

ساخت و مشخصه یابی لایه‌های امتزاجی  $Mg_xZn_{1-x}O$  و بکارگیری آنها در دیودهای نورتاب هیبریدیحسن اله داغی<sup>۱\*</sup>، محمد زیرک<sup>۱</sup><sup>۱</sup> ایران، سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، گروه فیزیک

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۳/۲۶ - پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۵/۲۷)

## چکیده

یکی از ویژگی‌های منحصر بفرد نیم‌رساناها، قابلیت امتزاج کردن آنها با یکدیگر است، بدین صورت که می‌توان ویژگی‌های مشترکی از دو ماده در با امتزاج کردن آنها بدست آورد. در این پژوهش لایه‌های نازک  $Mg_xZn_{1-x}O$  ( $x=0-0.9$ ) با امتزاج روی (Zn) و منیزیم (Mg) به روش اسپری پایرولیز لایه‌نشانی شد. نتایج نوری بدست آمده نشان داد که با افزایش مقدار Mg در ساختار، شکاف انرژی از مقادیر کوک ZnO به مقادیر بزرگتر MgO پیش می‌رود. نتایج مستخرج از الگوی پراش اشعه ایکس نشان داد که Mg وارد ساختار شبکه ZnO می‌شود. همچنین تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی مشخص کرد که با افزایش Mg در لایه ZnO دانه‌های رشد یافته روی سطح دارای ساختار ریزتری می‌شوند. به منظور مقایسه رفتار اپتوالکترونیکی این لایه‌ها و تاثیر امتزاج Mg در ساختار اولیه ZnO، دیودهای نورتاب هیبریدی ساخته شد که بیشترین کارایی و بازده مربوط به دیود ساخته شده با  $x=0.5$  بود.

کلمات کلیدی: امتزاج، لایه‌های نازک، MgZnO، دیود نورتاب هیبریدی

### Fabrication and characterization of alloyed thin films of $Mg_xZn_{1-x}O$ and their application in hybrid light emitting diodes

#### Abstract:

. One of the unique features of semiconductors is the ability to alloy them with each other, so that the intermediate properties are extracted from two materials. Here, thin layers of  $Mg_xZn_{1-x}O$  ( $x=0-0.9$ ) were deposited by combining zinc and magnesium by spray pyrolysis method. The obtained optical results showed that with the increase of Mg content in the structure, the energy gap becomes larger. Also, the results extracted from the X-ray diffraction spectrum and scanning electron microscope revealed that with the increase of Mg in the ZnO layer, the grains grown on the surface have a finer structure. Also, in order to compare the optoelectronic behavior of these layers, hybrid light-emitting diodes were made, and the highest efficiency and efficiency was related to the diode made with  $x=0.5$ .

**Keywords:** Alloy, Thin film, MgZnO, light emitting diode

Corresponding author. E-mail: h.alehdaghi@hsu.ac.ir

## مقدمه

کردن دو نوع نیم‌رسانای ZnS و CdS، نقاط کوانتومی  $Cd_{1-x}Zn_xS/ZnS$  را ساختند. آنها در این کار به بررسی تاثیر ترکیبات مختلف Cd و Zn روی بازترکیب این نقاط کوانتومی پرداختند و نشان دادند که اگر x از ۰/۲ به ۰/۵ تغییر یابد، نور PL نقاط کوانتومی از ۴۵۰ nm به ۴۱۰ nm می‌رسد [۱۳]. در پژوهشی دیگر نانوکامپوزیت MgZnO/r-GO به کمک روش شیمیایی هم-نشستی ساخته شد. آنالیز پراش اشعه ایکس نشان داد که هر دوفاز MgO و ZnO بصورت همزمان وجود دارد [۱۴]. دو نیم‌رسانای ZnO با شکاف انرژی ۳/۳ eV و MgO با شکاف انرژی ۷/۸ eV تشکیل شده است که با امتزاج کردن آنها و تبدیل به  $Zn_xMg_{1-x}O$  می‌توان شکاف انرژی آن را تنظیم کرد. در بعضی از موارد بلور رشد یافته MgZnO می‌تواند نورتاب باشد که براحتی در دیودهای نورتاب هیبریدی نیز می‌تواند استفاده شود [۱۵]. بواسطه بزرگ بودن شکاف انرژی MgO شاید خیلی منطقی نباشد که از این نیم‌رسانا بصورت مستقیم در سلول خورشیدی یا LED به عنوان لایه اصلی استفاده شود. علاوه بر شکاف انرژی، دو پارامتر لبه نوار رسانش و نوار ظرفیت نیز در ادوات اپتوالکترونیک از قبیل سلولهای خورشیدی [۱۶] و LED ها [۱۷] مهم است. گروهی از محققین نیز با

