

## بررسی اثر نانو ذرات اکسید روی بر کارایی و بازده دیود نورگسیل آلی

موسوی ، هنگامه سادات ؛ فدوی اسلام ، محمدرضا

دانشگاه فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان

### چکیده

در این مقاله تاثیر نانو ذرات اکسید روی را بعنوان لایه‌ی انتقال دهنده الکترون در دیود نورگسیل آلی بررسی کردیم. بدین منظور، دیودهای نورگسیل آلی با ساختار  $ITO/PEDOT:PSS/PVK/Eu/ZnO\ nanoparticles/PBD/Al$  و با مقادیر متفاوتی از نانو ذرات اکسید روی ساخته شد. سپس دیودهای تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدان (FESEM)، جذب نوری (UV-vis)، نورتایی (الکترو لومینسانس) و ولتاژ-چگالی جریان مشخصه‌یابی شدند. نتایج مشخصه‌یابی‌ها نشان داد که استفاده از نانو ذرات ZnO بعنوان لایه‌ی انتقال الکترون باعث افزایش کارایی و بازده این دیودها می‌شود و با افزایش مقدار نانو ذرات ZnO نورتایی و شفافیت افزایش و ولتاژ کاری کاهش پیدا می‌کند. نتایج مشخصه‌یابی نشان دادند که با افزودن لایه‌های نانو ذرات ZnO ولتاژ کاری از ۱۲ ولت به ۱۰ ولت، بیشینه‌ی نورتایی از ۰/۱۹ به ۰/۲۳ و شفافیت از ۶۰٪ به ۸۶٪ تغییر می‌کند.

## Study the effect of ZnO nanoparticles on performance and efficiency of Organic Light Emitting Diode

Mousavi, Hengameh Sadat ; Fadavi Eslam, Mohammad Reza

Department of Physics, University of Damghan, Damghan

### Abstract

*In this paper we studied the effect of ZnO nanoparticles as an electron transport layer. For this purpose, organic light emitting diode with the structure of ITO /PEDOT:PSS /PVK /Eu /ZnO nanoparticles /PBD /Al and with different values of ZnO nanoparticles was fabricated. Then the prepared diodes by scanning electron microscope field effect (FESEM), optical absorption (UV-vis), luminescence (EL) and current density – voltage were characterized. Characterization results showed that the use of ZnO nanoparticles as an electron transport layer enhances the performance and efficiency of this diodes and And by increasing the amount of ZnO nanoparticles, luminescence and transparency increase and work voltage decrease. The results of characterization showed that by adding layers of ZnO nanoparticles the work voltage changes from 12 V to 10 V, maximum luminescence from 0.19 to 0.23 and transparency from 60% to 86% .*

PACS No. 68.35

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 به شدت مورد توجه هستند. 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 [۵]. این ویژگی، امکان

### 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 [۴-۱]. دیودهای نورگسیل معدنی علیرغم بازدهی بالاتری که در مقایسه با چشمه‌های نوری دیگر دارا هستند ولی منابع نقطه‌ای

حفره لایه‌نشانی شد. سپس برای باز پخت به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت. بازپخت باعث همواری و تثبیت لایه می‌گردد. لایه PVK بعنوان لایه انتقال حفره، کمپلکس Eu بعنوان لایه نشر دهنده نور روی لایه PEDOT:PSS به روش لایه‌نشانی چرخشی لایه‌نشانی شدند و سپس در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد بازپخت داده شدند تا حلال تبخیر شده و ناهمواری لایه از بین برود. قبل از لایه-نشانی نانو ذرات ZnO برای تعیین ساختار بلوری آنها از دستگاه پراش پرتو X مدل D8 ADVANCE-BRUKER استفاده شد. نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس نانو ذرات در شکل (۱) نشان داده شده است. شکل (۱) قله‌های متفاوت مربوط به صفحات مختلف فاز ZnO را نشان می‌دهد.

سپس مقادیر متفاوتی از نانو ذرات اکسید روی مطابق با جدول (۱) در حلال دی کلرومتان حل شد و بعنوان لایه انتقال دهنده الکترون بر روی لایه‌ی Eu مانند مراحل قبل لایه‌نشانی و بازپخت شد. لایه‌ی PBD نیز بعنوان لایه‌ی انتقال الکترون مانند مراحل قبلی بر روی لایه‌ی نانو ذرات ZnO لایه‌نشانی و بازپخت داده شد. در انتها لایه‌ی کاتدی Al به روش تبخیر حرارتی در خلاء لایه‌نشانی شد. در شکل (۲) طرح کلی لایه‌های دیود ساخته شده ارائه شده است. پس از تهیه دیودها مشخصه‌یابی خواص سطحی آنها توسط میکروسکوپ الکترونی مدل HITACHI S4160، بررسی جذب اپتیکی دیودها توسط دستگاه UV-vis مدل 4802 UV-Vis double beam spectrophotometer انجام شد. نورتایی (الکترومینسانس) دیودها توسط دستگاه اسپکتروفلورومتر مدل FP-6200 انجام شد. ولتاژ-چگالی جریان دیودها نیز انجام شد.

