

(دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۲/۲۱؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۱/۵/۲۳)

$\beta$	$\alpha$	$\xi$	$w (RMS)$	(ITO)
$EW$				
				$\beta = 0.11 \pm 0.01$ $\alpha = 0.72 \pm 0.01$
				(ITO)

این نیمرسانا بالاترین شفافیت نوری و کمترین مقاومت الکتریکی را در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک طیف الکترومغناطیسی از خود نشان می‌دهد [۴، ۵]. لایه‌های ITO به طور گسترده‌ای به عنوان الکتروود شفاف در انواع ابزارهای اپتوالکترونیکی مختلف همچون نمایشگرهای کریستال مایع<sup>۱</sup> (LCDs)، سلول‌های خورشیدی، دیودهای آلی گسیلنده نور<sup>۲</sup> (OLEDs) و نمایشگرهای صفحه تخت<sup>۳</sup> (FPDs) به کار می‌رود [۶، ۷]. روش‌های مختلفی برای تولید لایه‌های نازک ITO به کار گرفته شده است. لایه‌های تهیه شده شدیداً تحت

اکسیدهای رسانای شفاف (TCOs) از حوزه‌های جالب علم مواد می‌باشد که به دلیل پایداریشان نسبت به گذشت زمان از اهمیت و کارایی بالایی برخوردارند [۱]. رساناهای شفاف متداول شامل اکسید روی (ZnO)، اکسید کادمیوم (CdO)، اکسید ایندیوم (In<sub>۲</sub>O<sub>۳</sub>)، اکسید قلع (SnO<sub>۲</sub>) و یا ترکیبی از این دو به صورت اکسید ایندیوم آلیایده با قلع (ITO) است [۲]. اکسید ایندیوم آلیایده با قلع (ITO) یک نیمرسانای نوع n با پهنای گاف انرژی ۳/۶۵ الکترون ولت است که برای تشکیل آن قلع در شبکه In<sub>۲</sub>O<sub>۳</sub> به صورت آلاینده کاتیونی رفتار می‌کند و با افزایش چگالی حامل‌های بار تا حد بحرانی (۱۰<sup>۲۰</sup> / cm<sup>۳</sup>)، نیمرسانای با تبهگنی بالایی تشکیل می‌دهد.

۱. Liquid Crystal Displays

۲. Organic Light Emitting Diodes

۳. Flat Panel Displays

بستره‌های شیشه در محفظهٔ خلاء آنها را در استون و اتانول، با استفاده از فراصوت به مدت ۱۰ دقیقه تمییز کرده و در نهایت با گاز نیتروژن خشک می‌کنیم. فشار پایه محفظه خلاء قبل از انباشت به مقدار  $1 \times 10^{-6}$  میلی‌بار رسانده می‌شود. گاز واکنش‌پذیر (اکسیژن) با درجهٔ خلوص (۹۹/۹۹٪) در مقدار  $4 \text{ sccm}^2$  را به داخل سیستم انباشت که از لوله‌های فولادی با دریچه سوراخ‌دار مدرج شده است، وارد کرده و آهنگ ورود آن را به وسیلهٔ شارسنج تنظیم می‌کنیم. با ثابت نگه داشتن آهنگ انباشت لایه در  $0.5 \text{ nm/s}$ ، لایه‌ها در ضخامت‌های  $100 \text{ nm}$ ،  $150 \text{ nm}$  و  $250 \text{ nm}$  تهیه شدند. ضخامت لایه‌ها به وسیله دستگاه ضخامت سنج بلور کوارتز کنترل و این فرآیند لایه نشانی بر روی صفحهٔ نمایش نشان داده شد. مورفولوژی سطح هر نمونه را با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (از نوع TM Microscopes Veeco Metrology Group) در مد تماسی و مساحت روبش ( $3 \mu\text{m} \times 3 \mu\text{m}$ ) محاسبه می‌کنیم. داده‌های رقمی مورد نیاز از سطح نمونه توسط یک سوزن بسیار تیز از جنس  $\text{Si}_3\text{N}_4$  و با مد نیروی ثابت در ابعاد  $512 \text{ Pixel} \times 512 \text{ Pixel}$  استخراج کرده و با تبدیل تصاویر توپوگرافی به داده‌های ASCII تحلیل و بررسی آنها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

