

# تأثیر ضخامت و آرایش $F^-$ در بهینه‌سازی خواص الکتریکی و اپتیکی لایه‌های نازک رسانای شفاف $FTO(SnO_2:F)$

اعظم سلطان آبادی<sup>۱</sup>

عبدالله مرتضی‌علی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۹

تاریخ تصویب: ۹۳/۴/۱۳

## چکیده

در این پژوهش لایه‌های نازک رسانا و شفاف  $FTO$  را به روش اسپری بر روی زیرلایه‌های شیشه لایه نشانی کرده‌ایم. تاثیر حجم محلول (ضخامت لایه‌ها) و نسبت آرایش  $F$  را بر خواص الکتریکی و اپتیکی لایه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مورفولوژی نانوساختارها و نحوه رشد آنها را توسط تصاویر  $SEM$  مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. طیف عبور اپتیکی توسط دستگاه طیف‌سنج  $Optics Ocean$  و مقاومت سطحی لایه‌ها بر حسب حجم محلول

---

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک، دانشگاه الزهرا (س)

<sup>۲</sup> استاد فیزیک، دانشگاه الزهرا (س)؛ [mortezaali@alzahra.ac.ir](mailto:mortezaali@alzahra.ac.ir)

(ضخامت لایه) و نسبت آرایش  $F$ ، توسط دستگاه چهار میله‌ای مورد بررسی قرار گرفت. بهترین لایه شفاف رسانا از نظر ضخامت که دارای بالاترین ضریب عبور و کمترین مقاومت سطحی است برای اثر ضخامت، نمونه با ضخامت لایه  $830 \text{ nm}$  با مقاومت ویژه  $0.26 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$  و ضریب عبور اپتیکی  $60\%$  در محدوده طیف مرئی و از نظر آرایش  $F$ ، نمونه با آرایش  $1.2 \text{ HF}$  با مقاومت ویژه  $1.19 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$  و عبور  $86\%$  بدست آمد. هدف ما از این پژوهش رسیدن به یک حالت بهینه و بر حسب شرایط آزمایشگاهی خود، از رسانندگی و عبور اپتیکی بالا که نتایج بدست آمده در مقایسه با نتایج دیگران قابل توجه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اکسیدهای رسانای شفاف، روش اسپری، مقاومت الکتریکی و ضریب عبور اپتیکی.

## ۱- مقدمه

اخیراً مطالعات بر روی لایه‌های نازک شفاف و رسانای TCO بدلیل کاربردهای وسیعی که در زمینه‌های اپتوالکترونیک دارند، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است [1-3]. اکسیدهای شفاف رسانای TCO بدلیل داشتن ضریب عبور اپتیکی بالا در بازه نور مرئی به عنوان پنجره‌های نور مرئی و همچنین داشتن مقاومت الکتریکی پایین، بعنوان رسانای خوب برای اتصال در مدارهای الکتریکی بحساب می‌آیند [4]. از میان اکسیدهای فلزی شفاف می‌توان به اکسیدهای نیمه هادی نوع  $n$ ،  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}(\text{ITO})$  و  $\text{ZnO}:\text{Al}(\text{AZO})$  و  $\text{SnO}_2:\text{F}(\text{FTO})$  اشاره کرد.

لایه‌های شفاف و رسانای Fluorine-doped Tin Oxide بدلیل پایداری شیمیایی و گرمایی و در دسترس بودنشان گزینه بسیار مناسبی برای استفاده در سلولهای خورشیدی هستند [5،6]. اکسید قلع  $\text{SnO}_2$  یک نیمه هادی نوع  $n$  با پهنای نوار بزرگ ( $3.3 \text{ eV}$ )

است که دارای مقاومت ویژه حدود ( $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ) و شفافیت بالایی (90%~) در ناحیه مرئی است [7]. خواص الکتریکی، اپتیکی و ساختاری  $\text{SnO}_2$  و کاربرد آن در اکسیدهای شفاف و رسانا و استفاده از آن در حسگرهای گازی [8]، ترانزیستورهای لایه نازک [9]، وسایل اپتوالکتریکی [10]، صفحات پنل کریستال [11] و بعنوان الکتروود و پنجره اپتیکی در سلول‌های خورشیدی [12،13] توجه بسیاری را به خود جلب کرده است [14]. از میان آلایندگی‌های متفاوت برای  $\text{SnO}_2$  می‌توان به F اشاره کرد که موجب افزایش خاصیت الکتریکی لایه، بدون کاهش در عبور اپتیکی آن خواهد شد [15،16].

روش‌های لایه نشانی متفاوتی برای  $\text{SnO}_2$  وجود دارد که از جمله این روشها می‌توان به روش غوطه وری [14]، بخار شیمیایی [17]، کند و پاش مگنترون [18] و اسپری [19،10] اشاره کرد. روش اسپری، روش ساده و مقرون بصرفه‌ای است که مزایایی از جمله نرخ خوب و یکنواخت رشد لایه در سطوح پهن، کار در محیط اتمسفر و بدون نیاز به محیط خلاء و سهولت افزودن ماده آلاییده به محلول اسپری را دارا است و در سالهای اخیر بدلیل مزایایی که ذکر شد، بیشتر برای لایه نشانی لایه‌های FTO بکار رفته است.