امروزه نیم‌رساناها در اکثر صنایع و علوم بصورت فراگیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این بین نیم‌رساناهای اکسید فلزی از نظر پایداری فیزیکی و شیمیایی بسیار پایدار هستند و می‌توانند به عنوان پوشش‌های مقاوم نیز مورد استفاده قرار گیرند [۱-۴]. با توجه به نوع ویژگی این نوع نیم‌رساناها از آنها می‌توان در سلول‌های خورشیدی [۵]، دیودهای نورتاب [۶]، فوتودیوها و ترانزیستورها [۷]، سنسورهای گازی [۸]، فتوکاتالیستها [۹]، تجزیه آب [۱۰] و تصفیه آلودگی [۱۱] استفاده کرد.

تلاش برای رسیدن به ویژگی‌های جدید برخی از مواد همیشه مورد توجه محققین بوده است. آلائیده کردن یا امتزاج کردن دو نیم‌رسانای مختلف یکی از روش‌های مفید و کار آمد برای ساخت نیم‌رسانا با ویژگی‌های جدید است که محققین با توجه به نیازشان، در کاربرد مورد نظر استفاده می‌کنند. استاچویچ و همکارانش به کمک روش روش‌نشست پرتو مولکولی (MBE<sup>۱</sup>) لایه نازک نیم‌رسانای امتزاجی  $Zn_{1-x}Cd_xO$  را ساختند. آنها با استفاده از طیف سنجی پشت-برخوردی رادرفورد<sup>۲</sup> به مطالعه عنصری عناصر سازنده این نیم‌رسانای امتزاجی پرداختند [۱۲]. او و همکارانش با استفاده از امتزاج

<sup>۲</sup> Rutherford backscattering<sup>۱</sup> Molecular beam epitaxy

متصل به فتودیود کالیبره برای ثبت مشخصه-جریان ولتاژ استفاده شد.

در ساخت  $Mg_xZn_{1-x}O$  پیش‌ماده  $Mg$  بصورت اولیه با پیش‌ماده‌ی  $Zn$  ترکیب شد. از پیش‌ماده‌ی منیزیم استات چهار آبه و روی استات دو آبه بترتیب برای تامین منبع  $Mg$  و  $Zn$  استفاده شد. پیش‌ماده  $Mg$  بصورت اولیه با استات روی بصورت هم‌زمان به حلال آب  $DI$ : اتانول با نسبت ۱:۳ با غلظت‌های متفاوت اضافه شد. با توجه به نتایجی که بعد از لایه-نشانی اسپری پیرولیز بدست آمد مشخص شد که سرعت لایه‌نشانی  $Mg_xZn_{1-x}O$ <sup>۱</sup> با افزایش  $x$  کاهش می‌یابد. بنابراین سعی شد که با افزایش مقدار  $x$ ، غلظت پیش‌ماده‌ها افزایش یابد. این نکته را نیز باید در نظر گرفت که حد اشباع حلالیت استات روی ۲ آبه در حلال مورد نظر حدود  $250 \text{ mM}$  و برای استات منیزیم ۴ آبه حدود  $1 \text{ M}$  است. به منظور افزایش حلالیت محلول،  $pH$  محلول با استفاده استیک اسید به مقدار  $4/8$  کاهش داده شد. بعد از زمان حدود  $30 \text{ m}$  که محلول تحت همزدن شدید قرار گرفت برای اسپری کردن آماده شد. بعد از شستشوی زیرلایه‌ها (شوینده‌های معمولی، استون، آب  $DI$  و اتانول)، روی سطح داغ قرار داده شد. دمای سطح برای  $x$  با مقادیر ۰، ۰/۱۵، ۰/۳۰، ۰/۵۰، ۰/۷۰

استفاده از روش لایه‌نشانی اتمی (ALD) لایه نازک  $Mg_xZn_{1-x}O$  را در سلول‌های خورشیدی پروسکایتی استفاده کردند [۱۸] که نشان دهنده اهمیت امتزاج کردن و کاربردهای آن است.

در این پروژه با استفاده از روش کم هزینه، ساده و سریع افشانه پیرولیز، لایه‌های نازک  $Mg_xZn_{1-x}O$  لایه‌نشانی شد. به کمک طیف سنجی نوری عبوری مشخصات اپتیکی لایه‌ها، به کمک آنالیز پراش اشعه ایکس مشخصات بلوری و به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی ویژگی‌های ساختاری این لایه‌های نازک امتزاجی مشخص شد. این لایه‌ها با  $x$  های مختلف در LED هیبریدی بکار گرفته شد. مشخصات الکترو لومینسانس LED های ساخته به ازای  $x$  های مختلف مورد بررسی قرار گرفته شد.

