

ساخت دیود نورگسیل آلی با دوپ نیلی رد در کمپلکس آلومینیوم

محمد جانقوری، عزالدین مهاجرانی

دانشگاه شهید بهشتی پژوهشکده لیزر و پلاسما

تهران، ایران

m_janghoori@yahoo.com

ساخت نمایشگرها و لامپ‌های فوق کم مصرف مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. به تازگی نمایشگرهای رنگی با اندازه کوچک (مانند گوشی‌های همراه) که بر پایه دیودهای نورگسیل قرار گرفته‌اند وارد بازارهای تجاری شده‌اند. یکی از جذابیت‌های اصلی این تکنولوژی، تولید نورگسیلی مناسب در تمامی رنگها در یک ساختار OLED می‌باشد. این نورگسیلی از فروافت تابشی حالت‌های برانگیخته الکتریکی در مولکولهای -مزدوج بدست می‌آید. در چند سال اخیر شاهد هستیم که اندازه نمایشگرهای OLED بزرگتر شده و در آینده نزدیک می‌توانیم نمایشگرهای بزرگ OLED را بصورت تجاری داشته باشیم.

در قرن‌های گذشته تلاشهای بسیاری برای توسعه گونه‌های مختلفی از منابع نوری مانند لامپ‌های گازی، لامپ‌های الکتریکی، لامپ‌های فلوروسنت، لامپ‌های نئون، تیوب‌های پرتو-کاتد، دیودهای نور گسیل غیرآلی و لیزرهای نیم‌رسانا انجام شده است. هر کدام از منابع نوری بر پایه مکانیسم ساده‌ای طراحی شده‌اند. برای مثال لامپ‌های رشته‌ای بر پایه گسیل تابش جسم سیاه بر اثر دمای بسیار بالای رشته سیم تنگستن ساخته شده‌اند. نور گسیل شده از حالت‌های برانگیخته اتمی یا جامدهای غیرآلی یکی دیگر از مکانیسم‌های تولید نور است. در مقابل، تنوعی از رنگها در گونه‌های زنده بر پایه بازتاب و عبور قرار گرفته‌اند. این بازتاب و عبور بدلیل انتقال از یک حالت تحریک شده به حالت پایه ترازهای الکتریکی مولکولها بوجود می‌آید. حیوانات و پرندگان زیادی مانند کرم شب‌تاب و ماهی فانوسی وجود دارند که قابلیت گسیل نور پیوسته را دارند و بنابراین در تاریکی کامل قابل رؤیت هستند. در انتهای قرن بیستم با تکنولوژی OLED یک مدل مصنوعی از نوری که موجودات زنده تولید می‌کنند توانست بطور موفقیت آمیز ثبت شود. [۱-۵].

چکیده — یک روش جدید لایه‌نشانی به منظور کنترل خلوص طیفی در دیودهای نورگسیل آلی با استفاده از منبع تبخیر تک بوته‌ای توسعه داده شد. دیود نورگسیل آلی با دوپ کردن رنگینه نارنجی نیلی رد در کمپلکس فلزی Alq₃ ساخته شد. مخلوط Alq₃ و نیلی رد با استفاده از یک منبع تبخیر با نرخ تبخیرهای مختلف لایه‌نشانی شد. دمای تبخیر و انتقال انرژی و ترابرد بار از مهمترین ویژگی‌های موفقیت آمیز بودن این روش می‌باشد. کاهش ولتاژ کاری دیود، افزایش روشنایی، شعاع انتقال انرژی فرستر کم، آسان بودن لایه‌نشانی با این روش، تنظیم کردن طول موج، انتقال انرژی و ترابرد بار با کنترل خیلی آسان نرخ تبخیر لایه‌نشانی و تشکیل فیلم با کیفیت بهتر برای مساحت‌های بزرگ، هزینه پایین لایه‌نشانی و جلوگیری از اتلاف رنگی، از مزایای این روش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی — منبع تبخیر تک بوته‌ای؛ دیود نورگسیل آلی؛ ولتاژ کاری دیود؛ روشنایی؛ طول موج؛ دمای تبخیر و انتقال انرژی

