

# The study effect of thickness and deposition rate on structural properties of aluminum thin films prepared by thermal evaporation technique

Fatemeh Shariatiniya, Mohammad Reza Fadavieslam\*

School of Physics, University Of Damghan, Damghan, Iran

Received: 22.11.2022 Final revised: 24.02.2023 Accepted: 12.05.2023

Doi link: [10.22055/jrmb.2023.18298](https://doi.org/10.22055/jrmb.2023.18298)

## Abstract

In this study, PEDOT:PSS, Alq<sub>3</sub> and Al thin films were deposited on the ITO substrate, respectively. The of aluminum thin films with different thicknesses and deposition rates were deposited on Alq<sub>3</sub> film by thermal evaporation technique. The structure of the films by X-ray diffraction (XRD) and their morphology by field effect scanning electron microscope (FESEM) and atomic force microscopy (AFM) were studied. X-ray diffraction characterization showed that the films prepared with a thickness less than 100 nm and with a deposition rate less than 1 nm/s have a polycrystalline structure with a peak along the (111) plane. The FESEM images show the grain structure of the samples. Increasing deposition rate leads to the increase of clusters on the surface of film that resulting an increase in the size of the grains. The AFM images show that increasing the thickness and deposition rate of film cause to increase the surface roughness of film.

**Keywords:** Aluminum, Thin film, Thermal evaporation, Deposition rate

---

\* Corresponding author: [m.r.fadavieslam@du.ac.ir](mailto:m.r.fadavieslam@du.ac.ir)

# مطالعه تأثیر ضخامت و آهنگ لایه‌نشانی بر ویژگی‌های ساختاری لایه‌های نازک آلومینیوم بر روی بستر ITO/PEDOT:PSS/Alq<sub>3</sub> تهیه شده به روش تبخیر گرمایی در خلاء

فاطمه شریعتی نیا، محمد رضا فدوی اسلام\*

دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱ ویرایش نهائی: ۱۴۰۱/۱۲/۰۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

Doi link: [10.22055/jrmb.2023.18298](https://doi.org/10.22055/jrmb.2023.18298)

## چکیده

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تغییر ضخامت و آهنگ‌های لایه‌نشانی متفاوت لایه‌های نازک آلومینیوم بر روی بستر ITO/PEDOT:PSS/Alq<sub>3</sub> بر ویژگی‌های ساختاری لایه آلومینیوم است. بدین منظور لایه‌های نازک PEDOT:PSS، Alq<sub>3</sub> و Al به ترتیب بر روی زیر لایه ITO لایه‌نشانی شدند. برای بررسی اثر تغییر ضخامت، لایه‌های نازک آلومینیوم با ضخامت‌های ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ نانومتر و برای بررسی اثر تغییر آهنگ لایه‌نشانی، لایه‌های نازک آلومینیوم با آهنگ‌های ۰٫۱ و ۰٫۵ و ۱ و ۲ بر روی لایه Alq<sub>3</sub> به روش تبخیر گرمایی لایه‌نشانی شدند. لایه PEDOT:PSS با روش لایه‌نشانی چرخشی با دستگاه spin coating ساخت شرکت Backer لایه‌نشانی شد. لایه‌های Alq<sub>3</sub> و Al به ترتیب با روش لایه‌نشانی تبخیر گرمایی در خلاء با دستگاه تبخیر گرمایی در خلاء ساخت جهاد دانشگاهی دانشگاه شریف لایه‌نشانی شدند. ساختار لایه‌ها توسط پراش پرتو ایکس (XRD) و ریختار آنها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدان (FESEM) و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) مطالعه شدند. مشخصه‌یابی پراش پرتو ایکس نشان داد که لایه‌های تهیه شده با ضخامت کمتر از ۱۰۰ nm و با آهنگ لایه‌نشانی کمتر از ۱ nm/s دارای ساختار بس‌بلوری با قله‌هایی در راستای صفحه (۱۱۱) می‌باشند. تصاویر FESEM ساختار دانه‌ای نمونه‌ها را نشان می‌دهد. افزایش آهنگ لایه‌نشانی منجر به افزایش خوشه‌ها در سطح لایه می‌شود که افزایش اندازه دانه‌ها را به همراه دارد. تصاویر AFM نشان می‌دهند که افزایش ضخامت لایه و آهنگ لایه‌نشانی باعث افزایش زبری سطح لایه می‌شود.

