بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

# بهبود ویژگی های سطحی الکترود شفاف دیودهای نورگسیل آلی به دو روش بمباران یونی و بمباران با میکروپودر آلومینا

حسین زابلیان[۱]، حمیدرضا فلاح[۱و۲]، سید غلامرضا رحیمی[۱]

۱. گروه فیزیک دانشگاه اصفهان

**چکیده** –یکی از چالشهای مهم در ساخت قطعات نیمرسانای آلی، ساخت یک زیر لایه ی مناسب است. در این پژوهش آماده سازی یک الکترود شفاف به عنوان زیرلایه جهت ساخت یک دیود نورگسیل آلی مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، ابتدا یک لایه نازک از اکسید قلع و ایندیوم *(ITO)* را روی بستره‌ای از شیشه انباشت نمودیم و سپس با دو فرآیند بمباران یونی و بمباران توسط میکروپودر آلومینا سطح آن را بهبود بخشیدیم. طیف عبور الکترود در ناحیه مرئی به وسیله‌ی دستگاه طیف سنج دوپرتویی اندازه گیری شد. همچنین مقاومت سطحی پوشش توسط دستگاه پروب چهارسر اندازه گیری شد. کیفیت سطح قطعه توسط تصاویر میکروسکوپ *AFM* بررسی شد. بررسی‌ها نشان داد که انحراف معیار سطح و فاصله‌ی قله-دره پس از انجام عملیات سطحی بهبود چشمگیری داشته است. پس از این بررسی ها روی زیرلایه، با به کار بردن آنها در ساخت دیود و اندازه گیری منحنی ولتاژ جریان، افزایش کارایی قطعات را به صورت تجربی نشان داده‌ایم.**

کلید واژه- دیودهای نورگسیل آلی، الکترود شفاف، نیمرساناهای آلی، انحراف معیار سطح زیرلایه

# Improving the surface characteristics of transparent electrode of Organic Light Emitting Diode by ion bombardment and alumina micro powder bombardment methods

Hosein Zabolian[1], Hamidreza Fallah[1,2] and Hosein zabolian[1]

1. Isfahan university, physics group

2. Isfahan university quantum optic research group

Abstract. One of the important challenges in fabricating of organic semiconductor devices is providing a suitable substrate. In this research providing of a transparent electrode as a substrate for OLED fabrication is investigated. So we deposit a film of ITO on the glass substrate and improve it by ion bombardment and alumina micro powder bombardment surface treatment methods. The electrode transmittance spectrum in visible range, is measured by double beam spectrometer. Also the surface resistance is measured by four point probes system. The quality of substrate surface is investigated by AFM microscopy. Investigations show that the roughness and pick to valley parameters extremely improved after surface treatment process. After this investigations, we use these substrates to fabricating OLEDs to show the efficiency of these methods practically by measuring voltage-current characteristic.

Keywords: Organic light emitting diodes, transparent electrodes, organic semiconductor, substrate roughness.



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

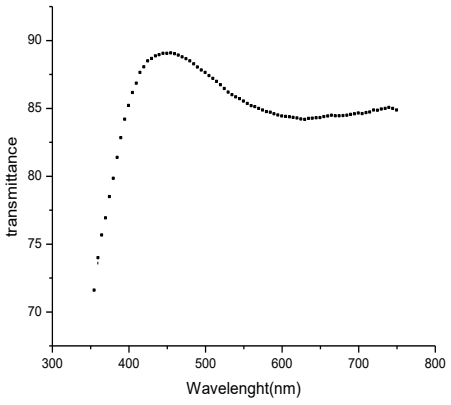
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-14 ]