نمک‌های متفاوتی برای محلول اسپری FTO وجود دارد. از بین آنها می‌توان به  $\text{SnCl}_4$  یا  $\text{SnCl}_2$  بعنوان منبع Sn و HF یا  $\text{NH}_4\text{F}$  بعنوان منبع F اشاره کرد. Gordillo [20] هر دو ماده از منابع Sn و F را به روش اسپری بکار گرفته است و با بررسی خواص الکتریکی و ساختاری لایه‌ها نشان داده است که لایه‌های نازک ساخته شده از HF دارای مقاومت کمتری هستند. Alberto [21] از  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  و HF استفاده کرده است و تاثیر درصد آب دیونیزه موجود در محلول اسپری و دمای زیرلایه را بررسی کرده است و نشان داده که مقدار مقاومت ویژه با مقدار 10 ml آب در 100 ml محلول اولیه به مقدار مقاومت ویژه  $8 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  و ضریب عبور اپتیکی 75% میرسد. Ikhmayies [22]،  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  را با HF و  $\text{NH}_4\text{F}$  به روش اسپری بکار بردند و با مقایسه‌ای بین خواص اپتیکی و بررسی نمودار I-V هر دو لایه به این نتیجه رسیدند که لایه‌های HF دارای مقاومت کمتر و عبور اپتیکی بالاتری نسبت به لایه‌های  $\text{NH}_4\text{F}$  هستند. Zaouka [23] به روش اسپری از  $\text{SnCl}_4$  و HF استفاده کرده و تاثیر درصد آلایش بر خواص الکتریکی آن

را بررسی کرده است. از آنجایی که  $\text{SnCl}_4$  نسبت به  $\text{SnCl}_2$  حلالیت بسیار بالاتری در محلولهای اسیدی دارد در نتیجه روش ساخت محلول آن نسبت به  $\text{SnCl}_2$  بسیار ساده‌تر و مقرون بصره تر خواهد بود [20]. در ضمن می‌توان گفت علیرغم وجود مقاومت پایین لایه‌های FTO ساخته شده با محلول HF و روش ساخت آسان محلول  $\text{SnCl}_4$  و HF تاکنون کارهای کمتری روی این لایه‌های شفاف و رسانا صورت گرفته است و تاثیر ضخامت و آلایش آنها بسیار کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در اینجا ما سعی داریم به روش اسپری، تاثیر ضخامت و آلایش را بر روی خواص لایه‌های FTO مورد بررسی قرار دهیم و به یک شرایط بهینه و پایدار برای ساخت لایه‌های نازک شفاف و رسانای FTO که بعنوان پنجره اپتیکی در سلول‌های خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند، دست یابیم.

## ۲- روش انجام آزمایش

زیرلایه‌های شیشه به ابعاد  $1.5 \times 1.5 \text{ cm}^2$  و ضخامت  $0.8 \text{ mm}$  به علت شفاف بودن در بازه نور مرئی و ارزان بودن آنها انتخاب شده‌اند. زیر لایه‌ها پس از شستشو با آب صابون و آب مقطر به مدت ده دقیقه با استفاده از اولتراسونیک در اتانول و استون شستشو داده شده‌اند. برای ساخت محلول اسپری  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (0.2 M) را در محلول اتانول و آب دیونیزه حل می‌کنیم. از آنجاییکه ما تاثیر ضخامت لایه‌ها و آلایش  $\text{F}^-$  را بررسی می‌کنیم، حجم محلول اسپری از  $15 \text{ cc} - 60 \text{ cc}$  و مقدار آلایش F از  $0.4 - 1.5$  متغیر خواهد بود. مقادیر دیگر همچون نسبت اتانول به آب دیونیزه (9:1)، آهنگ شار محلول (3ml/min)، دمای زیرلایه ( $430^\circ \text{C}$ ) و فاصله سوزن تا زیرلایه (20 cm) در تمامی مراحل ثابت خواهد بود. برای بررسی اثر ضخامت، درصد آلایش 8.  $\text{HF}=0$  ثابت می‌باشد. غلظت  $\text{C}_{\text{HF}}$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{C}_{\text{HF}} = \frac{\text{moles hydrofluorhydric acid HF}}{\text{moles SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} \quad (1)$$

بررسی مورفولوژی لایه‌ها و همچنین نحوه بافت و ابعاد نانوذرات، توسط بررسی تصاویر SEM صورت گرفت. طیف عبور و بازتاب اپتیکی لایه‌ها بر حسب طول موج با

استفاده از دستگاه اسپکترو فوتومتر Optics Ocean در محدوده طول موج 300-900nm بررسی شد. اندازه گیری مقاومت سطحی لایه‌ها با استفاده از روش چهار میله‌ای صورت گرفت.