**کلیدواژگان:** آلومینیوم، لایه نازک، تبخیر گرمایی، آهنگ لایه‌نشانی

## مقدمه

و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مواد برای کاربرد در صنعت میکروالکترونیک شناخته شده است [۳]. کاربرد وسیع لایه‌های نازک آلومینیوم به دلیل رسانایی الکتریکی مناسب، هزینه کم و پایداری بالای آن است [۴]. لایه‌نشانی آلومینیوم بر روی شیشه به دلیل انعکاس بالا و چسبندگی خوب به شیشه، پرکاربردترین پوشش

امروزه لایه‌های نازک کاربرد وسیع در حسگرهای گازی، قطعات اپتوالکترونیک شامل سلول‌های خورشیدی، دیودهای نور گسیل، نمایشگرها و قطعات الکترونیکی دارند [۱،۲]. لایه نازک آلومینیوم نیز کاربردهای متعددی در شاخه‌های مختلف فناوری دارد

\* نویسنده مسئول m.r.fadavieslam@du.ac.ir



### روش تجربی

در این پژوهش لایه‌های نازک PEDOT:PSS، در این پژوهش لایه‌های نازک PEDOT:PSS، Alq<sub>3</sub> و Al به ترتیب بر روی زیر لایه ITO جهت تهیه دیود نور گسیل آلی لایه‌نشانی شدند. جهت لایه‌نشانی PEDOT:PSS، ۴۰ μlit محلول PEDOT:PSS با روش پوشش‌دهی چرخشی بر روی بستر ITO لایه‌نشانی شد. این پوشش‌دهی توسط دستگاه لایه‌نشانی چرخشی و به مدت یک دقیقه و با سرعت چرخش ۴۰۰۰ rpm انجام شد. سپس لایه‌ها تحت دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه در محیط خلأ خشک شدند. در مرحله بعدی لایه Alq<sub>3</sub> بر روی لایه PEDOT:PSS لایه‌نشانی شد. بدین منظور مقدار ۰/۱ mgr از Alq<sub>3</sub> در بوتله‌ای از جنس تنگستن در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از زیرلایه قرار گرفت. لایه‌نشانی با آهنگ ۰/۵ nm/s و در خلأ ۱۰<sup>-۵</sup> mbar انجام شد و لایه‌هایی به ضخامت ۸۰ nm تشکیل شدند.

لایه‌نشانی آلومینیوم با دو هدف بررسی ضخامت و آهنگ لایه‌نشانی انجام شد. لایه‌ها آلومینیوم با ضخامت‌های ۶۰ و ۸۰ و ۱۰۰ نانومتر با آهنگ ثابت ۰/۵ nm/s بر روی لایه Alq<sub>3</sub> لایه‌نشانی شدند که به ترتیب نمونه‌های D<sub>۱</sub> و D<sub>۲</sub> و D<sub>۳</sub> نام‌گذاری شدند. همچنین لایه‌هایی با ضخامت ۸۰ nm و با آهنگ لایه‌نشانی ۰/۱، ۱ و ۲ nm/s نیز تهیه شدند که به ترتیب نمونه‌های D<sub>۴</sub> و D<sub>۵</sub> و D<sub>۶</sub> نام‌گذاری شدند. در جدول ۱ مشخصات نمونه‌های تهیه شده آورده شده است.

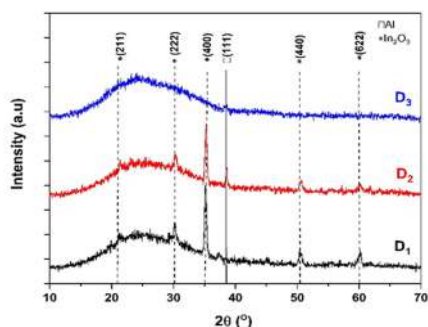
طرح‌واره‌ای از لایه‌های قرار گرفته بر روی یکدیگر در دیود نور گسیل آلی در شکل ۱ آورده شده است.