## ITO

با استفاده از روش‌های گوناگون در فضای واقعی مثلاً AFM می‌توانیم اطلاعات ارتفاع سطح را به دست آوریم. این اطلاعات معمولاً به صورت عددی می‌باشد که با روش‌های مختلفی می‌توان این داده‌ها را تحلیل کرد، از جملهٔ این روش‌ها  $R_a$  و RMS است.  $R_a$  ناهمواری میانگین، در واقع میانگین اندازهٔ ارتفاع سطح وابسته به تراز مرجع می‌باشد و RMS ریشهٔ میانگین مربعات انحراف از تراز مرجع یا پهنای فصل مشترک  $w$  نامیده می‌شود [۱۳]. در حالت دو بعدی، شکل گسستهٔ  $R_a$  و  $w$  برای سطوحی با N نقطه که در هر دو راستای x و y اندازه‌گیری شده‌اند با روابط زیر نشان داده می‌شوند:

تأثیر نوع روش و شرایط انباشت قرار دارند و رسانندگی، شفافیت و مورفولوژی مختلفی دارند. از جملهٔ این روش‌ها می‌توان به کندوپاش مغناطیسی DC و RF [۸]، تبخیر با پرتو الکترونی [۹]، انباشت با پالس لیزری [۱۰] اشاره کرد. توصیف ناهمواری سطح، مسئلهٔ مهمی در علوم کاربردی و پایه است. اهمیت مطالعه مورفولوژی سطح ناشی از این واقعیت است که بسیاری از خواص فیزیکی و شیمیایی لایه به طور مستقیم به وسیله مورفولوژی سطح کنترل می‌شود. همچنین وابستگی شدیدی بین مورفولوژی سطح لایه و خواص فرکتالی آن وجود دارد. به عنوان مثال در لایه‌های نازک ITO مورفولوژی سطح نقش مهمی در انتقال الکترون روی سطح لایه دارد [۱۱-۵]. برای توصیف ناهمواری سطح با استفاده از تصویرگیری فضایی - واقعی از روش‌های مختلفی مانند میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، میکروسکوپ روبشی تونلی (STM)، میکروسکوپ عبور الکترونی (TEM) و میکروسکوپ ثانویه الکترونی استفاده می‌شود. میکروسکوپ نیروی اتمی تکنیکی است که به طور گسترده در بررسی ناهمواری سطح مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای مطالعهٔ سطوح لایه‌های نازک ITO نیز مفید واقع شده است [۱۲]. در این مقاله با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، پارامترهای ناهمواری سطح لایه‌های نازک ITO تهیه شده به روش تبخیر با پرتو الکترونی بر روی بسترهٔ شیشه در حالت غیر کریستالی (آمورف) بررسی شد. با توجه به تحلیل نتایج اندازه‌گیری‌های حاصل از مدل فرکتالی مورد استفاده، وابستگی پارامترهای فیزیکی سطح به ضخامت در حالت آمورف مورد مطالعه قرار گرفت.

لایه‌های نازک ITO مورد مطالعه در این تحقیق به روش تبخیر با پرتو الکترونی واکنش‌پذیر، در ضخامت‌های مختلف، در دمای اتاق ( $25^\circ \text{C}$ ) بر روی بسترهٔ شیشه‌ای لایه نشانی شد. ماده هدف  $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{SnO}_2$  (تهیه شده از شرکت مرک<sup>۱</sup>) در نسبت‌های وزنی  $90 \text{ wt} \% \text{In}_2\text{O}_3$  و  $10 \text{ wt} \% \text{SnO}_2$  به عنوان چشمهٔ تبخیر مورد استفاده قرار گرفت. قبل از قرار دادن