جدول ۱: جرم نانو ذرات ZnO بکار برده شده در دیودها

نام نمونه	جرم نانو ذرات ZnO بکار برده شده (گرم)
S	۰
S <sub>۱</sub>	۰,۰۰۱
S <sub>۲</sub>	۰,۰۰۲
S <sub>۳</sub>	۰,۰۰۳

داشتن چشمه نوری با شار لومینسانس بالا بدون وجود تابش خیره کننده را فراهم می‌سازد. از دیگر ویژگی‌های قابل توجه OLED ها، توانایی کنترل رنگ خروجی در آنها، به خاطر وجود مواد گسیلنده مختلف در ناحیه‌ی مرئی است [۶ و ۷]. دیودهای نورگسیل آلی دارای قابلیت ساخت ساده و تولیدپذیری بالا و قیمت پایینی هستند همچنین کیفیت تصویر بالا و قابل توجهی دارند. این ویژگی‌ها منجر به کاربردهای وسیع آن در صنعت 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 با ارزش می‌کند.

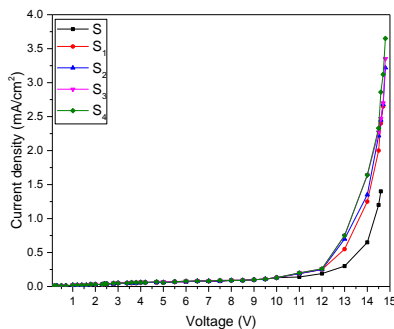
دیود نورگسیل آلی از چندین لایه نازک شامل ماده‌های آلی تشکیل شده است که بین دو الکتروود قرار می‌گیرند. با اعمال ولتاژ به الکتروودها، الکترون‌ها و حفره‌ها به لایه‌ی آلی وارد می‌شوند و در آنجا تشکیل اکسایتون می‌دهند و سرانجام نور تولید شده از دیود منتشر می‌شود [۸-۱۰].

در این پژوهش نیز به منظور بهبود کارایی دیود از نانو ذرات ZnO در ساخت دیود بهره گرفته شده و تاثیرات آن را بر روی خواص الکتریکی و اپتیکی دیود بررسی شده است.

### بخش تجربی

نخستین لایه در ساخت دیود آلی، آند می‌باشد که از جنس ایندیوم تین اکساید (ITO) انتخاب شد. ITO مورد استفاده در این پژوهش بصورت آماده تهیه شدند. این لایه‌ها دارای مقاومت  $9\Omega$  و ابعاد  $11\text{cm} \times 9\text{cm}$  که بر روی زیر لایه‌ی شیشه‌ای لایه-نشانی شده است. در ابتدا بخشی از ITO را بوسیله محلول‌های اسیدی HCl, HNO<sub>3</sub> و آب دیونیزه به مدت ۱۵ دقیقه و در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد سونش داده شد سپس فرآیند شست و شو کامل زیرلایه در حمام اولتراسونیک به ترتیب با آب و صابون، استون، ایزوپروپانول، اتانول و آب دیونیزه به مدت ۱۵ دقیقه انجام گرفت. در نهایت زیر لایه‌ها با عبور دادن گاز نیتروژن از روی سطوح آنها خشک شدند. دیودهای نورگسیل آلی طی چندین مرحله به شرح زیر ساخته می‌شوند. ابتدا با استفاده از روش لایه‌نشانی چرخشی لایه‌ی PEDOT:PSS بعنوان لایه انتقال

و با گام ۰/۱ ولت افزایش یافته و در هر مرحله جریان عبوری از دیود اندازه‌گیری شد. نتایج مشخصه یابی ولتاژ-چگالی جریان در شکل (۴) آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نمونه‌های دارای نانو ذرات ZnO در مقایسه با نمونه‌ی S که فاقد نانو ذرات ZnO است دارای نتیجه‌ی مطلوب‌تری هستند و چگالی جریان بیشتر و ولتاژ کاری کمتری را دارند همچنین با افزایش جرم نانو ذرات ZnO نیز ولتاژ کاری کاهش و چگالی جریان افزایش می‌یابد. دلیل عملکرد مناسب‌تر دیودهایی که لایه اکسید روی دارند آن است که ایجاد لایه‌ی نازک متشکل از نانو ذرات ZnO تحریک‌پذیری حامل‌ها و تزریق آنها به داخل لایه آلی را افزایش داده است [۱۰-۱۴].