برای آینه‌های نوری است [۳،۵]. از دیگر کاربردهای لایه‌های نازک آلومینیوم تهیه شده به روش تبخیر حرارتی می‌توان به پروب‌های فیبر نوری میدان نزدیک [۶]، ترانزیستورهای لایه نازک [۳]، نمایشگرهای صفحه تخت [۳]، سلول‌های خورشیدی [۳] و دیودهای نور گسیل آلی [۷] اشاره کرد. علاوه بر اینها لایه‌های نازک آلومینیوم به دلیل رسانایی خوب، هزینه کم و پایداری بالا به طور گسترده در دستگاه‌های الکترونیکی استفاده می‌شوند [۴]. یکی از روش‌های لایه‌نشانی آلومینیوم لایه‌نشانی به روش تبخیر گرمایی (PVD) است. مزایای این روش تمیز بودن محیط رشد، کیفیت بالای لایه و آهنگ لایه‌نشانی بالای آن است [۴]. خواص فیزیکی لایه‌های نازک آلومینیوم به شدت به ریزساختار لایه بستگی دارد. بنابراین می‌توان ویژگی‌های لایه نازک را با کنترل ریزساختار آن کنترل نمود [۸]. آهنگ لایه‌نشانی یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر ساختار و ریختار سطح لایه نازک آلومینیوم است [۳]. هایک خاچاتریان و همکاران نشان دادند که لایه‌های آلومینیوم با ضخامت حدود ۱۰ نانومتر ماهیت عمدتاً آمورف دارند و فرآیند تبلور برای ضخامت‌های بیشتر از ۳۰ نانومتر صورت می‌گیرد و همچنین تبلور و رشد دانه منجر به افزایش زبری سطح لایه می‌شود [۸]. کیریل بوردو و همکاران نیز نشان دادند که اندازه دانه و زبری سطح لایه نازک آلومینیوم به شدت به آهنگ رسوب بستگی دارد [۳].

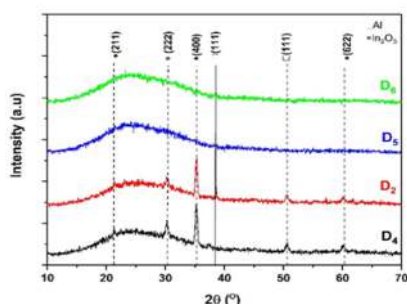
این گزارش بخشی از پژوهش انجام شده در خصوص تأثیر شرایط لایه‌نشانی آلومینیوم بر روی ویژگی‌های دیود نور گسیل آلی است. در این مقاله تأثیر ضخامت و آهنگ لایه‌نشانی آلومینیوم بر روی ویژگی‌های ساختاری آن مطالعه شده است. لایه‌های نازک آلومینیوم بر روی لایه‌های Alq<sub>3</sub> به روش تبخیر در خلأ لایه‌نشانی شدند.

جدول ۱. ضخامت و آهنگ لایه‌نشانی لایه آلومینیوم در نمونه‌های  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$ ,  $D_5$  و  $D_6$

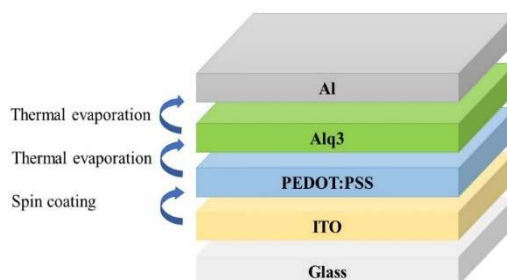
نمونه	ضخامت لایه آلومینیوم (nm)	آهنگ لایه نشانی لایه آلومینیوم (nm/s)
$D_1$	۶۰	۰٫۵
$D_2$	۸۰	۰٫۵
$D_3$	۱۰۰	۰٫۵
$D_4$	۸۰	۰٫۱
$D_5$	۸۰	۱
$D_6$	۸۰	۲



شکل ۲. الگوهای پراش لایه‌های آلومینیوم تهیه شده با ضخامت‌های متفاوت ۶۰ نانومتر در  $D_1$ ، ۸۰ نانومتر در  $D_2$  و ۱۰۰ نانومتر در  $D_3$  با ساختار Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq3/Al



شکل ۳. الگوهای پراش لایه‌های آلومینیوم تهیه شده با آهنگ لایه نشانی ۰٫۱ در  $D_4$ ، ۰٫۵ در  $D_2$ ، ۱ در  $D_5$  و ۲ nm/s در  $D_6$  با ساختار Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq3/Al



شکل ۱. طرحواره ساختار دیوهای نور گسیل آلی با ساختار Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq3/Al

### مشخصه‌یابی

جهت تعیین ساختار بلوری از دستگاه پراش پرتو X مدل D8 ADVANCE-BRUKER استفاده شد. برای مطالعه ریختار سطح میکروسکوپ الکترونی مدل HITACHI S4160 و میکروسکوپ نیروی اتمی مدل AFM; 95-50-EDME بکارگرفته شدند.