۲. standard cube centimeters per minute

۱. Merk

فاصله متفاوت توزیع شده‌اند [۱۲]. دومین ویژگی، سیر تکاملی از ناهمواری سطح (پهنای فصل مشترک  $w$ ) به صورت تابعی از ضخامت است به طوری که دره‌ها، قله‌ها و اندازه خوشه‌های جزایر بر اثر فرآیند رشد ضخامت کوچکتر می‌شوند. این خاصیت به این علت است که رشد اولیه لایه‌ها، رشد جزیره‌های یا ولمر-ویر دارد. در این نوع از رشد بر روی بستره جزیره‌های سه‌بعدی به صورت جدا از هم تشکیل می‌شود به علاوه انرژی برهم‌کنش بین اتم‌های لایه-لایه شدیدتر از انرژی برهم‌کنش بین اتم‌های لایه-بستره است. مشاهدات نشان می‌دهد مقادیر پهنای فصل مشترک  $w$  با افزایش ضخامت از  $22/4\text{nm}$  تا  $5/6\text{nm}$  به ترتیب برای لایه با ضخامت  $100\text{nm}$  و  $250\text{nm}$  کاهش پیدا می‌کند (جدول ۱ را نگاه کنید). تحلیل فوق بیانگر آن است که افزایش ضخامت باعث کوچکتر شدن جزیره‌ها شده و بر اندازه خوشه‌ها تأثیر می‌گذارد. بنابراین وجود اختلاف در اندازه خوشه بر روی ناهمواری سطح لایه مؤثر است [۱۴].

### ITO

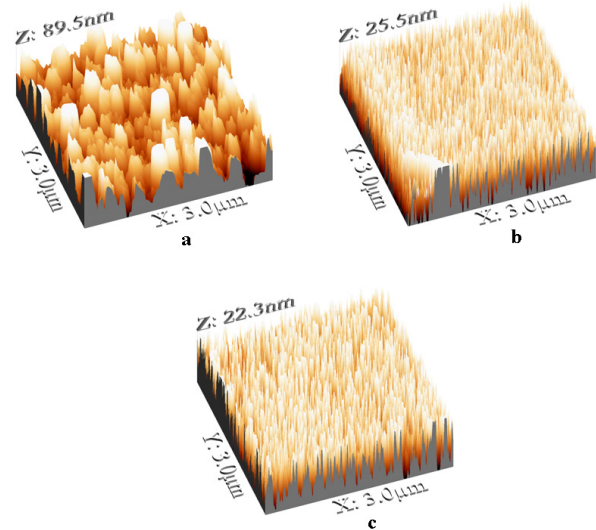
با تحلیل آماری می‌توان ویژگی‌های مورفولوژی سطح و فرآیند پوشی رشد را به طور کمی مورد بررسی قرار داد. تابع همبستگی ارتفاع-ارتفاع می‌تواند ویژگی‌های آماری را به تفصیل توصیف کند. اگر  $h(i,j)$  ارتفاع نقطه  $r(i,j)$  از سطح اندازه‌گیری به وسیله AFM باشد و تعداد کل نقاطی که ارتفاع سطح در آنها اندازه‌گیری شده است را با  $N \times N$  و فاصله افقی بین دو پیکسل مجاور را با  $d$  نمایش دهیم، آنگاه تابع همبستگی ارتفاع-ارتفاع  $H(r)$  در امتداد راستای پوشش سریع (راستای  $x$ ) با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$H(r = md) = \frac{1}{N(N-m)} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{N-m} [h(i+m, j) - h(i, j)]^2 \quad (4)$$

برای سطوح خود-خویشی نظریه مقیاس‌بندی پیشنهاد می‌کند که تابع همبستگی ارتفاع-ارتفاع  $H(r)$  به شکل زیر باشد:

$$H(r) = \begin{cases} \rho^2 r^{2\alpha} & \text{for } r \ll \xi \\ 2rw^2 & \text{for } r \gg \xi \end{cases} \quad (5)$$

$\rho$  شیب موضعی میانگین و  $\alpha$  نمای ناهمواری است که



شکل ۱. تصاویر AFM لایه‌های نازک ITO در مقیاس  $512 \text{ pixel} \times 512 \text{ pixel}$  در ضخامت‌های  $a=100\text{nm}$ ،  $b=150\text{nm}$  و  $c=250\text{nm}$