## روش کار:

تمام مواد استفاده شده در اینجا با کیفیت بالا از شرکت مرک آلمان خریداری شده بود. زیرلایه‌های FTO از شرکت سولارونیکس با مقاومت  $25 \Omega/\square$  خریداری شد. از دستگاه پرکین المر، برای ثبت طیف عبور، دستگاه فیلیپس با کاتد مسی برای ثبت XRD و از دستگاه کیتلی ۲۴۰۰ و پنانسو استات ایویوم

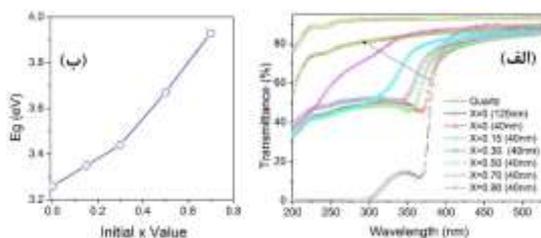
کسر مولی منیزیم است یعنی نسبت غلظت منیزیم به  $x$  مقدار<sup>۱</sup> مجموع غلظت منیزیم و روی

برای  $x$ ، مقادیر ۰، ۰/۱۵، ۰/۳۰، ۰/۵۰، ۰/۷۰ و ۰/۹۰ در نظر گرفته شد و جهت ثبت طیف‌های عبور این لایه‌ها، آنها روی کوارتز لایه‌نشانی شدند. آنجایی که شیشه در طول موج‌های کمتر از ۳۳۰ nm جذب زیادی دارد از کوارتز به عنوان زیر لایه برای ثبت طیف عبور و تعیین شکاف انرژی استفاده شد. در شکل ۱ طیف‌های عبور مربوطه رسم شده است. در این شکل به خوبی دیده می‌شود که با افزایش مقدار پارامتر  $x$  لبه‌ی جذبی (مکانی که در آن عبور بصورت ناگهانی افت می‌کند)  $Mg_xZn_{1-x}O$  به سمت طول موج‌های کمتر پیش می‌رود. شکاف انرژی‌های محاسبه شده از لبه‌ی جذبی نیز در این شکل قسمت (ب) نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش مقدار  $Mg$  شکاف انرژی بزرگ‌تر می‌شود. با توجه به شکاف انرژی  $MgO$  که حدود ۳/۷ eV است و مقدار ماکزیمم  $x$  که در اینجا شکاف انرژی ۳/۹۵ eV را می‌دهد مشخص می‌شود که مقادیر اولیه  $Mg$  کاملاً وارد شبکه  $ZnO$  نمی‌شود [۲۰]. اگر بخواهیم مقادیر زیادتر  $Mg$  را در ساختار امتزاجی  $Mg_xZn_{1-x}O$  داشته باشیم باید از روش‌های فیزیکی استفاده شود که در این کار به آن پرداخته نمی‌شود [۲۱].

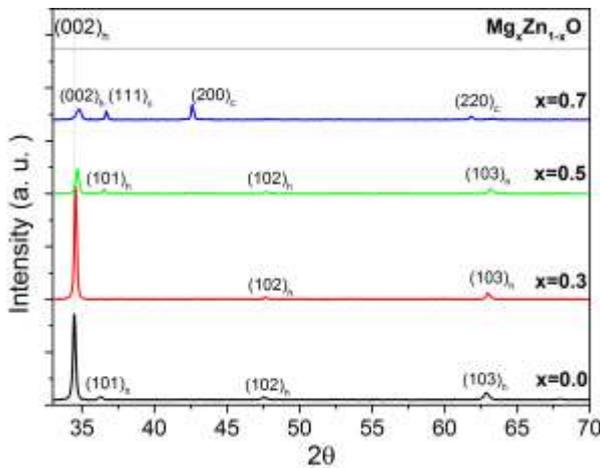
و ۰/۹۰ به ترتیب؛ ۳۵۰، ۳۷۵، ۴۰۰، ۴۲۰، ۴۳۰ °C در نظر گرفته شد. این تغییرات دمایی به این دلیل انتخاب شد که با افزایش  $Mg$  سرعت لایه‌نشانی کم نشود. ارتفاع بین نازل اسپری و سطح حدود ۲۰ cm و سرعت خروج محلول از نازل حدود ۲ ml/min تنظیم شد. از هوا به عنوان پیش‌ران‌هی محلول در فشار حدودی ۴ bar استفاده شد.