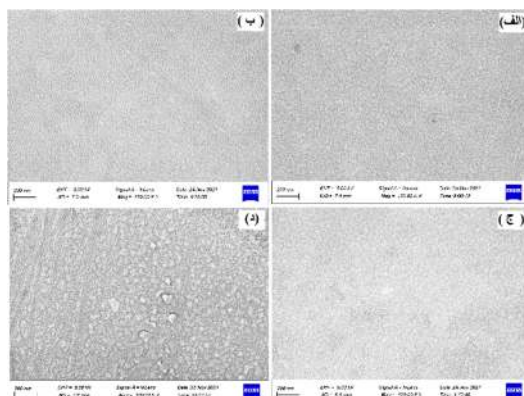
### نتایج و بحث

مشخصه‌یابی پراش پرتو ایکس (XRD): طیف‌های مقایسه‌ای پراش پرتو ایکس نمونه‌ها در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

مطالعه شکل‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد که نمونه‌ها به صورت بی‌شکل و بس‌بلور هستند. در نمونه‌های بس‌بلور قله‌هایی مربوط به ساختار ITO مربوط به زیر لایه وجود دارند که با کارت استاندارد JCPDS No. 71-2194 تطابق دارند [۷]. قله ارجح فاز مکعبی Al مربوط به راستای بلوری (۱۱۱) در نمونه‌ها مشاهده می‌شود که با کارت استاندارد JCPDS file 85-1327 تطابق دارد [۹]. مطالعه طیف‌های مقایسه‌ای پراش پرتو ایکس نمونه‌های  $D_1$  و  $D_2$  و  $D_3$  در شکل ۲ نشان می‌دهد که نمونه‌ها دارای ساختار بس‌بلوری هستند. قله‌های مربوط به ساختار Al و  $In_2O_3$  در آنها مشاهده می‌شود. به دلیل ضخامت کم لایه آلومینیوم تشکیل شده

شکل ۴. تصاویر FESEM از لایه‌های آلومینیوم با ضخامت‌های الف: ۶۰، ب: ۸۰ و ج: ۱۰۰ نانومتر در دیود نور گسیل آلی با ساختار Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq<sub>3</sub>/Al

مطالعه این شکل نشان می‌دهد که لایه‌ها دارای ریختار دانه‌ای هستند و افزایش ضخامت آنها باعث می‌شود که اندازه دانه‌ها بزرگ‌تر شود. تصاویر FESEM لایه‌های نازک آلومینیوم تهیه شده با ضخامت ثابت ۸۰nm و با آهنگ‌های لایه‌نشانی ۰/۱ تا ۲nm/s در شکل ۵ ارائه شده است. مطالعه این شکل نشان می‌دهد که لایه‌ها دارای ساختار دانه‌ای هستند و علاوه بر آن افزایش آهنگ لایه‌نشانی باعث افزایش اندازه دانه‌ها می‌شود. آهنگ لایه‌نشانی پایین منجر به تبخیر کمتر اتم‌ها و در نتیجه تشکیل کمتر خوشه‌ها می‌شود. بنابراین دانه‌های تشکیل شده از خوشه‌ها نیز کوچک هستند. با افزایش آهنگ لایه‌نشانی تعداد اتم‌های آلومینیوم که در واحد زمان به سطح می‌رسند افزایش می‌یابد که در نتیجه تعداد خوشه‌های تشکیل شده در سطح افزایش یافته که در نهایت منجر به تشکیل دانه‌های بزرگ‌تر می‌شود [۳].



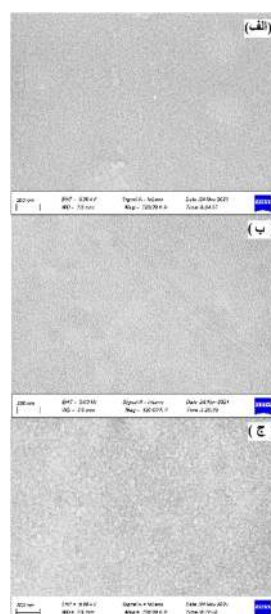
شکل ۵. تصاویر FESEM از لایه‌های آلومینیوم با آهنگ لایه‌نشانی الف: ۰/۱، ب: ۰/۵، ج: ۱ و د: ۲nm/s در دیود نور گسیل آلی با ساختار Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq<sub>3</sub>/Al