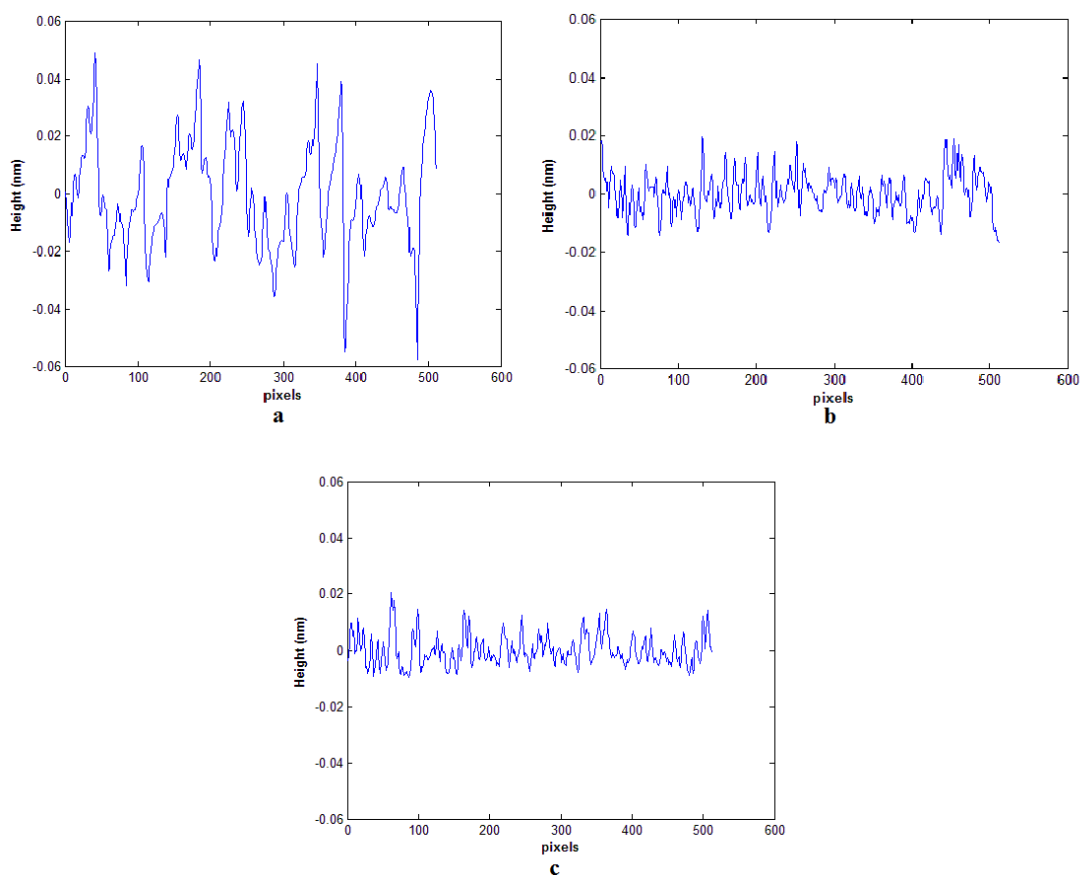
$$W = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i,j=1}^N (h(i,j) - \langle h(i,j) \rangle)^2} \quad (1)$$

$$R_a = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N |h(i,j) - \langle h(i,j) \rangle| \quad (2)$$

$$\langle h(i,j) \rangle = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N h(i,j) \quad (3)$$

که در آنها  $h(i,j)$  و  $\langle h(i,j) \rangle$  به ترتیب ارتفاع نقاط سطح و میانگین روی ارتفاع تمام نقاط سطح را نشان می‌دهد.  $N^2$  نیز تعداد کل نقاطی است که ارتفاع سطح در آنها اندازه‌گیری می‌شود. ناهمواری میانگین  $R_a$  و پهنای فصل مشترک  $w$  به عنوان بخشی از تحلیل کمی تصاویر AFM جهت توصیف مورفولوژی سطح، مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۱ تصاویر AFM سه بعدی از لایه‌های مورد تحقیق در ضخامت‌های مختلف را نشان می‌دهد. همچنین روبش‌های یک بعدی سطح مقطع نمایه‌های سطح برای لایه‌های فوق در شکل ۲ نشان داده شده است.