۱. مقدمه

دیودهای نور گسیل آلی از منابع نور جدید و جالب مطرح در صنعت نور هستند که بخش عمده‌ای از نور گسیلی آینده را در نمایشگرها و منابع نور روشنایی بر عهده خواهند گرفت. ساختار یک دیود نور گسیل در حالت کلی شامل لایه‌های مواد آلی و یا پلیمری است که به طور متوالی بر روی هم و بین دو لایه رسانا که حداقل یکی از آنها شفاف است لایه‌نشانی شده است. وقتی ولتاژ بایاس مناسبی روی وسیله اعمال شود حفره‌ها از آند و الکترون‌ها از کاتد به داخل لایه‌ها تزریق می‌شوند. تعدادی از الکترون‌ها و حفره‌ها طی این فرآیند در لایه نور گسیل ترکیب می‌شوند و تولید نور الکترومغناطیسی می‌کنند. در سالهای اخیر استفاده از مواد نیم‌رسانای آلی در

با Alq₃ در داخل حلال دی کلرومتان به صورت محلول در شیشه پنی سیل آماده می‌شود و در دستگاه آلتراسونیک بمدت ۳۰ دقیقه گذاشته می‌شود تا مواد به طور کامل داخل هم حل شوند. در ادامه محلول همگن در داخل شیشه کوارتز ریخته می‌شود و سپس در داخل آون در دمای ۴۰ درجه سلسیوس قرار داده می‌شود تا حلال بطور کامل تبخیر شود و مخلوط همگنی از Alq₃ و نیلی رد در ته ظرف باقی بماند. در این مرحله ماده مورد نظر را در داخل بوتله تنگستن داخل محفظه لایه‌نشانی قرار دادیم تا آماده لایه نشانی باشد بعد محفظه لایه نشانی را به خلا 10^{-5} رساندیم و با روش تبخیر حرارتی ماده را بر روی زیر لایه، لایه نشانی کردیم این کار را برای دیگر غلظت‌ها نیز انجام دادیم ضخامت لایه مورد نظر برابر ۴۵ نانومتر بود در مرحله آخر لایه Al به عنوان کاتد فلزی بر روی نمونه‌ها لایه نشانی شد. پس از اتمام لایه نشانی، محفظه را با گاز آرگون پر کردیم تا نمونه‌ها در حضور گاز بی اثر سرد شود تا از اکسید شدن بیشتر نمونه‌های ساخته شده جلوگیری شود. طیف الکترومینسانس (EL) و فوتولومینسانس (PL) باطیف سنج USB2000 بدست آمد. طیف جذبی با طیف سنج HR4000 گرفته شده است. اندازه‌گیری مشخصه الکتریکی با دستگاه کیتلی مدل ۲۴۰۰ انجام شد. لایه‌های مورد استفاده طبق جدول ۱-۱ لایه‌نشانی شده‌اند. شکل ۱-۱ لایه نشانی کلاسیک (چپ) و لایه نشانی جدید(راست) را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱. ساختار قطعات ساخته شده.

شماره	ساختار
۱	ITO/PEDOT:PSS(50 nm)/PVK (60 nm)/نیلی رد/Alq ₃ (45 nm)/1/Al (180 nm)
۲	ITO/PEDOT:PSS(50 nm)/PVK (60 nm)/نیلی رد/Alq ₃ (45 nm)/3/Al (180 nm)
۳	ITO/PEDOT:PSS(50 nm)/PVK (60 nm)/نیلی رد/Alq ₃ (45 nm)/5/Al (180 nm)