مشخصه‌یابی AFM: برای بررسی ویژگی‌های سطحی لایه‌های آلومینیوم، لازم است ریختار سه بعدی زبری سطح آنها مطالعه شود. بنابراین با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی تصاویر ریختار دو و سه

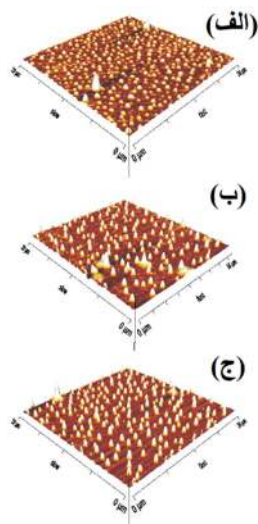
بر روی بستر ITO، قله‌های مربوط به بستر در نمونه های D<sub>۱</sub> و D<sub>۲</sub> مشاهده می‌شود. شدت قله مربوط به فاز آلومینیوم برای نمونه تهیه شده با ضخامت ۸۰nm دارای بیشترین مقدار است. با افزایش ضخامت لایه آلومینیوم از ۸۰ به ۱۰۰nm قله‌های مربوط به بستر ITO حذف می‌شوند.

با هدف مطالعه تأثیر آهنگ لایه‌نشانی بر ساختار لایه‌های نازک آلومینیوم طیف مقایسه‌ای پراش پرتو ایکس نمونه‌های D<sub>۱</sub>، D<sub>۲</sub>، D<sub>۳</sub> و D<sub>۴</sub> در شکل ۳ نمایش داده شده است. بررسی این شکل نشان می‌دهد که با افزایش آهنگ لایه‌نشانی از ۰/۵ به ۲nm/s ساختار لایه‌ها از بس بلوری به آمورف تبدیل می‌شود.

مشخصه‌یابی FESEM: ساختار و مورفولوژی سطح لایه‌های آلومینیوم رسوب شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدان مورد مطالعه قرار گرفت. تصاویر FESEM از لایه‌های نازک آلومینیوم لایه‌نشانی شده با آهنگ لایه‌نشانی ثابت ۰/۵nm/s و ضخامت‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است.



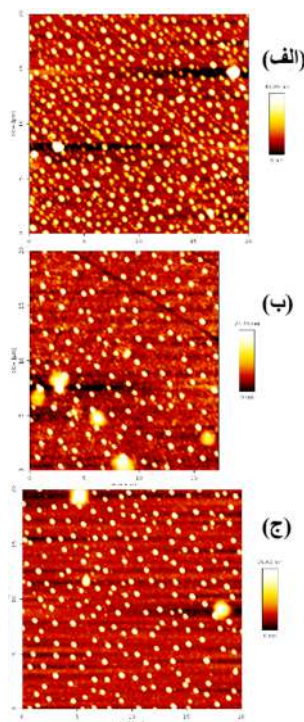
نانومتر در نمونه  $D_3$  در دیود نور گسیل آلی با ساختار Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq<sub>3</sub>/Al



شکل ۷. تصاویر سه بعدی AFM از لایه‌های آلومینیوم با ضخامت‌های الف: ۶۰ نانومتر در نمونه  $D_1$  ب: ۸۰ نانومتر در نمونه  $D_2$  و ج: ۱۰۰ نانومتر در نمونه  $D_3$  در دیود نور گسیل آلی با ساختار Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq<sub>3</sub>/Al

شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب تصاویر دو و سه بعدی AFM نمونه‌های تهیه شده با آهنگ لایه‌نشانی ۰٫۱، ۰٫۵، ۱ و ۲ nm/s را نشان می‌دهند. در نمونه  $D_4$  که آهنگ لایه‌نشانی نسبت به بقیه نمونه‌ها کمتر است سطح لایه صاف‌تر است. در نمونه  $D_5$  با افزایش آهنگ لایه‌نشانی به ۱ nm/s اندازه تپه‌ها بزرگتر شده و زبری لایه نیز افزایش می‌یابد. متوسط اندازه زبری سطح نمونه‌های  $D_4$ ،  $D_5$ ،  $D_6$  و  $D_7$  به ترتیب ۰٫۵۷، ۳٫۱۴، ۳٫۶۳ و ۴٫۱۲ nm است. در نمونه‌های لایه نازک آلومینیوم با آهنگ لایه‌نشانی کمتر لایه‌ها زبری کمتری دارند [۸]. افزایش آهنگ لایه‌نشانی سبب افزایش زبری سطح می‌شود. افزایش زبری سطح لایه‌ها با افزایش اندازه دانه‌های مشاهده شده در تصاویر FESEM همخوانی مناسبی دارند.

