



## اثر ضخامت Alq3 بر عملکرد دیود نور گسیل آلی بر پایه MoO3 به عنوان لایه تزریق کننده حفره

سیدمحسن موسوی زاده<sup>۱</sup>، حمیدرضا فلاح<sup>۱</sup>، مرتضی حاجی محمودزاده<sup>۱</sup>، محسن قاسمی<sup>۲</sup>، مهدی زادسر<sup>۳</sup>

۱- گروه فیزیک دانشگاه اصفهان، اصفهان. ۲- گروه فیزیک دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

۳- گروه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد، نجف آباد

چکیده - در این مقاله با استفاده از MoO3 به عنوان لایه تزریق کننده حفره دیود نور گسیل آلی ساخته شده است. در این ساختار از ماده آلی Alq3 به عنوان لایه گسیلنده و NPB به عنوان لایه انتقال دهنده حفره استفاده شده است. با بررسی اثر ضخامت لایه Alq3 بر شدت نور تابشی و منحنی جریان-ولتاژ، دیده می شود که Alq3 به عنوان لایه انتقال دهنده الکترون نیز، در این ساختار عمل می کند. بدین ترتیب ضخامت بهینه برای این ساختار به دست آمده است.

کلید واژه- دیود نورگسیل آلی، لایه تزریق کننده حفره، لایه انتقال دهنده الکترون

## Effect of the thickness of Alq3 on the performance of OLED based on MoO3 as a hole injection layer

S.M.Moosavizade<sup>1</sup>, H.R.Fallah<sup>1</sup>, M.Hajmahmoodzade<sup>1</sup>, M.Ghasemi<sup>2</sup>, M.Zadsar<sup>3</sup>

1-Department of physics of Isfahan university, Isfahan. 2- Department of physics of shahrekord university, shahrekord

3- department of physics of Islamic Azad university, Najafabad

Abstract-In this paper OLED is fabricated by use of MoO3 as a hole injection layer. In this structure, Alq3 is used as a emitting layer and NPB as a hole transport layer. studding of the effect of the thickness of Alq3 on the characteristics of organic light emitting diodes, shows that Alq3 plays the role of electron transport layer too. there for we achieved a optimum thicknesss for Alq3.

Keywords: Organic light emitting diode, Hole injection layer ,electron transport layer

## ۱- مقدمه

در عصر حاضر که ارتباطات جایگاه ویژه ای را به خود اختصاص داده است، وسایل الکترونیکی ارتباطی از قبیل تلویزیون، موبایل، کامپیوتر و... نقش به سزایی را ایفا می کنند. از جمله موضوعاتی که در این گونه وسایل روز به روز مورد توجه بیشتری قرار می گیرند ساخت صفحه های نمایش باحجم، وزن و مصرف انرژی کمتر و کارایی بیشتر می باشد. اخیراً صنعت ساخت نمایشگرهای OLED به علت دارا بودن مزیت های زیادی به عنوان تکنولوژی برتر در این زمینه، بیشتر از بقیه مورد توجه قرار گرفته است.

با اینکه امروزه OLEDها کاربردهای عملی بسیاری در ساخت وسایل الکترواپتیکی دارند و همچنین با طول عمری در حدود ۱۰۰۰۰۰ ساعت تولید می شوند [۱] اما هنوز این صنعت در حد لازم رشد نکرده [۲]. بنابر این تلاش های علمی بیشتری مورد نیاز است تا طراحی و ساخت OLEDهایی با کارایی بیشتر صورت پذیرد.

از مهمترین عوامل موثر در عملکرد این وسایل انتخاب ماده آلی مناسب و همچنین ضخامت بهینه لایه های استفاده شده می باشد [۳]. معمولترین ماده انتقال دهنده حفره در OLEDها پلیمر آلی PEDOT:PSS می باشد [۴]. مزیت استفاده از این لایه این است که چون به صورت یک محلول پلیمری است، باروش ساده لایه نشانی چرخشی بر روی آند لایه نشانی می شود. همچنین چسبندگی این لایه بر روی سطح آند بسیار مناسب است به طوری که فرآیند تزریق حفره ها به خوبی صورت می گیرد. اما باید در نظر داشت که پلیمرهای رسانا، برای داشتن خاصیت رسانندگی باید اسیدی باشند که این می تواند باعث واکنش با مواد گسیلی و یا حتی سطح ITO شود. بنابراین ممکن است موجب کاهش طول عمر ساختار شود. در سالهای اخیر دسته دیگری از مواد یعنی اکسیدهای فلزی نظیر  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{MoO}_3$ ،  $\text{WO}_2$  به عنوان مواد تزریق کننده حفره در ساختار OLEDها مورد استفاده قرار گرفتند و موجب افزایش بازده وسیله شدند [۵]. علاوه بر این مزیت دیگر استفاده از این مواد آنست که به روش تبخیری لایه نشانی شده و ضخامت آن به میزان بیشتری نسبت به ماده PEDOT:PSS قابل کنترل می باشد. زیرا در لایه نشانی محلول پلیمری PEDOT:PSS که به صورت چرخشی