## ۱- مقدمه

در ساخت دیودهای نورگسیل آلی با چالشهای زیادی روبرو هستیم. یکی از این چالشها فراهم کردن یک بستره‌ی مناسب با انحراف معیار سطح بسیار پایین می‌باشد. هنگامی که از یک بستره‌ی لایه نشانی شده با ITO (ترکیبی از اکسید قلع و اکسید ایندیوم) به عنوان الکترود شفاف برای ساخت دیود نورگسیل آلی استفاده نمودیم، مشاهده کردیم که قطعه‌ی ساخته شده عملکرد مناسبی ندارد و در نمودار ولتاژ-جریان این قطعات بدلیل خطی بودن منحنی، شاهد جریانهای اهمی در ولتاژهای پایین بودیم. جریانهای اهمی که قبل از رسیدن به ولتاژ راه اندازی مشاهده می‌شوند، نشان دهنده‌ی اتصال کوتاه بین الکترودهای مثبت و منفی می‌باشد. برای بهبود خواص سطحی الکترود شفاف تاکنون تلاشهای زیادی انجام شده است[۱،۲و۳]. یکی از راههای بهبود همواری سطح استفاده از یک لایه‌ی نازک PEDOT:PSS است که به روش لایه نشانی چرخشی روی آند انباشت می‌شود. اما در مواردی که با ایجاد الگو روی ITO سروکار داریم، استفاده از این لایه‌ی پلیمری رسانا به وضوح مشکل ساز خواهد بود. در این پژوهش برای رفع مشکل اتصال کوتاه بین الکتروهای دیود، سعی در هموارسازی سطح الکترود شفاف کردیم. به این منظور با استفاده از دو روش بمباران یونی و بمباران توسط میکروپودر آلومینا سعی در از بین بردن قله‌های نوک تیز را داشتیم.

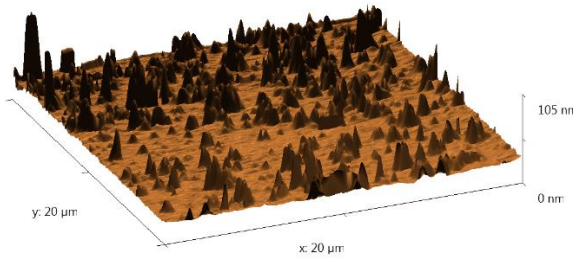
## ۲- روش ساخت و تحلیل لایه‌ی الکترود شفاف

برای انباشت الکترود شفاف از قطعات شیشه با کیفیت اپتیکی مناسب به عنوان بستره استفاده کردیم. انباشت به روش تبخیر فیزیکی (PVD) در خلاء و به وسیله‌ی باریکه‌ی الکترونی، توسط ترکیب اکسید ایندیوم و اکسید قلع و در فشار جزئی $10^{-4}$mbar از گاز اکسیژن انجام شد. همچنین پس از انباشت حدود ۱۲۰ نانومتر از لایه‌ی الکترود، قطعات را درون آون بازپخت نمودیم تا شفافیت و رسانندگی مناسب را پیدا کنند[۴]. رسانندگی این قطعات حدود ۱۴ اهم بر واحد سطح بود و نمودار عبور بر حسب طول موجهای مختلف نیز به صورت شکل۱ می‌باشد. طیف تراگسیل پوشش نشان می‌دهد که قطعه دارای عبور بالاتر از ۸۵٪ در گستره طیفی دیدگانی است.




شکل۱: نمودار تراگسیل الکترود شفاف برحسب طول‌موجهای مختلف

تصویر تهیه شده از سطح الکترود به وسیله‌ی میکروسکوپ AFM نشان می‌دهد که ناهمواریها و قله‌های نوک تیز زیادی روی سطح وجود دارد. یکی از این تصاویر به عنوان نمونه در شکل۲ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این تصویر وجود قله‌های نوک تیز فراوانی را روی سطح الکترود نشان می‌دهد. ارتفاع بسیاری از این قله‌ها با ضخامت کل لایه های آلی مورد استفاده در ساخت دیود قابل مقایسه است و در نتیجه وجود این قله ها یکی از چالشهای اساسی در کارایی دیودهای نورگسیل آلی به حساب می آید.