بعد از لایه‌نشانی  $ZnO$  و یا  $Mg_xZn_{1-x}O$  (بالای  $ZnO$ ) به منظور بالا بردن کیفیت بلورینگی لایه‌ها، نمونه‌ها درون کوره در دمای ۵۰۰ °C به مدت ۸ h قرار داده شد. سپس پلیمر F8BT که با غلظت ۱۰ mg/ml در کلروفرم حل شده بود بصورت چرخشی روی  $ZnO$  یا  $Mg_xZn_{1-x}O$  لایه‌نشانی شد. سرعت چرخنده در عدد ۲۰۰۰ rpm تنظیم شد که منجر به ضخامت حدود ۸۰ nm از پلیمر می‌شود [۱۹]. در نهایت لایه به درون محفظه‌ی خلأ برده شد که فشار نهایی آن حدود  $10^{-5}$  torr بود. در این مرحله سه لایه  $MoO_3$ ،  $Au$  و  $Ag$  به ترتیب، بدون شکست خلأ، به ضخامت ۲۵، ۶۰ و ۱۰۰ نانومتر بصورت تبخیری لایه‌نشانی شد. بعد از اتمام لایه‌نشانی LEDها مورد تست جریان-ولتاژ-نورتابی (I-V-L) قرار گرفتند.

## نتایج و بحث



شعاع یونی  $Mg^{+2}$  ( $0.71 \text{ \AA}$ ) در مقابل  $Zn^{+2}$  ( $0.74 \text{ \AA}$ ) در حال کوچکتر شدن است [۲۳]. در نمونه-ی مربوط به  $x=0.7$  دیده می‌شود که این لایه شامل هر دو فاز مکعبی و شش وجهی می‌شود. از آنجایی که فاز بلوری  $MgO$  مکعبی و  $ZnO$  شش وجهی است این امر بدیهی به نظر می‌رسد [۲۲، ۲۴]. در این شکل حروف کوچک لاتین c و h در زیر صفحات به ترتیب بیانگر فاز مکعبی و شش وجهی است.



شکل ۲\_ الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به لایه-های رشد یافته  $Mg_xZn_{1-x}O$ ، به ازای x های مختلف ۰، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷. حرف c و h به ترتیب بیانگر فاز مکعبی و شش وجهی است - JCPDS(87-0652, 79-0208, 77-0191).

به منظور بررسی ریخت شناسی از روی سطوح لایه‌های رشد یافته شده بر بستر شیشه، چهار لایه  $Mg_xZn_{1-x}O$  با x های ۰، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، لایه‌ی مربوط به  $x=0$  که در واقع

شکل ۱- طیف عبور لایه‌های رشد یافته به روش افشانه پیرولیز (الف) و شکاف انرژی (ب)  $Mg_xZn_{1-x}O$  بر حسب مقادیر x مختلف برای مقادیر واقعی x رابطه‌ی تجربی وجود دارد که می‌توان از آن برای تعیین مقدار واقعی x بهره جست [۲۲]. این رابطه در زیر آمده است:

رابطه ۱

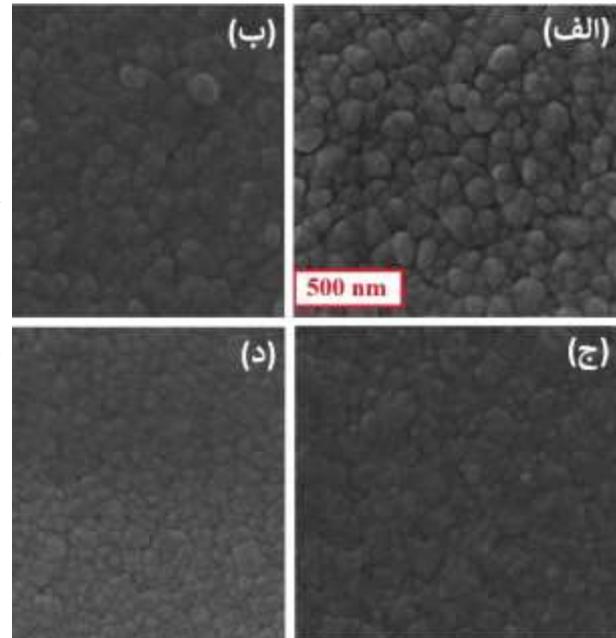
$$E_g (Mg_xZn_{1-x}O) = 3.32 + 2.00x \quad (\text{for xagonal-phase}) \quad 0 \leq x \leq 0.33$$

$$E_g (Mg_xZn_{1-x}O) = 3.02 + 4.03x \quad (\text{for cubic-phase}) \quad 0.45 \leq x \leq 0.82$$

با توجه به این رابطه مقادیر واقعی x به ترتیب برابر می‌شود با ۰/۰۵، ۰/۰۹، ۰/۲۱ و ۰/۲۹ در صورتی که مقادیر اولیه‌ی آن به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۳۰، ۰/۷۰ و ۰/۵۰ بود.