۲.۳. نتایج

هدف اصلی از انجام آزمایش، بهبود روش جدید لایه نشانی تبخیری برای دوپ کردن با یک بوتله تبخیر برای تشکیل لایه نورگسیل آلی در ساخت دیود نورگسیل آلی می‌باشد. با توجه به روش آزمایش به جای استفاده از دو بوتله جدا برای هر ماده، مخلوطی از این مواد با نسبت‌های متفاوت در داخل یک بوتله برای تبخیر بکاربرده شد. نتایج مربوط به ترتیب شامل طیف جذبی نیلی رد و فوتولومینسانس Alq₃، طیف الکترومینسانس، و مشخصه الکتریکی برای هر ۳ غلظت مختلف می‌باشد. شکل ۱-۱ لایه نشانی برای ساخت دیود آلی را نشان می‌دهد.

تاکنون دوپ مواد در دیودهای آلی با استفاده از منبع تبخیر دو بوتله ای انجام می‌شد [۶]. عدم کنترل نرخ تبخیر لایه‌نشانی، ناهمگن بودن فیلم تشکیل شده برای زیرلایه‌های بزرگ، انتقال انرژی کم برای مساحت‌های بزرگ زیر لایه، دشوار بودن تبخیر همزمان بوتله‌های مختلف و هزینه بالای این روش از جمله معایب این روش می‌باشد.

هدف اصلی از انجام این تحقیق، بهبود روش جدید لایه‌نشانی تبخیری برای دوپ کردن با یک بوتله تبخیر برای تشکیل لایه نورگسیل آلی در ساخت دیود نورگسیل آلی می‌باشد. با توجه به روش آزمایش به جای استفاده از دو بوتله جدا برای هر ماده، مخلوطی از این مواد با نرخ‌های تبخیر مختلف لایه نشانی شده‌اند.

۲. مواد و روش آزمایش

۲.۱. مواد

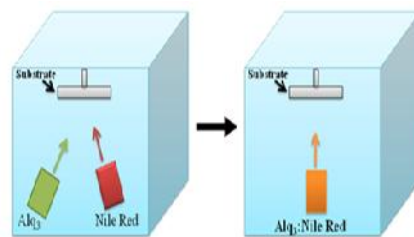
مواد Alq₃، PVK، PEDOT:PSS و نیلی رد از شرکت سیکما آلدريج به منظور استفاده در ساختار دیود آلی تهیه شده‌اند.

۲.۲. روش آزمایش

در این آزمایش ابتدا زیر لایه های ITO بترتیب با آب صابون، آب مقطع، استون، دی کلرومتان، دی کلرواتان و متانول در دستگاه آلتراسونیک شستشو داده شدند. سپس لایه تزریق کننده حفره، PEDOT:PSS ((poly(3,4-ethylenedi-oxythiophene):poly(styrenesulfonate

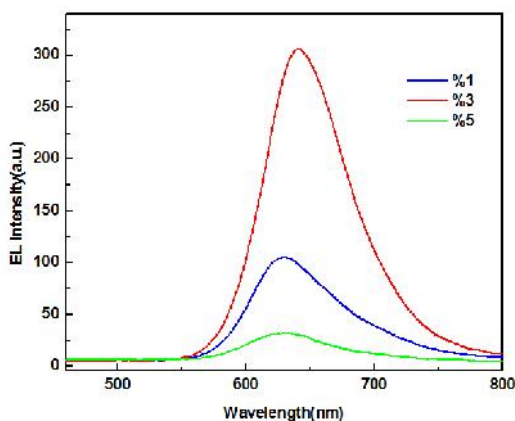
به روش لایه نشانی پلیمری با دستگاه spin-coat و ضخامت سنج DekTak 8000 برای ضخامت ۵۰ نانومتر کالیبره شد. پس از کالیبراسیون، PEDOT:PSS بر روی زیرلایه های ITO لایه نشانی و به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد در oven پخته شد تا زبری سطح کاهش یابد. در مرحله دوم ساخت قطعه، پلیمر PVK در حلال دی کلرومتان حل شد و محلول مورد نظر در داخل آلتراسونیک قرار گرفت تا پلیمر مورد نظر در داخل حلال به خوبی حل شود سپس این محلول آماده همانند روش کالیبراسیون PEDOT:PSS برای ضخامت ۶۰ نانومتر کالیبره شد. بعد از کالیبراسیون محلول را بر روی نمونه که از آون بیرون آورده شده و سرد شده لایه نشانی می‌کنیم و سپس نمونه‌ها را به مدت ۱ ساعت در آون در دمای C120 قرار می‌دهیم تا ناهمواری سطح کم شود. مرحله بعد آماده سازی لایه نورگسیل است که در این مرحله غلظت‌های متفاوت از نیلی رد