شکل۲: تصویر میکروسکوپی از سطح الکترود شفاف قبل از انجام عملیات سطحی روی قطعه. بیشینه مقدار پارامتر قله تا دره در این تصویر ۱۰۵ نانومتر است.

## عملیات سطحی با بمباران یونی

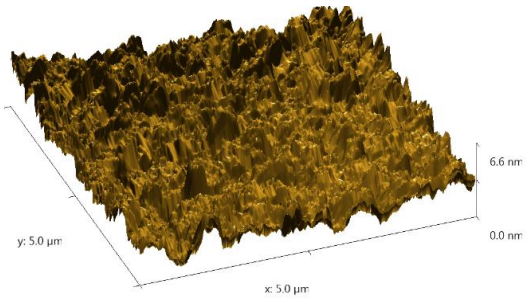
برای کاهش انحراف معیار سطح الکترود شفاف ابتدا از روش بمباران یونی استفاده کردیم. در این روش از یک چشمه یونی با ولتاژ ۲۰۰V و شدت جریان ۱A و گاز ورودی آرگون استفاده کردیم. ابتدا قطعات را روی یک پایه به ارتفاع ۴۵cm و با زاویه‌ی ۶۰ درجه نسبت به خط افق قرار دادیم به طوری که زاویه‌ی فرودی یونها حدود ۳۰ درجه بود. سپس مدت زمان بمباران را با ثابت بودن مقادیر هندسی



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-14 ]

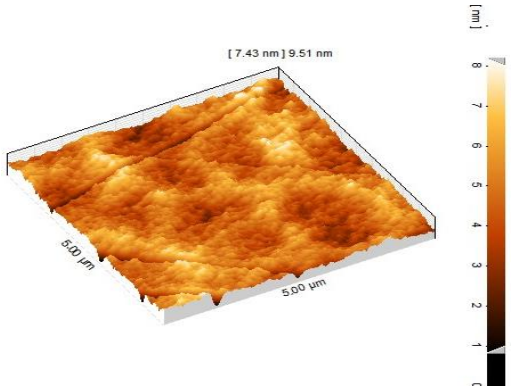
بهینه سازی کردیم. دلیل اینکه قطعات را نسبت به پرتوی یونی، زاویه دار قرار دادیم این بود که هدف ما بمباران قله ها و جلوگیری از عمیق‌تر شدن دره‌ها بود. پس از بمباران قطعات در محیط خلأ و به مدت ۶ دقیقه، قطعات را برای اندازه‌گیریهای مورد نظر از دستگاه خارج نمودیم. تصویر AFM از قطعات پس از بمباران یونی در شکل۳ آورده شده است. مشاهده شد که میزان انحراف معیار سطح از مقدار حدود ۱۰ نانومتر به حدود ۰/۸ نانومتر و همچنین ارتفاع قله‌های نوک تیز از چند ده نانومتر به زیر ده نانومتر کاهش پیدا کرده‌اند. این نتایج به وضوح نشان می دهد که در صورتی که پارامترهای مربوط به بمباران یونی به خوبی بهینه سازی و کنترل شوند، می توان از این روش به عنوان یک فرآیند ویژه در بهبود کیفیت سطح الکترودهای شفاف بهره گرفت. البته در این فرآیند مقاومت سطحی ITO حدود ۲ تا ۳ اهم بر واحد سطح افزایش یافت که می‌تواند به دلیل کاهش ضخامت لایه باشد.




شکل۳: تصویر AFM از سطح الکترود شفاف پس از انجام عملیات سطحی بمباران یونی. مقدار پارامتر فاصله‌ی قله-دره (PV) از ۱۰۵ نانومتر به حدود ۶/۶ نانومتر کاهش پیدا کرده است.