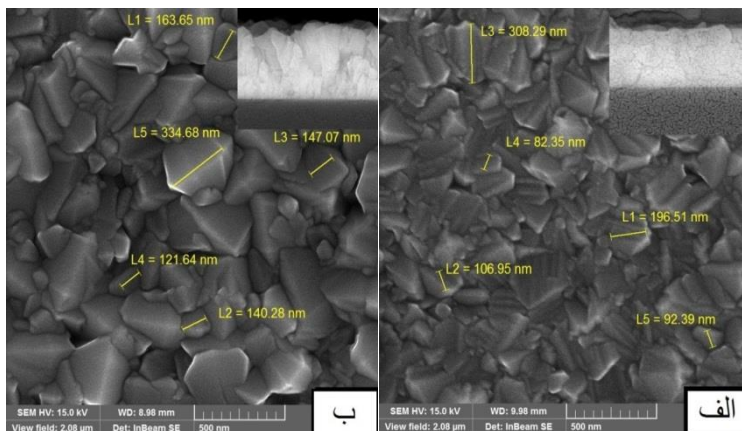
### ۳- نتیجه‌ها و بحث

#### ۳-۱- تاثیر ضخامت بر مورفولوژی و خواص اپتیکی و الکتریکی لایه‌های

##### FTO

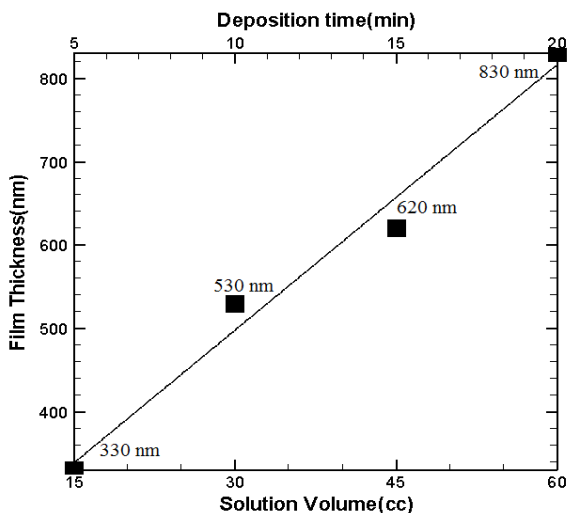
#### ۳-۱-۱- مورفولوژی لایه‌های FTO

از تصاویر SEM لایه‌ها، همانطور که در شکل ۱ پیدا است، لایه‌ای که با حجم کمتری از محلول اولیه تشکیل می شود دارای ضخامت مقطع کمتری می باشد. با توجه به نمودار شکل ۲ می توان دید که با افزایش حجم محلول ضخامت مقطع لایه‌ها افزایش می یابد. همچنین از تصاویر SEM شکل ۱ که نحوه رشد و بافت لایه‌ها و اندازه نانو ذرات در سطح را برای دو حجم 30 و 60 از بین چهار نمونه ساخته شده، نشان می دهد، می توان دید که با افزایش حجم محلول یا به عبارتی ضخامت لایه، اندازه دانه‌ها بزرگتر شده و فواصل بین ذره آن‌ها کاهش یافته است. در جدول ۱ مقادیر ضخامت لایه‌های (SnO<sub>2</sub>:F)FTO در حجم‌های مختلف آمده است.



شکل ۱. تصاویر SEM از سطح لایه‌های FTO به ترتیب از راست به چپ 30 و 60 cc و ضخامت آن‌ها (در گوشه سمت راست).

با توجه به اینکه آهنگ لایه نشانی (اسپری) برای تمام نمونه‌ها تقریباً ثابت نگهداشته شده است و با توجه عکس‌های SEM از مقطع لایه‌ها، در شکل ۲ نمودار حجم محلول یا زمان لایه نشانی بر حسب ضخامت لایه دیده می‌شود. شیب منحنی نشانگر آهنگ لایه نشانی است و اندازه آن تقریباً برابر است با  $35 \text{ nm/min}$ . طبیعی است که هر چه قدر آهنگ لایه نشانی کمتر باشد، بافت نانو ذرات ریز تر و سطح هموارتر خواهد بود [25].

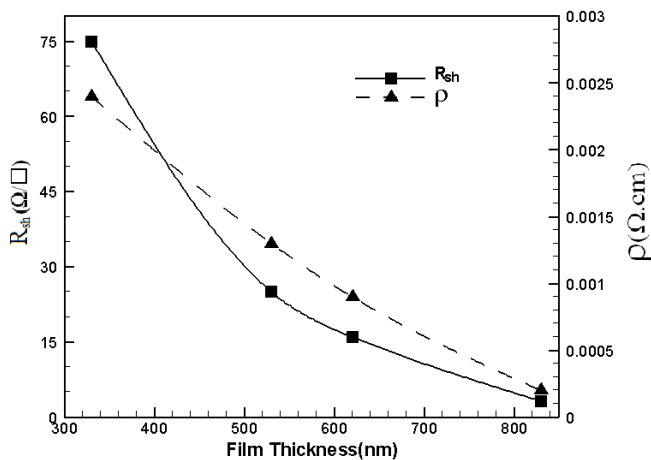


شکل ۲. نمودار تغییر ضخامت لایه‌های FTO بر حسب تغییرات حجم محلول و زمان لایه نشانی.

### ۳-۱-۲- مقاومت الکتریکی لایه‌های FTO

شکل ۳ تغییرات مقاومت سطحی و مقاومت ویژه را بر حسب ضخامت لایه‌ها نشان می‌دهد. با افزایش ضخامت لایه‌ها، مقاومت سطحی لایه‌ها کاهش می‌یابد و به کمترین مقدار  $3.2 \Omega/\square$  در ضخامت  $830 \text{ nm}$  می‌رسد. در واقع با افزایش ضخامت و بزرگتر شدن اندازه نانو ذرات و کاهش مرزدانه‌ها، ترابری حامل‌های بار آسانتر شده، و یا بعبارتی پراکندگی آنها توسط مرز دانه‌ها کاهش یافته است و در نتیجه مقاومت سطحی لایه‌ها کاهش می‌یابد. مقاومت ویژه با استفاده از رابطه  $\rho = R_{sh} \cdot t$  بدست می‌آید، که  $t$  ضخامت لایه‌ها را نشان می‌دهد. می‌توان گفت که عوامل مختلفی از جمله بلورینگی، مورفولوژی،

زبری، همواری سطح، تخلخل، ترکیب شیمیایی، فشار، دمای زیر لایه و... نقش مهمی در خواص الکتریکی لایه‌های نازک ایفا می‌کنند [26]. کمترین مقدار مقاومت ویژه برای لایه با ضخامت 830 nm می‌باشد که مقدار آن  $0.26 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$  است. نتیجه می‌گیریم که با افزایش ضخامت، مقاومت ویژه لایه‌های FTO کاهش می‌یابد، که با نتایج [26] قابل مقایسه است. Yadav [26] در ضخامت 911 nm به مقاومت سطحی 3.20  $\Omega/\square$  را بدست آوردیم که بنظر می‌رسد برای کاربردهای سلول‌های خورشیدی مناسب‌تر هستند. مقادیر مقاومت سطحی و مقاومت ویژه لایه‌های FTO در جدول ۱ آمده است.