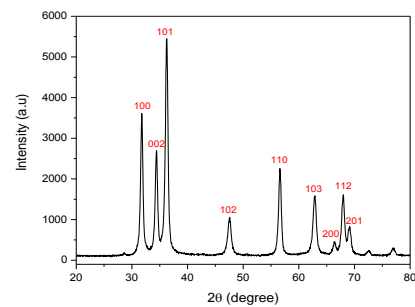


شکل ۴: منحنی ولتاژ-چگالی جریان دیودها

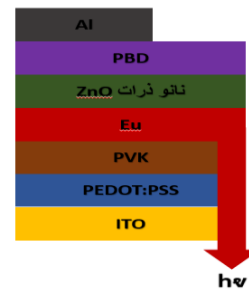
### مشخصه نورتابی:

برای مشخصه‌ی نورتابی از دستگاه اسپکتروفلورومتر استفاده شد. طیف الکترولومینسانس دیودهای ساخته شده میزان نور تولید شده در دیود را مشخص می‌کند. شکل (۵) طیف الکترولومینسانس دیودهای ساخته شده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که نمونه‌های دارای نانو ذرات ZnO دارای شدت نورتابی بیشتری نسبت به نمونه فاقد نانو ذرات هستند و با افزایش مقادیر نانو ذرات شدت طیف افزایش می‌یابد زیرا بکارگیری نانو ذرات ZnO بعنوان لایه‌ی انتقال دهنده الکترون موجب تعادل در انتقال حامل‌ها، افزایش بازترکیب الکترون-حفره و در نتیجه افزایش شدت نور خروجی دیود می‌شود [۱۰-۱۴].

۰/۰۰۴	S <sub>f</sub>
-------	----------------



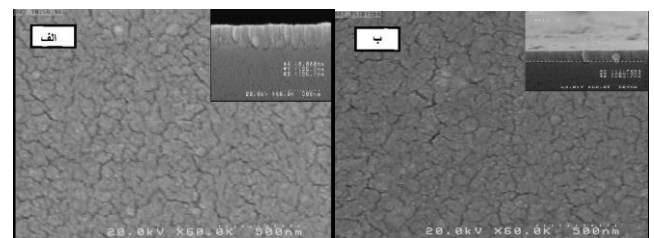
شکل ۱: آنالیز پراش پرتو ایکس نانو ذرات ZnO بکار برده شده در دیودها



شکل ۲: طرح کلی لایه‌های دیودها

### مشخصه یابی خواص سطحی:

مطالعه خواص سطحی توسط میکروسکوپ الکترون روبشی (FESEM) انجام گرفت. شکل (۳-الف) تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی نمونه S و شکل (۳-ب) تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی نمونه S<sub>f</sub> را نشان می‌دهد. ضخامت کلی لایه‌ها در نمونه S حدود ۱۵۲ نانومتر و در نمونه S<sub>f</sub> حدود ۱۷۷ نانومتر می‌باشد. این تصاویر سطح نسبتاً یکنواختی از لایه‌ها را نشان می‌دهند.



شکل ۳: تصاویر FESEM (الف) نمونه S (ب) نمونه S<sub>f</sub>

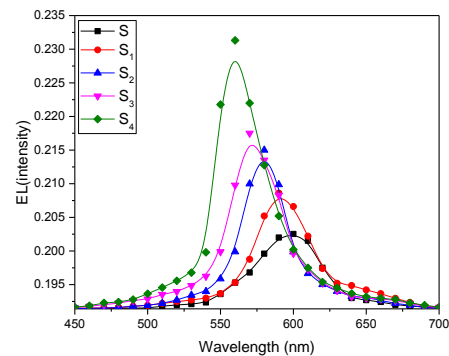
### مشخصه ولتاژ-چگالی جریان:

عملکرد ولتاژ-جریان دیودها با اعمال ولتاژ مستقیم به نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفت. ولتاژ اعمالی به صورت تدریجی از صفر

دیودها نمونه‌های دارای نانو ذرات ZnO دارای عملکرد بهتری نسبت به نمونه‌ی فاقد این نانو ذرات بودند و با افزایش مقادیر نانو ذرات چگالی جریان، شدت نورتابی و شفافیت افزایش و ولتاژ کاری کاهش پیدا کرد بطوریکه نمونه‌ی  $S_4$  که دارای جرم بیشتری از نانو ذرات ZnO بود کمترین ولتاژ کاری، بیشترین چگالی جریان و نورتابی و همچنین بیشترین شفافیت را در نمونه‌ها داشت. ایجاد لایه‌ی نازک متشکل از نانو ذرات ZnO در این دیودها موجب افزایش تحرک‌پذیری حامل‌ها، بازترکیب و تزریق آنها می‌شود.