الکترون-حفره در نیلی رد بازترکیب می‌شوند و در نتیجه در طیف الکترومینیسانس شاهد گسیل نیلی رد می‌باشیم. مسئله حائز اهمیت دیگر که باید به آن اشاره کرد این است که انتقال انرژی فورستر به خوبی برای درصدهای مختلف اتفاق افتاده است. یکی از شرط‌های لازم برای انتقال انرژی فورستر خوب، همگنی ماده دوپ شده در محیط میزبان می‌باشد. با توجه به انتقال انرژی فورستر خوب در این آزمایش می‌توان این تحلیل را بیان کرد که در این روش دوپ کردن، همگنی ماده دوپ شده در داخل ماده میزبان بالا است. قطعه ۱ (جدول ۱-۱) نرخ بازترکیب تابشی را به خاطر به تعادل رساندن الکترون و حفره افزایش می‌دهد. بنابراین یک درصد موثر با گسیل در ۶۴۰ نانومتر وجود دارد. رفتار الکترواپتیکی دیودهای نورگسیل آلی تحت تاثیر درصد مخلوط Alq_3 و نیلی رد در فیلم لایه‌نشانی شده می‌باشد. بیشترین شدت را در غلظت ۳ درصد رنگینه در محیط میزبان داریم در غلظت‌های بالاتر به دلیل افزایش غلظت رنگینه فرآیند خود جذب اتفاق می‌افتد [۸] و نور گسیل شده از رنگینه، باز توسط رنگینه جذب می‌شود و در نهایت از تعداد مولکولهای کمتری از رنگینه گسیل را شاهد خواهیم بود. از طرفی با افزایش مقدار رنگینه فیلمی با کیفیت نامناسب تشکیل می‌شود زیرا پیوندهای ضعیف و اندروالس بین رنگینه‌ها، منجر به کاهش پیوستگی فیلم و کاهش میزان رسانندگی آن می‌شود که در نهایت باعث افزایش دمای نمونه و دوام کمتر برای آن نمونه شاهد خواهیم بود.



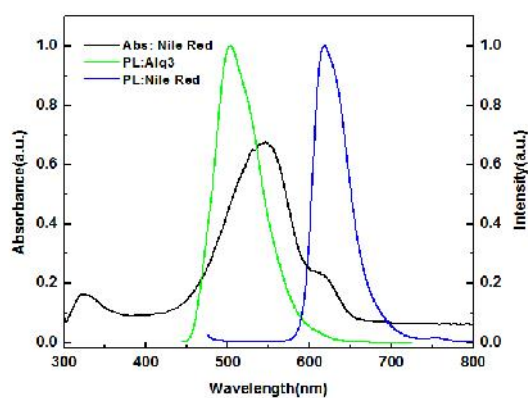
شکل ۱-۱. دیود نورگسیل آلی فیلم ساخته شده از مخلوط Alq_3 و نیلی رد. راست) لایه نشانی جدید چپ) لایه نشانی کلاسیک.