شکل ۳. تغییرات مقاومت سطحی و مقاومت ویژه لایه‌های FTO بر حسب تغییرات ضخامت لایه‌ها.

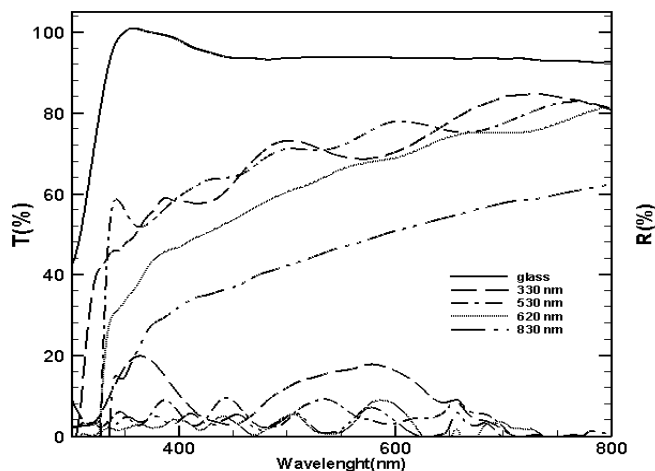
جدول ۱. مقادیر ضخامت، مقاومت سطحی و مقاومت لایه‌های FTO(SnO<sub>2</sub>:F) در حجم‌های مختلف.

Solution volume(cc)	Film Thickness(nm)	$R_{Sh}(\Omega/\square)$	$\rho(\Omega \cdot \text{cm}) \times 10^{-3}$
15	330	75.21	2.47
30	530	25.10	1.32
45	620	16.30	0.99
60	830	3.20	0.26

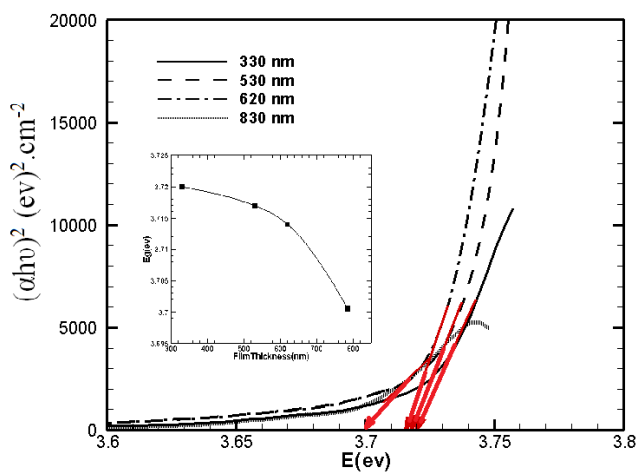
### ۳-۱-۳- خواص اپتیکی لایه‌های FTO

در شکل 4 ضریب عبور اپتیکی لایه‌ها بر حسب طول موج‌های مختلف در بازه  $300 \text{ nm} \leq \lambda \leq 800 \text{ nm}$  نشان داده شده است. در شکل می‌توان دید که با افزایش ضخامت لایه ضریب عبور اپتیکی کاهش یافته که دلیل آن جذب اپتیکی طبق رابطه  $I = I_0(1-R)e^{-\alpha t}$  می‌باشد که R ضریب بازتاب،  $I_0$  نور فرودی،  $\alpha$  ضریب جذب و t ضخامت لایه است. از آنجایی که  $\alpha = 2/\delta$  که  $\delta$  عمق پوسته را نشان می‌دهد و با مجذور رسانندگی رابطه عکس دارد، لذا می‌توان گفت با افزایش غلظت حامل‌های آزاد و کاهش مقاومت سطحی، رسانندگی افزایش، در نتیجه ضریب جذب نیز افزایش خواهد داشت [27]. این نتیجه که با افزایش ضخامت لایه‌ها، ضریب عبور اپتیکی کاهش می‌یابد، با نتایج [31] قابل مقایسه است. از طرفی ضریب جذب برابر است با  $T = \alpha(1-R) \ln(1-R)$ ، که  $\alpha$  ضخامت لایه، R و T ضرایب بازتاب و عبور اپتیکی لایه‌ها را نشان می‌دهند و از شکل 4 مشاهده می‌شود جهشی در ضریب عبور در بازه 325-350 nm صورت می‌گیرد که نشانه‌ای از آستانه جذب اپتیکی در نزدیکی گاف انرژی FTO که تقریباً برابر با 3.7 eV است، می‌باشد. این موضوع که آستانه جذب اپتیکی به سمت طول موج‌های پایین‌تر (UV) می‌رود، می‌توان از آن در کاربردهای اپتوالکترونیک در محدوده UV استفاده نمود. مقدار گاف انرژی لایه‌های FTO با استفاده از رابطه  $\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^{1/2}$  برای گاف مستقیم و از محل تقاطع خط مجانبی منحنی جذب با محور انرژی بدست می‌آید. نتایج آن در شکل 5 برای ضخامت‌های مختلف دیده می‌شود، و مقادیر آن در جدول 2 آمده است. از آنجا که با افزایش ضخامت لایه‌ها مقاومت آن‌ها کاهش یافته است، می‌توان گفت که پهنای نوار اندکی نیز کاهش خواهد یافت. در واقع فاصله بین نوار ظرفیت و نوار رسانش کاهش می‌یابد که موجب می‌شود حامل‌های بار بیشتری به نوار رسانش رفته و مقاومت لایه‌ها کاهش و رسانندگی افزایش یابد. مقادیر بدست آمده با نتایج [28] همخوانی دارد.