با نگاهی به این شکل‌ها دو ویژگی مورفولوژیکی قابل تشخیص است: ویژگی اول، در این تصاویر سیر تکاملی رشد در سطح لایه در هر دو جهت عمودی و جانبی قابل مشاهده است. به علاوه در تمام لایه‌ها ریزدانه‌ها با اندازه‌های مختلف و



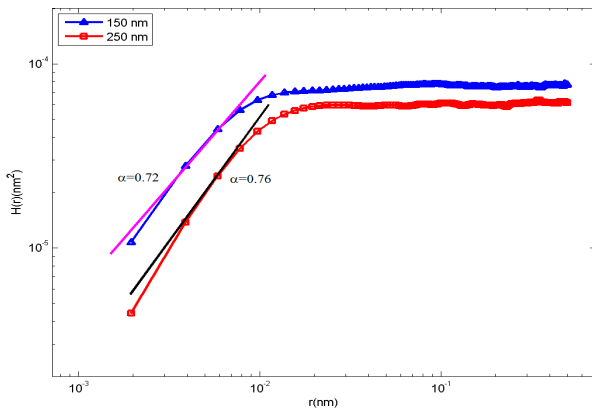
شکل ۲. روبش‌های نمایه سطح یک بعدی تصاویر شکل ۱ از لایه‌های مورد تحقیق در ضخامت‌های مختلف  $a=100\text{ nm}$ ،  $b=150\text{ nm}$  و  $c=250\text{ nm}$ .

جدول ۱. ارتفاع میانگین  $R_a$ ، پهنای فصل مشترک  $w$ ، طول همبستگی عرضی  $\xi$ ، نمای ناهمواری  $\alpha$  و بعد فرکتالی لایه‌های ITO.

نمونه	ضخامت	$R_a(\text{nm})$	$w(\text{nm})$	$\xi$	$\alpha$	$D_f$
a	۱۰۰nm	۱۷/۴	۲۲/۴	۷۳/۲	۰/۶۹	۲/۳۱
b	۱۵۰nm	۱۴/۳	۱۶/۶	۴۲/۹	۰/۷۲	۲/۲۸
c	۲۵۰nm	۴/۴	۵/۶	۳۵/۱	۰/۷۶	۲/۲۴

$\alpha$  متناظر با هموار (صاف) بودن سطح و مقدار کوچکتر  $\alpha$  متناظر با مورفولوژی سطحی است که ناهمواری بیشتری دارد [۱۶، ۱۵]. از تابع همبستگی ارتفاع-ارتفاع می‌توان پارامترهای لازم جهت توصیف کمی از سیر تکاملی رشد در لایه‌های نازک ITO بازپخت نشده را تعیین کرد این پارامترها عبارتند از: نمای ناهمواری  $\alpha$ ، طول همبستگی عرضی  $\xi$  و پهنای فصل مشترک  $w$ . در مقیاس کوتاه-برد رسم منحنی  $\ln H(r)$  بر حسب  $\ln(r)$  یک خط راست است یعنی  $H(r)$  متناسب با  $r^{2\alpha}$  است. نمای ناهمواری را می‌توان با برازش  $H(r)$  در این مقیاس (که شیب آن

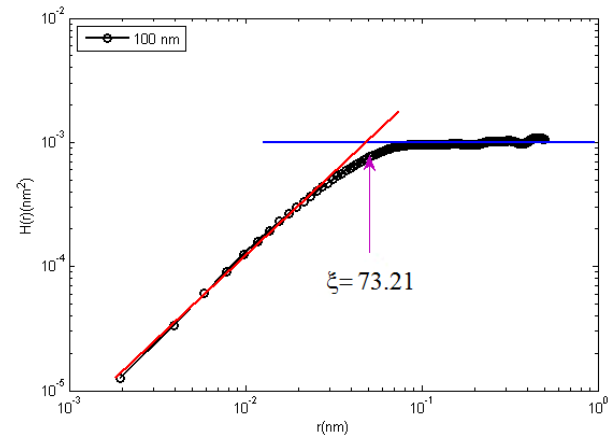
چگونگی افت و خیزهای موضعی سطح نمونه را توصیف می‌کند. پارامتر  $\xi$  طول همبستگی عرضی است و به صورت بیشترین فاصله که ارتفاعات از هم دارند، تعریف می‌شود. به عبارتی  $\xi$  یک مقیاس طولی فراهم می‌کند که رفتار سطح ناهموار را در کوتاه-برد و بلند-برد متمایز می‌سازد. نمای ناهمواری  $\alpha$  مستقیماً از طریق رابطه  $D_f = E + 1 - \alpha$  با  $1 < \alpha < 2$  به بعد فرکتالی  $D_f$  سطح کاتوره‌ای مربوط می‌شود.  $E+1$ ، بعد فضای است که در آن لایه رشد می‌کند. برای نمایه  $E=1$  و برای سطح  $E=2$  می‌باشد. مقدار  $\alpha$  متناظر با ساختار سطح است. مقدار بزرگ