به منظور تعیین فاز بلوری لایه‌های اسپری شده  $Mg_xZn_{1-x}O$ ، آنالیز پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) انجام شد. در شکل ۲ طیف‌های مربوطه نمایش داده شده است. قله‌های مربوط به هر دسته از صفحات بلوری در بالای آن مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود قله‌ی مربوط به فاز شش وجهی  $Mg_xZn_{1-x}O$  با افزایش مقدار x به سمت زاویه‌های بزرگتر پیش می‌رود. این جابجایی بدین معنی است که اندازه‌ی پارامتر شبکه c به علت کوچک بودن

ZnO است دارای دانه‌های بزرگتری نسبت به دیگر لایه‌های رشد یافته است. در این شکل به وضوح دیده می‌شود که با افزایش مقدار Mg در لایه‌ها، اندازه‌ی دانه بندی سطحی کوچک‌تر شده است که در تطابق با نمودارهای XRD و رابطه دبی-شرر است.



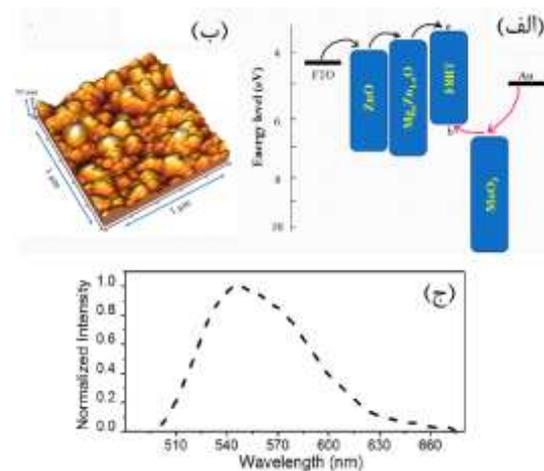
شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطح نمونه‌های  $Mg_xZn_{1-x}O$  با  $x=0$  (الف)،  $x=0/3$  (ب)،  $x=0/5$  (ج) و  $x=0/7$  (د).

به منظور گرفتن کاربردی از لایه‌های ساخته شده، از آنها در ساخت دیود نورتاب هیبریدی استفاده شد. بصورت مختصر، لایه‌های FTO روی بستر شیشه با شوینده‌های معمولی در ابتدا LED بدون لایه‌ی  $Mg_xZn_{1-x}O$  ساخته شد، بدین معنی که Mg در ساختار ZnO قرار نگرفت و سپس لایه‌ی  $Mg_xZn_{1-x}O$  با مقادیر  $x=0/30$ ،  $x=0/50$  و  $x=0/70$  روی لایه‌ی ZnO نشانده شد (همانند شکل ۴). همانطور که در

این شکل دیده می‌شود، الکترون‌ها از لایه FTO و حفره‌ها از الکتروود طلا به LED تزریق می‌شوند. حامل‌های بار توسط پله زنی و شکستن سد انرژی بزرگ براحتی می‌توانند به لایه نورتاب برسند. انتظار می‌رود وجود لایه  $Mg_xZn_{1-x}O$  باعث انتقال بهتر الکترون‌ها به لایه نورتاب شود که در نتیجه ولتاژ روشن شدن LED را کاهش دهد. از طرفی دیگر افزایش شکاف انرژی  $Mg_xZn_{1-x}O$  از سمت پایین آمدن لبه نوار ظرفیت، باعث می‌شود حفره‌های راه یافته به لایه نورتاب به راحتی فرار نکنند. به اصلاح لایه‌ی  $Mg_xZn_{1-x}O$  لایه بلوکه‌کننده‌ی خوبی در این نوع LED بشمار می‌رود. این نوع دیودها از نوع دیودهای پیوندی p-n نیست که در آن دیود از دو لایه پیوندی نوع p و n ساخته شده باشد. در واقع در دیودهای نوری پیوندی p-n حفره‌ها از سمت p و الکترون‌ها از سمت n به طرف پیوندگاه منتقل و بازترکیب می‌شوند. اما دیود ساخته شده در اینجا از نوع دیود با ساختار نامتجانس است. در این نوع دیودها لایه‌های انتقال دهنده الکترون و حفره، نیم-رساناهای متفاوتی هستند که حامل‌های بار را به لایه نورتاب هدایت می‌کنند. شکل قسمت (ب) تصویر ۳ بعدی مستخرج شده از میکروسکوپ نیروی اتمی نیز مشاهده می‌شود. زبری سطح لایه‌ی FTO حدود ۱۵ nm است که احتمالاً شاید باعث نشت جریان زیادی در این نوع LED ها شود. در قسمت (ج) همین شکل طیف نورتابی LED ساخته شده تحت