شکل ۲-۱ همپوشانی طیفی مواد را نشان می‌دهد. پیک گسیل برای Alq_3 در ۵۱۵ نانومتر قرار دارد و پیک گسیل برای نیلی رد در ۶۳۸ نانومتر قرار دارد. وجود همپوشانی بین طیف فوتولومینسانس ماده میزبان با طیف جذبی ماده میهمان شرط لازم برای انتقال انرژی فورستر می‌باشد. به همین خاطر از Alq_3 به عنوان محیط میزبان برای نیلی رد استفاده شده است تا باعث انتقال مناسب اکسایتون از میزبان به ماده رنگینه شود و در نتیجه شدت الکترومینیسانسی مربوط به رنگینه در قطعه ساخته شده نسبت به خود ماده میزبان بیشتر باشد. که ایده آل ترین حالت زمانی اتفاق می‌افتد که تمامی اکسایتون های تولید شده در محیط میزبان تحت فرآیند انتقال انرژی فورستر بتوانند به رنگینه انتقال پیدا کنند [۷].



شکل ۳-۱. طیف الکترومینیسانس مخلوط Alq_3 و نیلی رد به ازای درصدهای مختلف.

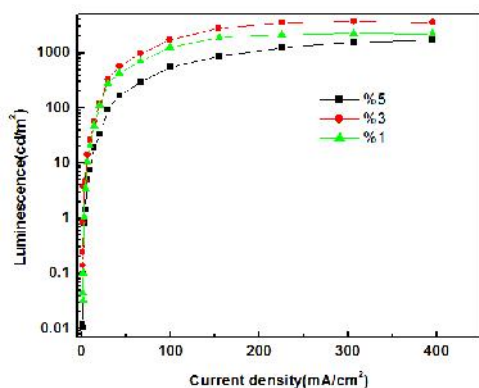
در شکل ۴-۱ تغییرات چگالی جریان برحسب ولتاژ نشان داده شده است. برای یک ولتاژ مشخص چگالی جریان روند افزایشی با کاهش غلظت TPP دوپ شده در داخل Alq_3 دارد از آنجایی که نیلی رد انتقال دهنده



شکل ۲-۲. طیف نشر Alq_3 ، نیلی رد و طیف جذب نیلی رد.

شکل ۳-۱ مشخصات الکترومینیسانس را برای درصدهای مختلف نیلی رد را نشان می‌دهد. پیداست در شکل ۳-۱ طیف گسیلی مربوط به نیلی رد فقط قابل مشاهده شد البته برای ۳٪ شدت گسیل و جابه‌جایی به سمت قرمز بیشتر از بقیه می‌باشد وجود این طیف برای نسبت ۳٪ را می‌توان به اشباع شدن رنگینه و قابلیت پذیرش بیشتر اکسایتون از Alq_3 توسط نیلی رد نسبت داد و در واقع قسمت بیشتری از اکسایتونهای تولید شده توسط جفت

ولتاژ کاری برای ۳ درصد ۸.۳ ولت می باشد. شکل ۱-۵ تغییرات روشنایی -چگالی جریان را نشان می دهد. در یک چگالی جریان ثابت روشنایی قطعه ۳ درصد بیشتر از بقیه درصدها می باشد. ماکسیمم روشنایی نزدیک ۱۰۰۰ شمع بر متر مربع می باشد. در یک چگالی جریان ثابت، روشنایی برای دیود آلی با ۵ درصد کمتر از بقیه دیوهای آلی می باشد. چون با افزایش درصد نیلی رد تعداد تله ها افزایش یافته و این منجر به افزایش ولتاژ کاری و کاهش روشنایی می شود.



شکل ۱-۵. تغییرات روشنایی -چگالی جریان.