شکل ۴. تغییرات ضرایب عبور و بازتاب لایه‌های FTO بر حسب طول موج در ضخامت‌های مختلف.



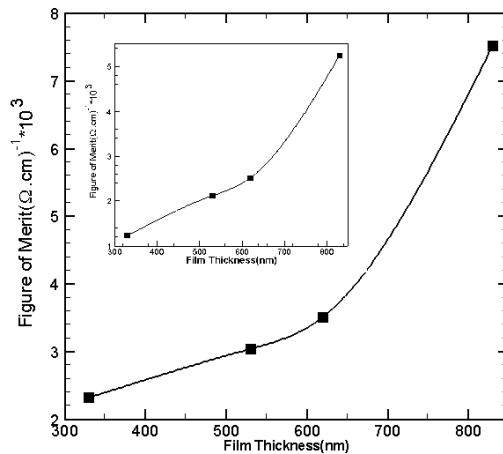
شکل ۵. مقادیر  $E_g$  در ضخامت‌های مختلف.

یک معیار خوب برای سنجش خواص الکتریکی و اپتیکی لایه‌های FTO که دارای عبور بالا و مقاومت الکتریکی پایین هستند، پارامتر Figure of Merit است که توسط دیگر محققان نیز مورد استفاده قرار گرفته است [24]. FM توسط رابطه  $FM=1/(\rho \ln T)$  بدست می‌آید، که  $\rho$  مقاومت ویژه و  $T$  ضریب عبور اپتیکی لایه‌ها

می‌باشد. مقادیر FM در  $\lambda = 700 \text{ nm}$  در جدول ۲ آمده است. مقدار طول موج، بسته به کاربردی که FTO دارد می‌تواند در بازه نور مرئی یا مادون قرمز متفاوت باشد. شکل ۶ مقادیر FM را بر حسب ضخامت های مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقادیر بدست آمده برای بهینه ساختن لایه‌های FTO و گاف انرژی آن‌ها.

Film Thickness(nm)	$\rho(\Omega. \text{cm}) \times 10^{-3}$	T(%)	FM $(\Omega. \text{cm})^{-1} \times 10^3$	$E_g(\text{ev})$
330	2.47	84	2.32	3.720
530	1.32	78	3.05	3.717
620	0.99	75	3.51	3.714
830	0.26	60	7.52	3.696



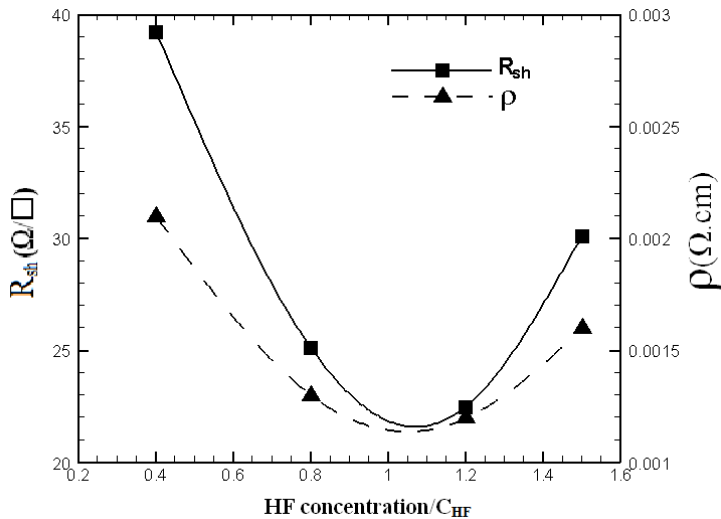
شکل ۶. مقادیر FM لایه‌های FTO در ضخامتهای مختلف در  $\lambda = 700 \text{ nm}$ .

از آنجایی که FM با مقاومت ویژه و ضریب عبور اپتیکی نسبت عکس دارد، هر چه مقدار مقاومت ویژه کمتر باشد، مقدار FM بیشتر خواهد بود. در شکل ۶ لایه با ضخامت 830 nm دارای بیشترین مقدار FM است. نتایج ما با [30] قابل مقایسه خواهد بود. در نمودار کوچک شکل ۶، مقادیر FM در  $\lambda = 550 \text{ nm}$  نشان داده شده است که بدلیل ضریب عبور اپتیکی کمتر در این بازه دارای مقادیر کمتری نسبت به  $\lambda = 700 \text{ nm}$  می‌باشد. می‌توان از این FTO بعنوان پنجره اپتیکی در سلول‌های خورشیدی بکار برد.