شکل ۴. تابع همبستگی ارتفاع-ارتفاع  $H(r)$  بر حسب  $r$  برای لایه به ضخامت ۱۵۰ nm و ۲۵۰ nm. شیب منحنی‌ها (خطوط پر) برای  $r$  کوچک مقدار  $2\alpha$  را می‌دهد که  $\alpha$  نمای ناهمواری است.

با مشاهدات از تصاویر AFM است. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۱ خلاصه شده است. نمای ناهمواری در گستره ۰/۷۶-۰/۶۹ قرار دارد. پهنای فصل مشترک و طول همبستگی شدیداً تحت تأثیر افزایش ضخامت قرار دارند و به ترتیب در گستره ۲۲/۴-۵/۶ nm و ۳۳/۲-۳۵/۱ nm تغییر می‌کنند. از مقایسه نتایج حاصل از جدول ۱، مشاهده شد که پهنای فصل مشترک و طول همبستگی وابستگی شدیدی به افزایش ضخامت در حالت آمورف دارند به طوری که با افزایش ضخامت مقدار آنها شدیداً کاهش می‌یابد و همچنین نمای ناهمواری ( $\alpha$ ) تمام لایه‌ها بسیار به هم نزدیکند. از این مطلب استنباط می‌شود که با افزایش ضخامت دینامیک شکل‌گیری ناهمواری لایه‌های نازک ITO در حالت آمورف به احتمال زیاد خیلی شبیه‌اند [۱۲].

روند رشد غیرتعدالی سطوح لایه‌های نازک، در حوزه‌های زمانی و مکانی رفتار خود-خویشی از خود نشان می‌دهد [۱۸]، بنابراین مورفولوژی سطح آنها را می‌توان به وسیله مدل فرکتالی توصیف کرد. ساختار خود-خویشی لایه‌ها با اندازه‌گیری پارامترهای دیگر مقیاس‌بندی بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. یکی دیگر از این پارامترها توان رشد،  $\beta$  می‌باشد. هنگامی که زمان انباشت  $t$  و ضخامت لایه ( $d$ ) با نرخ انباشت ( $r$ ) متناسب باشد یعنی،  $d=rt$ ، آن گاه برای به دست آوردن توان رشد



شکل ۳. تابع همبستگی ارتفاع-ارتفاع  $H(r)$  بر حسب  $r$  برای لایه به ضخامت ۱۰۰ nm. محل تقاطع خطوط طول همبستگی عرضی است.

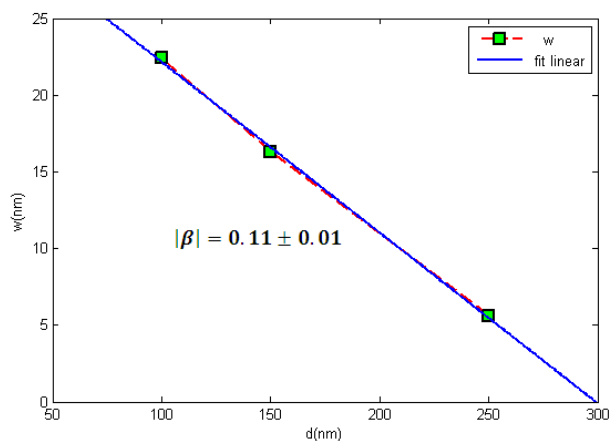
برابر  $2\alpha$  است) استخراج کرد. قسمت تخت منحنی بستگی به پهنای فصل مشترک  $w$  دارد. مقدار  $\xi$  را می‌توان با برآزش منحنی  $H(r)$  با معادله زیر به دست آورد:

$$H(r) = 2w^2 \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{r}{\xi} \right)^{2\alpha} \right] \right\}. \quad (6)$$