منابع

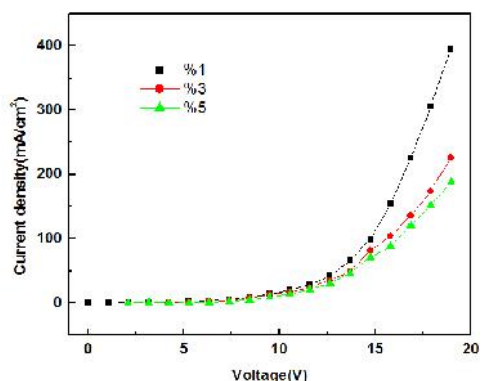
- [1] B. W. D'andrade, S. R. Forrest, Adv. Mater. 16 (2004) 1585.
- [2] C. Adachi, M. A. Baldo, M. E. Thompson, S. R. Forrest, J. Appl. Phys. 90 (2001) 5048.
- [3] X. H. Yang, D. C. Muller, D. Neher, K. Meerholz, Adv. Mater. 18 (2006) 948.
- [4] S. H. Eom, Y. Zheng, E. Wrzesniewski, J. Lee, N. Chopra, F. So, J. Xue, Org. Electron. 10 (2009) 686.
- [5] J. S. Huang, T. Watanabe, K. Ueno, Y. Yang, Adv. Mater. 19 (2007) 739.
- [6] L. J. Zhua, J. Wanga, T. G. Renga, C. Y. Li, D. C. Guoa and C. C. Guoa. J. Phys. Org. Chem. 23 (2010) 190.
- [7] F. Jaiser, D. Neher, A. Meisel, H.G. Nothofer, T. Miteva, A. Herrmann, K. Müllen, U. Scherf, J.Chem. Phys. 129 (2008) 114901.
- [8] T.W Canzler, J Kido, Organic Electronics 7 (2006) 29.

الکترون خوبی نیست یعنی تحرک پذیری الکترون در داخل ماده نیلی رد کم می باشد. یکی دیگر از دلایل استفاده از Alq_3 انتقال دهندگی الکترون بالا در آن است، که باعث شده از آن به عنوان محیط میزبان استفاده شود.

در کل می توان با توجه به مفهوم بار فضایی روند تغییرات مشخصه الکتریکی دیود نورگسیل آلی را به این صورت بیان کرد که در حالتی که Alq_3 به تنهایی لایه نورگسیل را تشکیل می دهد چون هیچ ناخالصی در آن وجود ندارد انتظار داریم که در مقایسه با حالتی که در آن ناخالصی در محیط وجود دارد که این ناخالصی ها حاملهای بار به تله می اندازند و باعث به وجود آمدن یک چگالی بار در لایه نور گسیل شده که خود مانع از تزریق بیشتر الکترون به داخل لایه می شود و همین عامل باعث کاهش جریان در قطعه می شود. پس با روند افزایش غلظت رنگینه در داخل Alq_3 این اثر تشدید پیدا می کند. و برای یک ولتاژ مشخص با افزایش غلظت، چگالی جریان کاهش می یابد.

البته در این روش انتخاب مواد برای مخلوط کردن اهمیت زیادی دارد زیرا دمای تبخیر برای دو ماده مورد نظر در لایه نشانی همزمان آنها تاثیر بسزایی دارد زیرا تفاوت فاحش بین دمای تبخیر نیلی رد و Alq_3 باعث می شود که هنگام تبخیر دو ماده در یک بوتله یکی از مواد با دمای تبخیر پایین تر قبل از اینکه تبخیر ماده دیگر با دمای تبخیر بالاتر شروع شود، تبخیر شده و عملاً فرآیند دوپ کردن به خوبی انجام نگیرد.

البته برای انتخاب گزینه مناسب برای لایه نشانی می توان دو عامل برای کمک در نظر گرفت اول جرم مولکولی و نیروی بین مولکولی است و دوم دمای تبخیر ماده مورد نظر بصورت تجربی می باشد. دلیل تفاوت بین دمای تبخیر ماده در حالت تنها با حالت مخلوط را می توان به تاثیر ماده اضافه شده بر روی نیروی بین مولکولی ماده مورد نظر نسبت داد.



شکل ۱-۴. تغییرات چگالی جریان-ولتاژ.