طرفی دیگر شاید باعث افزایش مقاومت سری در دیود شود، در نتیجه تزریق الکترون در منحنی I-V افت می‌کند. بولینک<sup>۱</sup> و همکارانش تزریق بهتر الکترون برای LED ساخته شده با ZnO نسبت به MgO را به سد انرژی کمتر (اختلاف تابع کار با لایه‌ی نوار رسانش ZnO یا MgO) در مقابل تزریق الکترون نسبت دادند [۲۵]. در دیودهایی که لایه‌ی ZnO به ضخامت ۱۲۰ nm مشترک است به وضوح دیده می‌شود که تزریق الکترون برای آنهایی که پارامتر X در آنها از X=۰ بیشتر است بهتر شده است. البته در مورد X=۰/۷ دیگر این چنین نیست که می‌توان آن را به تغییر فاز بیشتر شبکه‌ای Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O ربط داد. در این حالت احتمالاً رسانایی لایه خیلی کم شده است. در قسمت (ب) نورتابی برحسب ولتاژ نمایش داده شده است. در اینجا نیز شرایط همانند منحنی I-V است. همانطور که مشاهده می‌شود شدت ماکزیمم نورتابی برای نمونه‌هایی که در آن از Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O با X غیر از صفر استفاده شده است، بیشتر است. این پدیده را می‌توان به بلوک کردن حفره‌ها توسط لایه‌ی Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O ربط داد. در قسمت (ج) و (د) بازدهی جریان (CE) و بازده تبدیل توان (PE) LEDها به ترتیب نشان داده شده است. در اینجا مشاهده می‌شود که بیشترین بازده مربوط به نمونه‌ای است که در آن مقدار پارامتر اولیه X برابر با ۰/۵۰ است. این افزایش

جریان-ولتاژ یا به اصطلاح الکترو لومینسانس نمایش داده شده است که دارای نوری سبز متمایل به زرد است.



شکل ۴- طرح واره انرژی برای لایه های مختلف

بکار برده در LED مورد نظر (الف)، تصویر

میکروسکوپی نیروی اتمی زیر لایه FTO و طیف

الکترو لومینسانس LED های ساخته شده

ضخامت ZnO حدود ۱۲۰ nm و Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O

حدود ۴۰ nm انتخاب شد. نتایج مربوط به مشخصه-

یابی I-V-L در شکل ۵ نشان داده شده است. در

قسمت (a) منحنی مربوط به I-V نشان داده شده

است. دیده می‌شود که با اضافه کردن لایه‌ی

Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O بهبودی در تزریق جریان صورت نمی-

پذیرد. گرچه وجود لایه‌ی Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O باعث می-

شود که تزریق الکترون بهتر صورت پذیرد ولی از

<sup>۱</sup> Bolink

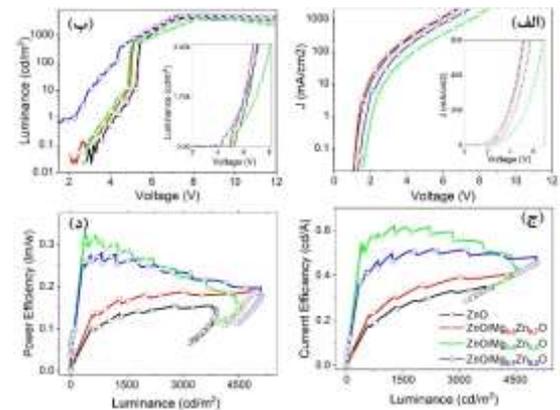
شده با لایه اضافه  $Mg_{0.5}Zn_{0.5}O$  با مقدار  $61 \text{ cd/A}$  است. بدین معنی که اگر  $1 \text{ A}$  جریان از آن عبور کند،  $61 \text{ cd}$  نوردهی خواهد داشت.

بیش از دو برابر است که برای دو لایه‌ی  $ZnO/Mg_{0.5}Zn_{0.5}O$  ( $0.35 \text{ lm/W}$ ) نسبت به  $ZnO$   $0.15 \text{ lm/W}$  رخ داده است. این افزایش را می‌توان به بلوکه کردن حفره‌ها توسط  $Mg_xZn_{1-x}O$  نسبت داد.