### مرجع‌ها

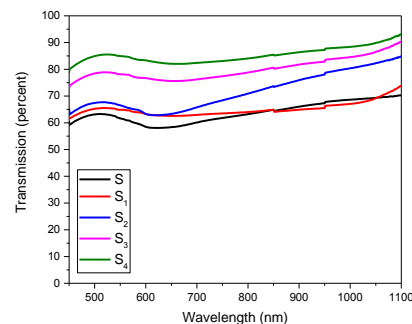
- [۱] S. K. Kim, T. G. Chung, D. H. Chung, H. S. Lee, M. J. Song, J. W. Park, J. U. Lee, T. W. Kim, "Improvement of efficiency in organic lightemitting diodes using PVK and CuPc buffer layer", *Optical Materials* **21** 159–164(2002).
- [۲] S. M. Jeonga, D. Y. Leea, W. H. Kooa, S. H. Choia, H. K. Baika, 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).
- [۳] C. W. Tang, and S. A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", *Appl. Phys. Lett.*, **51**,913–915, (1987).
- [۴] L.Y. bing, "On Thermal Structure Optimization of a Power LED Lighting", *Procedia Engineering* **29** 2765 – 2769 (2012).
- [۵] 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 sulfde", *Thin Solid Films* **519** 2344–2348(2011).
- [۶] 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).
- [۷] 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).
- [۸] B. Bolto, R. McNeill, and D. Weiss, "Electronic conduction in polymers. iii. electronic properties of polypyrrole," *Australian Journal of Chemistry.*, vol. 16, no. 6, pp. 1090–1103, 1963.
- [۹] M.Pope, P.Magnante, and a .H. P. Kallmann, "Electroluminescence in organic crystals," *The journal of Chemical Physics.*, **38**,2042 2043(1963).
- [۱۰] C. Tang and S. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes," *Applied Physics Letters.*, vol. 51, no. 12, pp. 913–915,1987.
- [۱۱] D. Liu, M. Fina, L. Ren, S. Mao, "Enhanced luminance of organic light-emitting diodes with metal nanoparticle electron injection layer," *Appl Phys A* (2009) **96**: 353–356.
- [۱۲] D. Kalhor, E. Mohajerani, O. Hashemi Pour, "The effect of Indium metal nanoparticles on the electronic properties of organic light emitting diodes (OLEDs)," *Journal of Luminescence* **167**(2015) 376–380.
- [۱۳] J. -W. Park, M. Habib Ullah, S. S. Park, "Organic electroluminescent devices using quantum-size silver nanoparticles," *Mater Electron* (2007) **18**:S393–S397.
- [۱۴] P. Justin Jesuraj, K. Jeganathan, M. Navaneethan, Y. Hayakawa, "Far-field and hole injection enhancement by noble metal nanoparticles," *Synthetic Metals* **211** (2016) 155–160



شکل ۵: طیف الکترولومینسانس دیودها

### مشخصه UV-vis

بررسی میزان عبور نور در دیودها و شفافیت آنها نیز توسط دستگاه UV-visible انجام گرفت. شکل (۶) منحنی میزان عبور نور در دیودهای ساخته شده را نشان می‌دهد. منحنی میزان عبور نور نشان می‌دهد که با افزایش مقادیر نانو ذرات، میزان عبور نیز افزایش می‌یابد زیرا نانو ذرات ZnO نیمرساناهای شفاف هستند و افزودن آن به دیود نورگسیل آلی موجب افزایش شفافیت و میزان عبور نور در این دیودها می‌شود.



شکل ۶: منحنی میزان عبور در دیودها

### نتیجه‌گیری:

دیود نورگسیل آلی با ساختار ITO/PEDOT:PSS/PVK/Eu/ZnO nanoparticles/PBD/Al ساخته شد و از نانو ذرات ZnO با مقادیر متفاوت بعنوان لایه انتقال دهنده الکترون استفاده شد و تاثیر آن بر روی عملکرد دیود نورگسیل آلی مورد بررسی قرار گرفت. خواص سطحی، منحنی مشخصه ولتاژ-چگالی جریان، طیف الکترولومینسانس و میزان عبور برای نمونه‌های ساخته شده مورد بررسی قرار گرفت. در این