بعدی لایه‌های نازک آلومینیوم تهیه شدند. شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب تصاویر دو و سه بعدی AFM نمونه‌های  $D_1$ ،  $D_2$  و  $D_3$  را نشان می‌دهند. مطالعه این شکل‌ها نشان می‌دهد که لایه‌ها دانه‌های ستونی شکل دارند و با افزایش ضخامت لایه‌ها ارتفاع دانه‌های ستونی افزایش می‌یابد. متوسط اندازه زبری سطح نمونه‌های  $D_1$ ،  $D_2$  و  $D_3$  به ترتیب ۰٫۷۰۷، ۳٫۱۴ و ۳٫۶۹ nm است. انتظار می‌رود که افزایش ضخامت لایه‌های آلومینیوم باعث افزایش زبری سطح و بزرگتر شدن ارتفاع تپه‌ها شود [۸]. لایه آلومینیوم بر روی زیر لایه Alq<sub>3</sub> لایه نشانی شده است و این لایه به دلیل لایه‌نشانی به روش چرخشی دارای زبری قابل توجهی است. بنابراین مقدار قابل توجه زبری لایه  $D_1$  به دلیل زبری زیاد بستر و ضخامت کم لایه  $D_1$  در مقایسه با سایر لایه‌ها است.



شکل ۸. تصاویر دو بعدی AFM از لایه‌های آلومینیوم با ضخامت‌های الف: ۶۰ نانومتر در نمونه  $D_1$  ب: ۸۰ نانومتر در نمونه  $D_2$  و ج: ۱۰۰



### بحث و نتیجه گیری

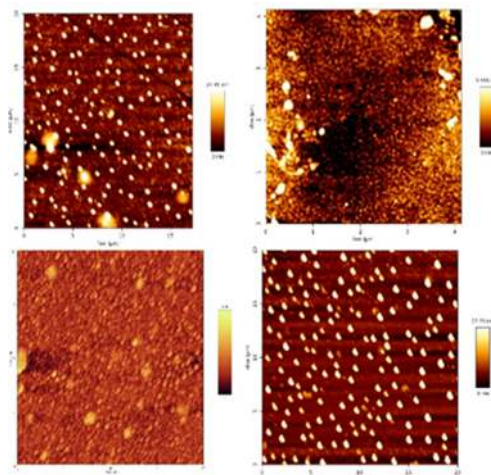
این مطالعه بر روی تهیه لایه فلزی کم هزینه و با کارایی بالا بر روی بستر آلی به منظور کاربرد در دیوهای نور گسیل آلی متمرکز شده است. خواص ساختاری لایه‌های آلومینیوم از طریق الگوی پراش پرتوی X و ریختار سطح از طریق تجزیه و تحلیل FESEM و AFM مورد مطالعه قرار گرفت. مشخصه یابی پراش پرتو ایکس لایه‌ها نشان داد که:

۱. تشکیل لایه بس‌بلور به ضخامت و آهنگ لایه‌نشانی لایه بستگی دارد.
۲. وابستگی اندازه دانه به آهنگ لایه‌نشانی مورد مطالعه قرار گرفته است. تصویربرداری FESEM از لایه‌های آلومینیوم ساختار دانه‌ای را نشان می‌دهد، اندازه دانه به آهنگ لایه‌نشانی بستگی دارد. لایه‌هایی که با آهنگ لایه‌نشانی بالا تولید می‌شوند، رشد دانه‌هایی را نشان می‌دهند که چگالی آنها با آهنگ لایه‌نشانی افزایش می‌یابد.
۳. نتایج تصویربرداری AFM حاکی از آن است که نمونه‌های تهیه شده با آهنگ لایه‌نشانی کمتر زبری کمتری دارند.
۴. با افزایش آهنگ لایه‌نشانی از ۰٫۱ به ۱ nm/s اندازه تپه‌ها بزرگتر شده و زبری لایه نیز افزایش می‌یابد.