جدول ۱- مشخصات LED های ساخته شده با لایه

های  $Mg_xZn_{1-x}O$

LED	$V_{in}$ ..cd	Max Bright ness (Cd/n)	Efficacy (cd/l)	Power lumini e (L/V)
$ZnO (120)$	۵/۳	۳۷۰۰	۰/۳۴	۰/۱۵
$ZnO(120)/Mg_{0.7}Zn_{0.3}O(40)$	۵/۰	۵۰۰۰	۰/۴۵	۰/۱۸۵
$ZnO(120)/Mg_{0.5}Zn_{0.5}O(40)$	۴/۹	۴۶۰۰	۰/۶۱	۰/۳۴
$ZnO(120)/Mg_{0.3}Zn_{0.7}O(40)$	۴/۲	۵۱۰۰	۰/۵۲	۰/۲۸۵



شکل ۵- مشخصات جریان-ولتاژ (الف)، نورتابی-ولتاژ (ب)، کارایی-نورتابی (ج)، بازده توان-نورتابی (د) به ازای مقادیر مختلف X

### نتیجه گیری

با استفاده از روش ساده و ارزان افشانه پایرولیز، لایه‌های امتزاجی  $Mg_xZn_{1-x}O$  روی FTO رشد داده شد. آنالیز پراش اشعه ایکس نشان داد که با افزایش مقدار X ویژگی ساختاری بلوری لایه‌ها از ZnO به سمت MgO در حال تغییر است. شکاف انرژی لایه‌های ساخته شده با افزایش مقدار Mg به سمت مقادیر بزرگ‌تر افزایش یافت که نشان از امتزاج Mg در ساختار ZnO داشت. نتایج بدست آمده از تصاویر

خلاصه‌ای از پارامترهای مربوط به LED های ساخته شده در جدول ۱ لیست شده است. همان‌طور که مشخص است تمام LED ها دارای لایه  $120 \text{ nm}$  ZnO هستند، در صورتی که جز LED اول باقی آن‌ها دارای لایه اضافی امتزاجی نیز هستند که باعث افزایش کارایی شده است. کمترین ولتاژ روشن در  $\text{cd/m}^2$   $100$  مربوط به LED ساخته شده با لایه  $Mg_{0.7}Zn_{0.3}O$  با ولتاژ  $4.2 \text{ V}$  است و بیشترین آن مربوط به زمانی است که لایه  $Mg_xZn_{1-x}O$  وجود ندارد. بیشترین بازده جریان مربوط به LED ساخته

Science: Materials in Electronics, 30 (2019) 2706-2715.

[4] H. Alehdaghi, M. Kazemi, M. Zirak, Facile preparation of ZnO nanostructured thin films via oblique angle ultrasonic mist vapor deposition (OA-UMVD): A systematic investigation, Applied Physics A, 126 (2020) 103.

[5] M.A. Haque, A.D. Sheikh, X. Guan, T. Wu, Metal oxides as efficient charge transporters in perovskite solar cells, Advanced Energy Materials, 7 (2017) 1602803.

[6] H. Alehdaghi, M. Marandi, A. Irajizad, N. Taghavinia, J. Jang, H. Zare, Investigating the different conditions on solution processed MoO<sub>x</sub> thin film in long lifetime fluorescent polymer light emitting diodes, Materials Chemistry and Physics, 204 (2018) 262-268.

[7] H. Yoo, I.S. Lee, S. Jung, S.M. Rho, B.H. Kang, H.J. Kim, A review of phototransistors using metal oxide semiconductors: Research progress and future directions, Advanced Materials, 33 (2021) 2006091.

[8] K.G. Krishna, S. Parne, N. Pothukanuri, V. Kathirvelu, S. Gandi, D. Joshi, Nanostructured metal oxide semiconductor-based gas sensors: A comprehensive review, Sensors and Actuators A: Physical, 341 (2022) 113578.

[9] S. Zhong, Y. Xi, S. Wu, Q. Liu, L. Zhao, S. Bai, Hybrid cocatalysts in semiconductor-based photocatalysis and photoelectrocatalysis, Journal of materials chemistry A, 8 (2020) 14863-14894.

[10] Y. Chen, X. Feng, Y. Liu, X. Guan, C. Burda, L. Guo, Metal oxide-based tandem cells for self-biased

میکروسکوپی الکترونی روبشی مشخص کرد که اندازه ریزدانه‌های سطحی با افزایش مقدار  $x$  کاهش می‌یابد. با توجه به وابستگی ترازهای انرژی لایه  $Mg_xZn_{1-x}O$  به مقادیر  $x$ ، دیودهای نورتاب هیبریدی به ازای  $x$  های مختلف ساخته شد. نتایج حاصله نشان داد که بازده LED ساخته شده با  $Mg_{0.5}Zn_{0.5}O$  نسبت به حالتی که این لایه وجود ندارد بیش از دو برابر افزایش یافته است.