صورت می گیرد ضخامت را نمی توان با دقت زیادی تعیین کرد. همانطور که می دانیم تابش الکترومگنیتوسانس از یک دیود نور گسیل آلی ناشی از واهلش تابشی از اکسایتونهایی است که در حالت برانگیخته تکتابی قرار دارند. با توجه به اینکه تحرک پذیری مواد آلی برای حفره ها بیشتر است برای افزایش بازده عملکرد دیودها باید پرامترهایی که در ایجاد تعادل بین حامل ها و در نتیجه تشکیل اکسایتون ها موثر هستند، بهینه شوند. از جمله این پرامترها، ضخامت لایه های استفاده شده در دیود می باشد. در این مقاله دیود نور گسیل آلی سبز با ساختار ITO/MoO<sub>3</sub>/NPB/Alq<sub>3</sub>/LiF/Al استفاده از ماده MoO<sub>3</sub> به عنوان لایه تزریق کننده حفره ساخته شده است. همچنین اثر ضخامت ماده گسیلنده Alq<sub>3</sub> که به عنوان لایه تزریق کننده الکترون نیز عمل می کند [۶]، بر نمودارهای جریان-ولتاژ این دیود مورد بررسی قرار گرفته اند.

## ۲- بخش تجربی

مرحله اول سونش ITO می باشد. برای اینکار ITOهای مورد نظر را که دارای مقاومت سطح  $15 \Omega/\text{Sq}$  هستند با نوار چسب به گونه ای می پوشانیم که پس از سونش، قسمت باقیمانده ITO موجود بر روی زیر لایه شیشه ای بصورت T باشد. آنگاه آنها را به مدت ۱۵ دقیقه در محلول HCL قرار می دهیم. با توجه به اینکه ضخامت لایه ها در دیودهای نورگسیل آلی بسیار کم می باشد، تمیز کردن زیرلایه ها برای جلوگیری از تشکیل نقاط خاموشی و همچنین اتصال آند و کاتد بسیار اهمیت دارد. بنابر این ITOهای مورد نظر را ابتدا با آب و صابون شسته، سپس به ترتیب در حلالهای استون، اتانول، متانول، ایزوپروپیل، استون و در نهایت آب مقطر دوبار یونیزه شده در دستگاه آلتراسونیک به مدت ۲۰ دقیقه شستشو می دهیم. سرانجام زیر لایه ها با گاز نیتروژن خشک می شوند و به مدت ۱۰ دقیقه در معرض نور UV قرار می گیرند. شکل T برای سونش ITO به این خاطر استفاده می شود که از اثر لبه در لبه های ساختار، یعنی در محل اتصال لایه ITO و لایه کاتد جلوگیری به عمل آید. با این حال هنوز آن طرف ساختار که محل اتصال ITO و الکتروود می باشد، با این مشکل مواجه است. به همین خاطر به فاصله کمی از لبه مورد نظر، ITO را با نوار باریکی از لاک می پوشانیم تا

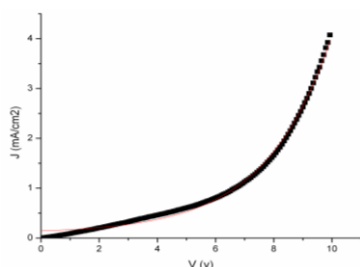
### ۳- نتایج آزمایش

تغییر ضخامت لایه‌ها در دیودهای نورگسیل آلی موجب تغییر در مشخصه‌های جریان-ولتاژ این وسایل می‌شود که مورد بحث قرار می‌گیرند. پس از خروج دیودهای نورگسیل از محفظه خلا با استفاده از دستگاه Keithly 2400 مشخصه‌های جریان-ولتاژ این دیودها اندازه‌گیری شدند. در شکل ۲ نمودارهای جریان-ولتاژ سه ساختار زیر آورده شده‌اند.