### ۳-۲-۱ اثر آلایش HF بر لایه‌های FTO

#### ۳-۲-۱-۱ خواص الکتریکی

بمنظور بررسی خواص آلایش لایه با ضخامت 530 nm با مقدار آلایش 0.4-1.5wt% در 4 مقدار انتخاب شده است. تغییرات مقاومت سطحی و ویژه بر حسب تغییرات درصد آلایش F در جدول 3 آمده است. در لایه‌های SnO<sub>2</sub>:F می‌توان گفت فلورین به دلایل زیر بهترین ماده برای آلایش است: (i) اندازه یونی F=0.133 nm با اندازه یونی اکسیژن O<sup>2-</sup>=0.132 nm بخوبی منطبق می‌شود. (ii) انرژی پیوند Sn-F  $26.75 \text{ D}^0/\text{KJ mol}$  (iii) با انرژی پیوند Sn-O ( $\sim 31.05 \text{ D}^0/\text{KJ mol}^{-1}$ ) قابل مقایسه است. (iii) بار روی یون فلورین تنها نیمی از بار روی اکسیژن است، در واقع نیروی کولنی که شبکه را به هم پیوند می‌دهد، کاهش می‌یابد [29]. با توجه به شکل ۷ پیشنهاد می‌کنیم که درصد آلایش HF 1.2 کمترین مقدار مقاومت ( $\Omega/\square$ ) 4.9 را دارا است. هنگامی که فلورین به لایه‌های اکسید قلع افزوده می‌شود، هر آنیون F جانشین یک آنیون تهی جاه O<sup>2-</sup> در شبکه می‌شود و یک حامل بار اضافی تولید می‌کند. در نتیجه با افزایش الکترون‌های آزاد، مقدار مقاومت سطحی لایه‌ها کاهش می‌یابد [10]. لذا مقدار بهینه آلایش F بسته به غلظت تهی جاه‌های اکسیژن در شبکه SnO<sub>2</sub> می‌باشد. در مقادیر بیشتر آلایش، آلایش 0.1 wt%، مقاومت لایه‌ها به نسبت آلایش 0.1 wt% افزایش داشته است، آن هم بدلیل اینکه این مقدار آلایش که بیشتر از حد بهینه می‌باشد نمی‌تواند جایگاه تهی جاه O<sup>2-</sup> پیدا کند و در نتیجه باعث اعوجاج شبکه و افزایش مقاومت الکتریکی لایه می‌شود [10,23]. نتایج ما در این مرحله با نتایج Gordillo [23] مطابقت دارد.



شکل ۷- تغییرات مقاومت سطحی و مقاومت ویژه لایه‌های FTO بر حسب تغییرات درصد آلیش HF در ضخامت 530 nm.

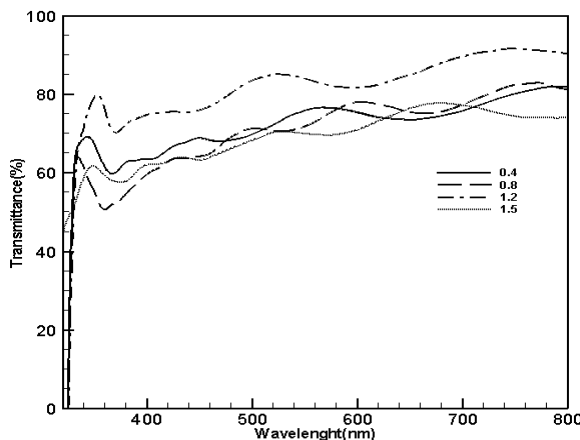
جدول ۳- خواص الکتریکی لایه‌های FTO(SnO<sub>2</sub>:F) بر حسب تغییرات درصد آلیش HF.

HF Concentration	R <sub>sh</sub> (Ω/□)	ρ(Ω. cm)×10 <sup>-3</sup>
0.4	39.23	2.47
0.8	25.10	1.33
1.2	22.48	1.19
1.5	30.10	1.59

در شکل ۷ مقاومت ویژه لایه‌های FTO نیز بر حسب درصد آلیش نشان داده شده است. لایه با درصد آلیش ۰.۱ تا ۰.۲ کمترین مقدار مقاومت ویژه  $1.19 \times 10^{-3} \text{ (}\Omega \cdot \text{cm)}$  را بخود اختصاص داده است. مقدار مقاومتی که ما بدست آوردیم در لایه‌های با ضخامت 530 nm بوده است، اما کمترین مقدار مقاومتی که [Zaouka, 2003] برای لایه با ضخامت 150 nm در آلیش 0.8 wt% بدست آورده است  $9 \times 10^{-4} \text{ }\Omega \cdot \text{cm}$  بوده است که می‌توان گفت نتایج ما با نتایج آنها قابل مقایسه است.

### ۳-۲-۲- خواص اپتیکی

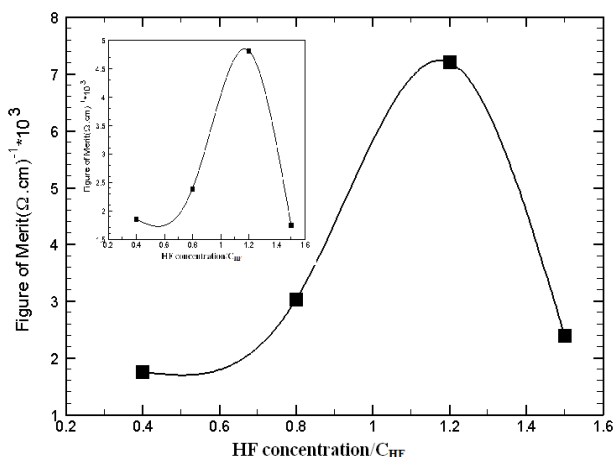
عبور اپتیکی لایه‌های FTO بر حسب تغییرات آلایش در شکل ۸ آمده است. Gordillo[20] در گزارشات خود نشان داده است که درصد آلایش تاثیر چندانی در عبور اپتیکی لایه‌ها نخواهد داشت. اما [23] Zaouka نشان داد که علی‌رغم نتایج Gordillo لایه‌ها با افزایش درصد آلایش فلورین، اندک افزایشی در ضریب عبور اپتیکی از خود نشان می‌دهند. نتایج ما نیز در شکل ۸ نشان می‌دهد که آلایش HF 1.2 ضریب عبور اپتیکی نسبتاً بهتری نسبت به درصدهای آلایش دیگر از خود نشان می‌دهد. در واقع افزایش یون‌های فلورین و جایگزینی آنها در تهی جاه‌های  $O^{2-}$ ، موجب تغییر در تمرکز حامل‌های بار و می‌شود و در نهایت موجب افزایش ضریب جذب اپتیکی لایه‌ها خواهد شد [23,30]. مقادیر مقاومت، عبور و FM لایه‌های FTO در درصدهای مختلف آلایش HF و در  $\lambda = 700 \text{ nm}$  در جدول ۴ آمده است. در شکل ۹ می‌توان دید که درصد 1.2 HF دارای کمترین مقاومت و بیشترین عبور می‌باشد و بیشترین مقدار  $4.21 \times 10^3$   $\text{FM}^{-1}$  را بخود اختصاص داده است. می‌توان گفت مقادیری که برای FM بدست آمده نسبت به مقادیر [20] Gordillo که برای ضخامت 150 nm بوده است، قابل توجه است. در نمودار کوچک شکل ۹، مقادیر FM در  $\lambda = 550 \text{ nm}$  نشان داده شده است که بدلیل ضریب عبور کمتر در این بازه دارای مقادیر کمتری نسبت به  $\lambda = 700 \text{ nm}$  می‌باشد.