## عملیات سطحی با میکروپودر آلومینا

در روش دیگر، از طریق بمباران با میکروپودر آلومینا($Al_2O_3$) سعی در کاهش انحراف معیار سطح الکترود شفاف نمودیم. در این شیوه ابتدا حدود ۵۰گرم پودر میکرونی آلومینا را در ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل کردیم تا یک سوسپانسیون یکنواخت بدست آمد. سپس قطعات به صورت معلق درون این سوسپانسیون قرار داده شدند و درون دستگاه اولتراسونیک با فرکانس ۴۰kH به مدت ۱۲ دقیقه تحت برخورد امواج صوتی قرار گرفتند. طی این فرآیند، انحراف معیار سطح از مقدار حدود ۱۰ نانومتر به حدود ۰/۷ نانومتر و ارتفاع قله‌ها از چند ده نانومتر به زیر ده نانومتر(حدود ۷nm) کاهش یافتند. در این فرآیند امواج صوتی باعث برخوردهای مکرر دانه های پودر، به سطح الکترود و در نتیجه سایش سطح و کوتاه شدن قله‌ها می‌شود. تصویر حاصل از AFM، این موضوع را به خوبی تأیید می‌کند (شکل۴). مقاومت سطحی الکترود طی این فرآیند تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشته است.




شکل۴: تصویر AFM از سطح الکترود شفاف پس از انجام عملیات سطحی با بمباران میکروپودر آلومینا. مقدار پارامتر قله تا دره از ۱۰۵ نانومتر اولیه، در این روش به حدود ۷ نانومتر کاهش پیدا کرده است.

## ساخت دیود نور گسیل آلی

پس از آماده سازی بسترهای مختلف، آنها را در ساخت دیود نورگسیل آلی(OLED) مورد استفاده قرار دادیم. ساختار این دیودها با هم یکسان و به صورت زیر بود.

ITO(120nm)/NPB(50nm)/Alq3(80nm)/Lif(0.7nm)/Al (200nm)

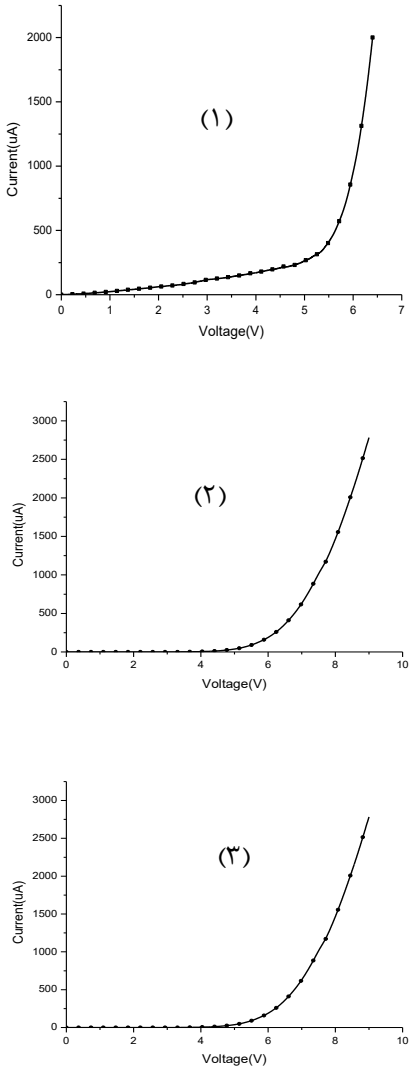
در این ساختار NPB به عنوان انتقال دهنده حفره، $Alq_3$ ماده‌ی فعال و همچنین انتقال دهنده الکترون، ITO آند و Al به عنوان کاتد مورد استفاده قرار گرفته است [۵و۶].

در این پژوهش سه گروه قطعه از دیودهای نورگسیل ساخته شد. ۱- قطعات ساخته شده با الکترود شفاف قبل از عملیات سطحی ۲- قطعات ساخته شده با الکترود اصلاح شده به کمک بمباران یونی ۳- قطعات ساخته شده با الکترود اصلاح شده به کمک بمباران با پودر میکرونی. نمودار ولتاژ جریان دیودهای ساخته شده به وسیله دستگاه Keithley اندازه گیری شد که نتایج حاصل از آن در شکل۵ آورده شده است.