شکل‌های ۳ و ۴ تابع همبستگی ارتفاع-ارتفاع را به عنوان تابعی از مکان ( $r$ ) برای لایه‌های نازک ITO بازپخت نشده به ترتیب در ضخامت‌های ۱۰۰ nm، ۱۵۰ nm و ۲۵۰ nm نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود به ازای مقادیر کوچک  $r$  تابع  $H(r)$  ناحیه خطی را ارائه می‌دهد. این مشخص می‌کند که تابع در این ناحیه از قانون توانی پیروی می‌کند و برای  $r$  به اندازه کافی بزرگ، این تابع به مقدار تقریباً ثابتی می‌گراید. نقطه عطف (نقطه اشباع) این دو حالت طول همبستگی عرضی  $\xi$  را مشخص می‌کند. این مشاهدات با فرضیه مقیاس‌بندی برای سطوح خود-خویشی مطابقت دارد [۱۷]. با مقایسه شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌کنید که با افزایش ضخامت قسمت تخت منحنی به ازای مقادیر بزرگ  $r$  با کوچکتر شدن طول همبستگی عرضی و کاهش مقدار ناهمواری به ترتیب تمایل به جابجا شدن به طرف چپ و حرکت در جهت پایین را دارند و این دلالت بر هموار (صاف شدن) سطوح لایه‌های نازک ITO در حالت آمورف (غیرکریستالی) با افزایش ضخامت دارد و سازگار

برداشته و روی همسایه‌های کم ارتفاع قرار می‌دهد. جمله  $-k\nabla^2 h$  نیز نتیجهٔ پخش سطحی به علت انحنای ناشی از پتانسیل شیمیایی است. مقدار  $\beta$  از معادله بالا در محدوده  $0 \leq \beta \leq 0.25$  قرار دارد که از معادله EW و  $0.25$  از معادلهٔ پخش مولینز می‌باشد [۱۸ و ۱۹]. در مقایسه نتایج به دست آمده با پارامترهای مقیاس‌بندی حاصل از این مدل‌ها مشاهده شد که مقادیر مقیاس‌بندی حاصل از لایه‌های نازک مورد تحقیق ما بین مقادیر حاصل از این دو مدل قرار دارند بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که معادله رشد حاکم بر لایه‌های نازک ITO مورد تحقیق که در حالت بازپخت نشده مورد بررسی قرار گرفتند، از مدل خطی لانژون پیروی می‌کند.

در این مقاله با استفاده از تکنیک AFM، خصوصیات مختلف سطح لایه‌های نازک ITO تهیه شده بر روی بسترهٔ شیشه در ضخامت‌های مختلف به روش تبخیر با پرتو الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل فرکانسالی توصیف قابل قبولی از مورفولوژی سطح لایه‌های ITO، ارائه کرد. مشاهده شد که پهنای فصل مشترک و طول همبستگی وابستگی شدیدی به افزایش ضخامت در حالت آمورف دارند به طوری که با افزایش ضخامت مقدار آنها کاهش می‌یابد. همچنین، نمای ناهمواری تمام لایه‌ها بسیار به هم نزدیک هستند. از این مطلب استنباط می‌شود که دینامیک شکل‌گیری ناهمواری لایه‌ها با افزایش ضخامت می‌تواند یکسان باشد. همچنین آنالیز مقیاس‌بندی نشان داد که دینامیک رشد لایه‌ها از ترکیب مدل‌های خطی EW و پخش سطحی مولینز پیروی می‌کند.



شکل ۵. ناهمواری لایه‌های ITO مورد تحقیق بر حسب ضخامت شیب منحنی مقدار  $\beta$  را می‌دهد که  $\beta$  توان رشد است.