شکل ۸- عبور اپتیکی لایه‌های FTO بر حسب طول موج‌های مختلف در آلایش‌های مختلف HF.

جدول ۴- مقادیر مقاومت ویژه، ضریب عبور و FM لایه‌های FTO در  $\lambda=700\text{ nm}$  در درصد‌های مختلف آلیش HF.

HF concentration	$\rho(\Omega. \text{cm}) \times 10^{-3}$	T(%)	FM $(\Omega. \text{cm})^{-1} \times 10^3$
0.4	2.07	76	1.76
0.8	1.33	78	3.03
1.2	1.19	86	4.21
1.5	1.59	77	2.39



شکل ۹- مقادیر FM لایه‌های FTO بر حسب تغییرات درصد آلیش HF. در  $\lambda=700\text{ nm}$ .

#### ۴- نتیجه گیری

در این کار پژوهشی لایه‌های نازک FTO(SnO<sub>2</sub>:F) در ضخامت‌ها و آلیش‌های مختلف F به روش اسپری بر روی زیر لایه شیشه، لایه نشانی شده‌اند. معلوم شد که با افزایش حجم محلول یا زمان لایه نشانی شده، مقاومت الکتریکی لایه و همچنین ضریب عبور اپتیکی بطور کلی کاهش یافته است. از آنجایی که کاربردهای اپتیکی نیازمند داشتن مقاومت پایین و ضریب عبور بالا می‌باشد، لذا باید به یک حالت بهینه بر حسب شرایط کار برسیم. این حالت بهینه با توجه به حفظ پارامترهای دیگر، برای ضخامت 830 nm با مقاومت ویژه  $0.26 \times 10^{-3} \Omega. \text{cm}$  و ضریب عبور اپتیکی تقریباً 60% بدست آمد و برای آلیش، الیش، الیش HF 1.2 با مقاومت ویژه  $1.19 \times 10^{-3} (\Omega. \text{cm})$  و عبور 86% در بازه

600-750 nm حاصل گردید. که با نتایج حاصله از مقالات [20] Gordillo و [23] Zaouka قابل مقایسه و گاهی با شرایط ما، نتایج بهتری حاصل شده است. اما انتظار ما این است که با پخت آنها در خلاء می‌توانیم به نتایج بهتری دست یابیم.

## ۵- منابع

- [1] B. Thangaraju; *Thin Solid Films* **402** (2002) 71.
- [2] P.S. Patil; *Mater. Chem. Phys.* **59** (1999) 185.
- [3] A.L. Dawar and J.C. Joshi; *J. Mater. Sci.* **19** (1984) 1.
- [4] F.L. Rashid, M.A. Eleiwi, and H.A. Hoshi; *International Journal of Innovative Research in Engineering & Science* **6**, No. 2 (2013) 66.
- [5] B. Gottlieb, R. Koropecski, R. Arce, R. Crisalle, and J. Ferron; *Thin Solid Films* **199** (1991) 13 .
- [6] S.S. Roy and J. Podder; International Conference on Mechanical Engineering (ICME2009) 26- 28 December 2009, Dhaka, Bangladesh .
- [7] A.E. Rakhshani, Y. Makdisi, and H.A. Ramzaniyan; “Electronic and optical properties of fluorine-doped tin oxide films”; *J. Appl. Phys.* **83**, No. 2(1998) 1049-1057.
- [8] P. Montmeat; “Thin film membranes for the improvement of gas sensor selectivity” École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne (ENSMSE): Graduate School for Science and Technology, France, 1999.
- [9] R.E. Presley, C.L. Munsee, C.H. Park, D. Hong, J.F. Wager, and D.A. Keszler; “Tin oxide transparent thin-film transistors” *J. Phys. D: Appl. Phys.* **37** (2014) 2810-2813.
- [10] E. Elangovan and K. Ramamurthi; “Optoelectronic properties of spray deposited SnO<sub>2</sub>: F thin films for window materials in solar cells”; *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* **5**, No. 1 (2003) 45–54.
- [11] K.H. Kim, N.M. Park, T.Y. Kim, K.S. Cho, J.I. Lee, H.Y. Chu and G. Y. Sung; “Indium Tin Oxide Thin Films Grown on Polyethersulphone (PES) Substrates by Pulsed-Laser Deposition for Use in Organic Light-Emitting Diodes”; Proc. SPIE 5740, Projection Displays XI (2005) 145.