## مراجع

[1] J.-M. Kim, X. Zhang, J.-G. Zhang, A. Manthiram, Y.S. Meng, W. Xu, A review on the stability and surface modification of layered transition-metal oxide cathodes, Materials Today, 46 (2021) 155-182.

[2] M.J. Herzog, D. Esken, J. Janek, Improved cycling performance of high-nickel NMC by dry powder coating with nanostructured fumed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, and ZrO<sub>2</sub>: a comparison, Batteries & Supercaps, 4 (2021) 1003-1017.

[3] H. Alehdaghi, M. Zirak, Facile preparation of various ZnO nanostructures via ultrasonic mist vapor deposition: a systematic investigation about the effects of growth parameters, Journal of Materials

Emitting Diodes, *Materials*, 13 (2020) 5082.

[18] Q. Peng, A.U. Mane, J.W. Elam, Nanometer-Thick Mg x Zn (1-x) O Ternary Films for Photovoltaics, *ACS Applied Nano Materials*, 3 (2020) 7732-7742.

[19] H. Alehdaghi, M. Marandi, A. Irajizad, N. Taghavinia, Influence of cathode roughness on the performance of F8BT based organic-inorganic light emitting diodes, *Organic Electronics*, 16 (2015) 87-94.

[20] A. Kaushal, D. Kaur, Effect of Mg content on structural, electrical and optical properties of Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O nanocomposite thin films, *Solar energy materials and solar cells*, 93 (2009) 193-198.

[21] M. Sahal, B. Marí, M. Mollar, F. Manjón, Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O thin films deposited by spray pyrolysis, *physica status solidi c*, 7 (2010) 2306-2310.

[22] N. Chen, C. Sui, Recent progress in research on Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O alloys, *Materials Science and Engineering: B*, 126.۲۱-۱۶ (۲۰۰۶)

[23] J. Bian, Y. Luo, J. Sun, H. Liang, W. Liu, L. Hu, Synthesis and temperature dependent photoluminescence of Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O films grown by ultrasonic spray pyrolysis, *Journal of materials science*, 42 (2007) 8461-8464.

[24] X. Zhang, X.M. Li, T.L. Chen, J.M. Bian, C.Y. Zhang, Structural and optical properties of Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O thin films deposited by ultrasonic spray pyrolysis, *Thin Solid Films*, 492 (2005) 248-252.

[25] H. Bolink, H. Brine, E. Coronado, M. Sessolo, Hybrid organic-inorganic light

photoelectrochemical water splitting, *ACS Energy Letters*, 5 (2020) 844-866.

[11] R. Gusain, K. Gupta, P. Joshi, O.P. Khatri, Adsorptive removal and photocatalytic degradation of organic pollutants using metal oxides and their composites: A comprehensive review, *Advances in colloid and interface science*, 272 (2019) 102009.

[12] M. Stachowicz, J. Sajkowski, M. Pietrzyk, D.N. Faye, S. Magalhaes, E. Alves, A. Reszka, A. Pieniążek, A. Kozanecki, Investigation of interdiffusion in thin films of ZnO/ZnCdO grown by molecular beam epitaxy, *Thin Solid Films*, 781 (2023) 140003.

[13] W. Wu, W. Liu, Q. Han, Y. Gao, D. Kong, Q. Yang, Composition effects on exciton recombination dynamics of blue-emitting alloyed Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S/ZnS quantum dots, *Journal of Materials Chemistry C*, 11 (2023) 1854-1862.

[14] G. Lavanya, T. Suvarna, C. Vardhani, Structural and Optical Properties of (MgZnO/rGO) Nanocomposites, *Journal of Chemistry Letters*, 4 (2023) 136-147.

[15] B.-H. Kim, J.-W. Kang, Electroluminescent MgZnO/ZnO Heterojunction Diode, *Applied Science and Convergence Technology*, 32 (2023) 151-154.

[16] S. Chen, J.R. Manders, S.-W. Tsang, F. So, Metal oxides for interface engineering in polymer solar cells, *Journal of Materials Chemistry*, 22 (2012) 24202-24212.

[17] S.M. Pozov, A. Ioakeimidis, I.T. Papadas, C. Sun, A.Z. Chrusou, D.D. Bradley, S.A. Choulis, Bottom Contact Metal Oxide Interface Modification Improving the Efficiency of Organic Light

emitting diodes: effect of the metal oxide,  
Journal of Materials Chemistry, 20 (2010)  
4047-4049.