می‌توانیم پهنای فصل مشترک ( $w$ ) را به عنوان تابعی از ضخامت در نمونه‌های رشد با زمان انباشت متفاوت در نظر بگیریم [۱۴]. شکل ۵ وابستگی ناهمواری فصل مشترک  $w$  به ضخامت را برای لایه‌های نازک ITO نشان می‌دهد. با اندازه‌گیری شیب خط برازش واقع بر این نمودار مقدار نمای رشد  $\beta = 0.11 \pm 0.01$  به دست می‌آید. همچنین میانگین نمای ناهمواری با استفاده از تابع همبستگی ارتفاع-ارتفاع به دست آمده و برابر با  $\alpha = 0.72 \pm 0.01$  می‌باشد.

معادلات EW و پخش سطحی مولینز جهت توضیح کمی ساختار رشد خطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر این معادلات را با هم ترکیب کنیم معادلهٔ خطی لانژون<sup>۱</sup> به دست می‌آید.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = v\nabla^2 h - k\nabla^4 h + \eta(x, t), \quad (7)$$

$v\nabla^2 h$  کشش سطحی است. کشش سطحی در واقع همان جمله مربوط به درنگ سطحی می‌باشد که مقداری ارتفاع سطح را یکنواخت‌تر از حالت اصلی می‌سازد، یعنی از ارتفاع ماکزیمم

1. K L Chopra, S Major, and D K Pandya, *Thin solid films*. **102** (1983) 1.
2. A Ambrosini, A Duaret, K R Poepelmeier, M A Lane, C R Kannewurf, and T O Mason, *J. Solid State Chem.* **153** (2000) 41.
3. A Ambrosini, G B Palmer, A Maignan, K R Poepelmeier, M A Lane, P Brazis, C R Kannewurf, T Hogan, and T O Mason, *Chem. Mater.* **14** (2002) 52.
4. J George, and C S Menon, *Surface and Coatings Technology*, **132** (2000) 45.

1. K L Chopra, S Major, and D K Pandya, *Thin solid films*. **102** (1983) 1.
2. A Ambrosini, A Duaret, K R Poepelmeier, M A Lane, C R Kannewurf, and T O Mason, *J. Solid State Chem.* **153** (2000) 41.

<sup>۱</sup>. Langevin equation

14. R Buzio, E Gnecco, C Boragno, U Valbusa, P Piseri, E Barborini, and P Milani, *Surface Science*, **444** (2000) L1.
15. V Ioannou-Sougleridis, V Constantoudisa, M Alexeb, R Scholz, G Vellianitisc, and A Dimoulas, *Thin Solid Films*, **468** (2004) 303.
16. H J QI, L H Huang, J M Yuan, C F Cheng, J D Shao, and Z X Fan Chin, *Phys. Lett.* **20** (2003) 709.
17. S K Shina, E B Sirota, S Garoff, and H B Stanley, *Phys. Rev. B* **38** (1988) 2297.
18. A L Barabasi, and H E Stanley, "Fractal concepts in surface growth" Cambridge University Press, New York (1995).
19. Y Zhao, G Ching Wang, and T Ming Lu, "Characterization of amorphous and crystalline rough surface: Principle and Applications" Academic Press, New York (2001).
5. A Pokaipisit, N Udomkan, and P Limsuwan, *Modern Physics Letters B* **20** (2006) 1049.
6. A B C Jonda, R Mayer, U Stolz, A Elschner, and A Karbach, *Journal of Materials Science* **35** (2000) 5645.
7. D Vaufrey, M Ben Khalifa, J Tardy, C Ghica, M G Blanchin, C Sandu, and J A Roger, *Semiconductor Science and Technology* **18** (2003) 253.
8. S H Shin, J H shin, K J Park, T Ishida, and O Tabata, H H Kim, *Thin Solid Films*. **341** (1999) 225.
9. D C Paine, T Whitson, D Janiac, R Beresford, and O Y Cleva, *Journal Applied Physics*, **85** (1999) 8445.
10. D Kim, Y Han, J S Cho, and S K Koh, *Thin Solid Films*. **377-378** (2000) 81.
11. D Raoufi, *Appl. Surf. Sci.* **255** (2009) 3682.
12. D Raoufi, A Kiasatpour, H R Fallah, and A S H Rozatian, *Appl. Surf. Sci.* **253** (2007) 9085.
13. K Chu, Z-J Liu, Y H Lu, and Y G Shen, *Appl. Surf. Sci.* **252** (2006) 8091.