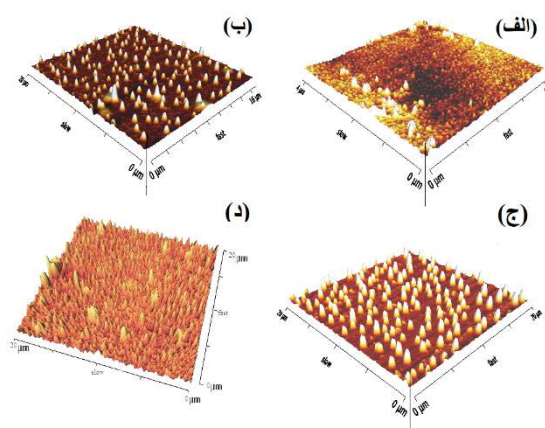
این مطالعه، پژوهشی کاربردی برای توسعه آینده دیوهای نور گسیل آلی با کارایی بالا است و برای صنایع اپتوالکترونیک مفید است.

### مرجع‌ها

[1] E. Feyzi, F. Hajakbari, A.R. Hojabri, Effect of annealing temperature on structural, morphological and optical properties of Cu/NiO thin films, *Journal of Research on Many-body Systems* 12



شکل ۸. تصاویر دو بعدی AFM از لایه‌های آلومینیوم با آهنگ لایه نشانی الف: ۰٫۱ در نمونه D<sub>۴</sub> ب: ۰٫۵ در نمونه D<sub>۶</sub>، ج: ۱ در نمونه D<sub>۵</sub> و د: ۲ nm/s در نمونه D<sub>۶</sub> در دیود نور گسیل آلی با ساختار Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq<sub>3</sub>/Al



شکل ۹. تصاویر سه بعدی AFM از لایه‌های آلومینیوم با آهنگ لایه نشانی الف: ۰٫۱ در نمونه D<sub>۴</sub> ب: ۰٫۵ در نمونه D<sub>۶</sub>، ج: ۱ در نمونه D<sub>۵</sub> و د: ۲ nm/s در نمونه D<sub>۶</sub> در دیود نور گسیل آلی با ساختار Glass/ITO/PEDOT:PSS/Alq<sub>3</sub>/Al

- (1961) 719-722.  
<https://doi.org/10.1364/JOSA.51.000719>
- [6] C.W. Hollars, R.C. Dunn, Evaluation of thermal evaporation conditions used in coating aluminum on near-field fiber-optic probes, *Review of Scientific Instruments* **69** (1998) 1747-1752.
- [7] M. Yahya, M.R. Fadavieslam, The effects of argon plasma treatment on ITO properties and the performance of OLED devices, *Optical Materials* **120** (2021) 111400.  
<https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111400>
- [8] H. Khachatryan, S.-N. Lee, K.-B. Kim, M. Kim, Deposition of Al thin film on steel substrate: the role of thickness on crystallization and grain growth, *Metals* **9** (2018) 12.  
<https://doi.org/10.3390/met9010012>
- [9] S.K. Sharma, D.Y. Kim, Abnormal residual stress in nanostructured Al thin films grown on Ti/glass substrates, *Current Applied Physics* **13** (2013) 1874-1879.  
<https://doi.org/10.1016/j.cap.2013.07.022>
- (2022) 23-36.  
[https://jrmbs.scu.ac.ir/article\\_17344.html](https://jrmbs.scu.ac.ir/article_17344.html)
- [2] M. Nemti, M. Yuonesi, Changing of optical and structural properties of nano layer zinc oxide doping with manganese with physical parametres, *Journal of Research on Many-body Systems* **9** (2019) 173-185.  
[https://jrmbs.scu.ac.ir/article\\_14876.html?lang=en](https://jrmbs.scu.ac.ir/article_14876.html?lang=en)
- [3] K. Bordo, H.-G. Rubahn, Effect of deposition rate on structure and surface morphology of thin evaporated Al films on dielectrics and semiconductors, *Materials Science* **18** (2012) 313-317.  
<https://doi.org/10.5755/j01.ms.18.4.3088>
- [4] H. Khachatryan, S.-N. Lee, K.-B. Kim, H.-K. Kim, M. Kim, Al thin film: The effect of substrate type on Al film formation and morphology, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* **122** (2018) 109-117.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2018.06.018>
- [5] G. Hass, J.E. Waylonis, Optical constants and reflectance and transmittance of evaporated aluminum in the visible and ultraviolet, *JOSA* **51**