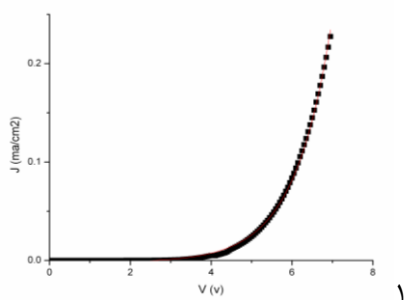
ITO/MoO<sub>3</sub>/NPB/Alq<sub>3</sub>(60 nm)/LiF/Al (۱)

ITO/MoO<sub>3</sub>/NPB/Alq<sub>3</sub>(70 nm)/LiF/Al (۲)

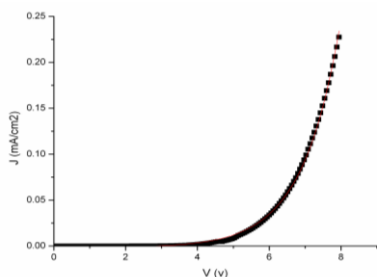
ITO/MoO<sub>3</sub>/NPB/Alq<sub>3</sub>(80 nm)/LiF/Al (۳)



شکل ۲-الف: نمودار ولتاژ-جریان ساختار

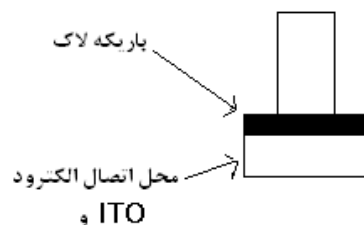


شکل ۲-ب: نمودار ولتاژ-جریان ساختار ۲



شکل ۲-ج: نمودار ولتاژ-جریان ساختار ۳

مانع از اتصال کاتد و ITO در این قسمت شویم. البته دقت لازم باید اعمال شود تا لاک به بخشهای دیگر ITO نفوذ نکند(شکل ۱).



شکل ۱: باریکه لاک برای جلوگیری از اتصال لایه کاتد و ITO. در نزدیکی محل اتصال ITO و الکترود قرار می‌گیرد.

اکنون زیرلایه‌ها برای لایه‌نشانی آماده شده‌اند. زیر لایه‌ها که ماسک‌گذاری شده‌اند به همراه بوته‌های حاوی مواد مورد نیاز برای لایه‌نشانی، در داخل محفظه خلا قرار داده می‌شوند. باید در نظر داشت که ماسک به گونه‌ای بر روی زیرلایه‌ها گذاشته می‌شود که لبه آن در وسط باریکه لاک قرار می‌گیرد تا مانع از تماس لایه کاتد و ITO شود. فاصله زیرلایه‌ها از بوته‌ها در حدود ۱۵ سانتی‌متر انتخاب می‌شوند. محفظه خلا توسط دو پمپ توربو و روتاری تا فشار  $5 \times 10^{-5} \text{ mb}$  می‌رسد. اولین لایه MoO<sub>3</sub> با ضخامت ۳۵ nm می‌باشد. این لایه به عنوان تزریق‌کننده حفره به کار می‌رود. لایه بعدی ماده آلی NPB با ضخامت ۵۰ nm می‌باشد که یکی از بهترین انتقال‌دهنده‌های حفره بکار رفته در ساختار OLEDها می‌باشد. سپس ماده آلی Alq<sub>3</sub> با ضخامت‌های ۶۰، ۷۰ و ۸۰ نانومتر در سه ساختار مختلف، لایه‌نشانی می‌شود. این ماده به عنوان گسیلنده خوب در ناحیه سبز طیف مرئی و همچنین لایه انتقال‌دهنده الکترون به کار می‌رود. برای جلوگیری از فعل و انفعالات شیمیایی بین لایه کاتد و ماده آلی مجاور و همچنین کاهش سد پتانسیل در فرآیند تزریق الکترون‌ها از کاتد به ناحیه فعال، در لایه بعدی از ماده LiF با ضخامت ۶ آنگستروم استفاده می‌شود. سرانجام ماده آلومینیوم به عنوان لایه کاتد با ضخامت ۱۵۰ nm لایه‌نشانی می‌گردد. به جز آلومینیوم که با سرعت بالا لایه‌نشانی می‌شود، سرعت لایه‌نشانی بقیه مواد به طور متوسط بین ۰/۲ تا ۰/۵ آنگستروم بر ثانیه می‌باشد.

با توجه به طیف اکترو لومینسانس و با توجه به این مطلب که یکی از ویژگیهای بسیار مهم دیودهای نور گسیل آلی داشتن ولتاژ راه انداز پایین می باشد به نظر می رسد برای این ساختار ضخامت بهینه ۷۰ nm باشد.