- [12] S.J. Ikhmayies; "Production and characterization of CdS/CdTe thin film photovoltaic solar cells of potential industrial use"; Amman, University of Jordan, 2002.
- [13] W. H. Bloss and W. H. Schock CHOCK; "*CdS-Cu<sub>x</sub>S thin film solar cells. In: Photovoltaic and photoelectrochemical solar energy conversion*"; New York and London, Nato Advanced Study Institute Series, Plenum Press (1980) 117–156.
- [14] V. Geraldo, S.L.V. de Andrade, E.A. de Moraes, C.V. Santilli, S.H. Pulcinelli; "Sb doping effect and oxygen adsorption in SnO<sub>2</sub> thin films deposited via sol-gel"; *Mat. Res.* **6**, No. 4 (2003) 451–456.
- [15] A. Banerjee, N.R. Maity, S. Kundoo, and K.K. Chattopadhyay; "Poole–Frenkel effect in nanocrystalline SnO<sub>2</sub>:F thin films prepared by a sol–gel dip-coating technique"; *Phys. Stat. Sol. A* **201**, No. 5 (2004) 983–989.
- [16] R. Asomoza, A. Maldonado, J. Rickards, E.P. Zironi, M.H. Farias, L. Cota-Araiza and G. Soto; "Nuclear reactions as a probe of fluorine content in SnO<sub>2</sub>: F thin films"; *Thin Solid Films* **203** (1991) 195.
- [17] J. Sundqvist and A. Harsta; "Growth of SnO<sub>2</sub> thin films by ALD and CVD: A comparative study"; Proceedings of the Sixteenth Int. CVD Conf. Paris, France (2003) 511.
- [18] S.S. Pan, C. Ye, X.M. Teng, H.T. Fan, G.H. Li; "Preparation and characterization of nitrogen-incorporated SnO<sub>2</sub> Films"; *Appl. Phys. A* **85**, No. 1 (2006) 21–24.
- [19] S.J. Ikhmayies and R.N. Ahmad-Bitar; "Effect of the substrate temperature on the electrical and structural properties of spray-deposited SnO<sub>2</sub>: F thin films"; *Materials Science in Semiconductor Processing* **12** (2009) 122–125.
- [20] G. Gordillo, L.C. Moreno, W. de la Cruz and P. Teheran; "Preparation and characterization of SnO<sub>2</sub> thin films deposited by spray pyrolysis from SnCl<sub>2</sub> and SnCl<sub>4</sub> precursors"; *Thin Solid Films* **252** (1994) 61–66.
- [21] M.A. Sánchez-García, A. Maldonado, L. Castañeda, R. Silva-González, and M. de la Luz Olvera; "Characteristics of SnO<sub>2</sub>: F Thin Films Deposited by Ultrasonic Spray Pyrolysis: Effect of Water Content in Solution and Substrate Temperature"; *Materials Sciences and Applications* **3** (2012) 690–696.



- [22] S.J. Ikhmayies and R.N. Ahmad-Bitar; "Using HF rather than NH<sub>4</sub>F as doping source for spray-deposited SnO<sub>2</sub>:F thin films"; *J. Cent. South Univ.* **19** (2012) 791–796.
- [23] D. Zaouk, R. al Asmar, J. Podlecki, Y. Zaatar, A. Khoury, and A. Foucaran; "X-ray diffraction studies of electrostatic sprayed SnO<sub>2</sub>:F films"; *Microelectronics Journal* **38** (2007) 884–887.
- [24] R.E.I. Scropp, C.E. Matovich, P.K. Bhat, and A.K. Madan; 20th Photoe. Spec. Conf., Inst. Elec. Electron. Eng., New York (1988) 273.
- [25] C. Hudaya, Ji H. Park, and J. K. Lee; "Effects of process parameters on sheet resistance uniformity of fluorine-doped tin oxide thin films"; *Nanoscale Research Letters* **7** (2012) 17.
- [26] A.A. Yadav, E. U. Masumdar, A.V. Moholkar, K.Y. Rajpure, and C.H. Bhosale; "Effect of quantity of spraying solution on the properties of spray deposited fluorine doped tin oxide thin films"; *Physica B* **404** (2009) 1874–1877.
- [27] R. Ellingson and M. Heben; "Absorption coefficients of semiconductor thin films"; The University of Toledo (2013) .
- [28] P.S. Shewale, S.I. Patil, and M.D. Uplane; "Preparation of fluorine-doped tin oxide films at low substrate temperature by an advanced spray pyrolysis technique, and their characterization"; *Semicond. Sci. Technol.* **25** (2010) 115008.
- [29] E. Elangovan and K. Ramamurthi; "Studies on micro-structural and electrical properties of spray-deposited fluorine-doped tin oxide thin films from low-cost precursor"; *Thin Solid Films* **476** (2005) 231–236.
- [30] A.V. Moholkar, S.M. Pawar, K.Y. Rajpure, C.H. Bhosale, J.H. Kim; "Effect of fluorine doping on highly transparent conductive spray deposited nanocrystalline tin oxide thin films"; *Applied Surface Science* **255** (2009) 9358–9364.
- [31] C. Agashe, J. Hu<sup>o</sup>pkes, G. Scho<sup>o</sup>ppe, and M. Berginski; "Physical properties of highly oriented spray-deposited fluorine-doped tin dioxide films as transparent conductor"; *Solar Energy Materials & Solar Cells* **93** (2009) 1256–1262.