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-14 ]




شکل ۵: نمودارهای ولتاژ-جریان مربوط به نمونه‌های گروه ۱، ۲ و ۳. به خوبی مشاهده می‌شود که در گروه ۱ با اتصالات اهمی بین الکترودها روبرو هستیم و همچنین در گروه های ۲ و ۳، اتصالات اهمی به خوبی کنترل شده‌اند.

عبور جریان از قطعات قبل از رسیدن به ولتاژ آستانه‌ی دیود، نشان دهنده‌ی وجود اتصالات اهمی بین الکترودها می‌باشد. البته اتصالات اهمی به قدری مشخص بودند که حتی با چشم شاهد جرقه های ریز در ناحیه ی فعال دیود بودیم. این جرقه‌ها حاصل به وجود آمدن میدان الکتریکی موضعی قوی در محل قله‌های نوک تیز می‌باشد. این اتصالات با ایجاد حرارت، قطعه را بسیار ناپایدار می‌کنند که این امر موجب سوختن و از کار افتادن زود هنگام قطعات خواهد شد. نکته قابل توجه اینکه برای نمونه‌ای که هیچ عملیات سطحی روی آن انجام نشده بود، علاوه بر وجود مقاومت اهمی، مشاهده شد که با هر بار اندازه‌گیری، نمودار ولتاژ-جریان دیود نیز دچار تغییر می‌شود. این تغییر تا سوختن کامل دیود ادامه پیدا می‌کرد. اما برای نمونه‌هایی که روی الکترود آنها عملیات سطحی انجام شده بود، شاهد نموداری کاملاً دیودی و همچنین پایداری بالای قطعه بودیم و برای نمودار ولتاژ-جریان با هر بار اندازه‌گیری تغییری مشاهده نشد. این موضوع بوضوح نشانگر پایداری بالای این قطعات است. همچنین با کپسوله کردن قطعات، شاهد این موضوع بودیم که قطعاتی که روی آنها عملیات سطحی انجام شده است طول عمر بسیار بیشتری داشتند که نتایج آن به صورت مفصل در گزارشات بعدی آورده خواهد شد[۷].

## ۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهش مشاهدات نشان می‌دهد که انجام عملیات سطحی به وسیله ی بمباران یونی و یا پودر میکرونی آلومینا بر الکترود شفاف دیود نورگسیل آلی، به منظور هموارسازی سطح پوشش، تاثیر چشم گیری بر کارایی و پایداری دیودهای نورگسیل آلی دارد. این پایداری به دلیل هموار شدن و کاهش انحراف معیار سطح الکترود و در نتیجه کاهش اتصالات اهمی اتفاق می‌افتد. همچنین حذف قله های نوک تیز باعث از بین رفتن میدان‌های الکتریکی موضعی قوی و در نتیجه حذف پدیده‌ی جرقه زنی در لایه-های آلی و جلوگیری از آسیب و کاهش طول عمر آن‌ها شد.

## مراجع

[1] D. V. Morgan, A. Salehi, Annealing effects on opto-electronic properties of sputtered ITO, Thin Solid Films, 1998
[2] M. Girtan, Influence of oxidation conditions on the properties of indium oxide thin films, Applied surface science, 2000
[3] T. Karasawa , Y.Miyata, Electrical and optical properties of indium tin oxide thin films on unheated substrates by DC reactive sputtering, Thin solid films, 1993
[۴] حامد مدایم زاده، ساخت رسانای شفاف ITO با مقاومت سطحی پایین، صنایع الکترواپتیک صاایران، ۱۳۸۹
[5] W. Brutting, physics of organic semiconductors, University of Augsburg, 2005
[6] H. Meng, L. zhigang, Organic Light-Emitting Materials and Devices, University of Rochester, 2007
[۷] سید غلامرضا رحیمی، طراحی و ساخت دیود نورگسیل آلی سبز تکفام با بازدهی و طول عمر بالا، صنایع الکتراپتیک صاایران، ۱۳۹۴



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-14 ]