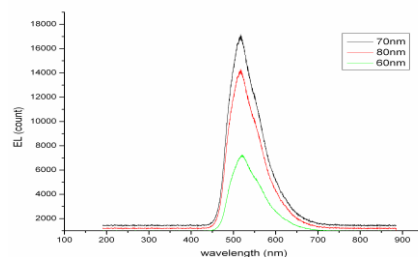
#### ۴-۴- نتیجه گیری

کاهش ضخامت لایه Alq3 باعث می شود تا به خاطر تفاوت در میزان تحرک پذیری حامل های بار و در نتیجه عدم تشکیل اکسایتونها به مقدار کافی، نور گسیل شده کاهش یابد. با افزایش ضخامت این لایه میزان تشکیل اکسایتونها افزایش می یابد. بنابراین می بینیم که Alq3 به عنوان لایه انتقال دهنده الکترون نیز عمل می کند. از طرفی افزایش لایه موجب جذب بیشتر نور گسیلی از خود لایه می شود. همچنین افزایش ضخامت باعث افزایش ولتاژ راه انداز ساختار می گردد.

#### ۵- مراجع

- [1] I. H. campbeel, B. K. crone, and D. L. smith, "physics of organic emitting diodes," *Semiconducting Polymers*, 421 (2007).
- [2] J. R. Sheats, " Manufacturing and Commercialization Issues," *Organic Electronics* **19**, 1974-1989 (2004).
- [3] F. C. Wang, S. Liu, H. L. Zhou, S. Sun, B. L. Q. and, and G. P. Ou, *Microelectron. J.* **37(9)**, 916-918 (2006).
- [4] F. Ely, C. O. Avavellana, P. Paredez, and V. C. Nogueira, "patterning quality control of inject printed PEDOT:PSS films by wetting properties " *Synthetic Metals* **161**, 2129-2134 (2011).
- [5] D. Z. B., D. X. M., L. S. T., and G. W. A., "Enhanced brightness and efficiency in organic electroluminescent devices using SiO<sub>2</sub> buffer layer," *Appl. Phys. Lett.* **74**, 2227-2229 (1999).
- [6] S. Nowy, *Understanding losses in OLEDs: optical device simulation and electrical characterization using impedance spectroscopy* (2010).

همانطور که در شکل پیداست در ولتاژهای پایین تر، در ساختاری که Alq3 دارای ضخامت ۶۰ nm می باشد نسبت به دو ساختار دیگر، جریان بیشتری عبور می کند. با توجه به این مطلب که میزان تحرک پذیری حفره ها در مواد آلی نسبت به الکترون ها بیشتر است، می توان گفت کم بودن ضخامت لایه Alq3 باعث می شود تا حامل های بار اکثریت (حفره ها) قبل از اینکه فرصت تشکیل اکسایتون با حامل های بار اقلیت (الکترون ها) را داشته باشند، به الکترو د مقابل برسند و باز ترکیب کمتر و در نتیجه شدت نور کمتری داشته باشیم. بنابر این همانطور که دیده می شود این ساختار رفتار دیودی کامل از خود نشان نمی دهد. با بررسی نمودارهای جریان-ولتاژ ساختار ۲ و ساختار ۳ می بینیم که با افزایش ضخامت Alq3، در ولتاژهای پایین تر جریان کمتری از دیود عبور می کند. می توان گفت افزایش ضخامت Alq3 باعث تزریق بیشتر الکترون ها به داخل ساختار شده و این امکان را فراهم می سازد تا حفره ها و الکترون های بیشتری به صورت اکسایتون با هم ترکیب شوند. پس می توان نتیجه گرفت در این ساختار Alq3 علاوه بر اینکه به عنوان گسیلنده عمل می کند وظیفه انتقال الکترون را نیز به عهده دارد. بنابر این انتظار می رود افزایش ضخامت این لایه در ساختار باعث افزایش شدت نور گسیلی گردد. با افزایش ضخامت، علاوه بر افزایش میزان تشکیل اکسایتون، میزان تله های بار و همچنین احتمال جذب نور گسیل شده، توسط خود لایه افزایش می یابد. پس انتظار می رود یک ضخامت بهینه داشته باشیم. طیف الکترو لومینانس این ساختارها در شکل ۳ نشان می دهد که بالاترین شدت نور گسیلی مربوط به ساختار ۲ با ضخامت ۷۰ nm می باشد



شکل ۳: طیف الکترو لومینسانس ساختارهای ۱ و ۲ و ۳

از طرفی در نمودارهای جریان-ولتاژ می بینیم که ولتاژ راه انداز ساختار ۲ کمتر از ولتاژ راه انداز ساختار ۳ می باشد.