008(1996).
18. T. Harvey, S.Q. Shi, F. So, “Passivated organic devices”, U.S. Patent No. 5686360, (1997).
19. T. Maindron, J.Y. Simon, E. Viasnoff, D Lafond, “Stability of 8-hydroxyquinoline aluminum films encapsulated by a single Al₂O₃ barrier deposited by low temperature atomic layer deposition ”, *Thin Solid Films* 520 6876–6881(2012).
20. G. Oreskia, G.M. Wallnera, “Delamination behaviour of multi-layer films for PV encapsulation”, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 89 139–151(2005).
1. S. K. Kim, T. G. Chung, D. H. Chung, H. S. Lee, M. J. Song, J. W. Park, J. U. Lee, T. W. Kim, “Improvement of efficiency in organic light-emitting diodes using PVK and CuPc buffer layer”, *Optical Materials* 21 159–164(2002).
2. L. Wena, F. Li, J. Xie, C.Wua, Y.Zheng, D.Chen, S.Xu , T. Guo, B. Qub, Z.Chen, Q.Gong, “Electroplex emission at PVK/Bphen interface for application in white organic light-emitting diodes”, *Journal of Luminescence* 131 2252–2254 (2011).
3. S. M. Jeonga, D. Y. Leea, W. H. Kooa, S. H. Choia, H. K. Baika, S. J. Leeb, K. M. Song, “Improved stability of organic light-emitting diode with aluminum cathodes prepared by ion beam assisted deposition”, *Science and Technology of Advanced Materials* 6 97–102(2005).
4. B. J. Huang, C. W. Tang, “Thermal–electrical–luminous model of multi-chip polychromatic LED luminaire”, *Applied Thermal Engineering* 29 3366–3373(2009).
5. C. W. Tang, and S. A. VanSlyke, “Organic electroluminescent diodes”, *Appl. Phys. Lett.*, 51, 913–915, (1987).
6. L.Y. bing, “On Thermal Structure Optimization of a Power LED Lighting”, *Procedia Engineering* 29 2765 – 2769 (2012).
7. S. Nakamura, “GaN and related Materials”, Gordon and Breach, p. 471, New York, (1997).
8. Y. Liao, F. Yu, L. Long, B. Wei, L. Lu, J. Zhang, “Low-cost and reliable thin film encapsulation for organic light emitting diodes using magnesium fluoride and zinc sulfide”, *Thin Solid Films* 519 2344–2348(2011).
9. C.J. Huang , T.H. Meen , S.L. Wuc, C.C. Kang, “Improvement of color purity and electrical characteristics by co-doping method for flexible red-light organic light emitting devices” *Displays* 30 (2009) 164–169.
10. H. Caoa, Z. Chena, Y. Liu, B. Qua, S. Xub, S. Caob, Z. Lana, Z. Wang, Q. Gong, “Undoped yellow-emitting organic light-emitting diodes from a



24. N. Kim; "Fabrication and Characterization Of Thin-Film Encapsulation For Organic Electronic", Georgia Institute of Technology, December (2009).
25. Y. G. Lee, Y.H. Choi, I. S.Kee, H. S. Shim, Y. W. Jin ,S. Lee, K. H. Koh, S. Lee, "Thin-film encapsulation of top-emission organic light-emitting devices with polyurea/Al₂O₃ hybrid multi-layers", Organic Electronics 10 1352–1355(2009).
26. G. H. Kim, J. Oh, Y. S. Yang, L.M. Do, K. S.Suh, "Encapsulation of organic light-emitting devices by means of photopolymerized polyacrylate films", Polymer 45 1879–1883(2004).
21. H. Ham, J. Park, Y. Kim, "Thermal and barrier properties of liquid getter-filled encapsulations for OLEDs", Organic Electronics 12 2174–2179 (2011) .
22. G. Dennler ,C. Lungenschmied, H. Neugebauer, N.S. Sariciftci, M. Latre`che , G. Czeremuszkin, M.R. Wertheimer, "A new encapsulation solution for flexible organic solar cells", Thin Solid Films 511 – 512 349 – 353 (2006).
23. S. Cheylan, D.S. Ghosh, D. Krautz, T.L. Chen, V. Pruneri, "Organic light-emitting diode with indium-free metallic bilayer as transparent anode", Organic Electronics 12 818–822 (2011).

Archive of SID