

## اندازه گیری خواص اپتیکی لایه های نازک اکسید روی ساخته شده با استفاده از پوشش دهی

## دورانی با سرعت های دوران مختلف به روش اسپکتروسکوپی الیپسومتری

مطلبی آفگنبد، مریم<sup>۱</sup>؛ صدقی، حسن<sup>۱</sup><sup>۱</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه

## چکیده

در این مقاله لایه های نازک اکسید روی به روش سل-ژل روی زیر لایه شیشه با سرعت های انباشت مختلف ۳۶۰۰، ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه تهیه شدند. ابتدا لایه ها تا دمای ۲۰۰°C به مدت ۱۰ دقیقه حرارت دیدند، سپس به مدت ۱ ساعت در دمای ۵۰۰°C بازپخت شدند. خواص اپتیکی لایه ها از جمله ضریب بازتاب، ضریب شکست و ضریب خاموشی با استفاده از دستگاه اسپکتروسکوپی الیپسومتری SE800DUV برای لایه ها بدست آمدند. همچنین ضریب جذب و گاف نواری برای این لایه ها محاسبه شدند.

داده های الیپسومتری اندازه گیری شده با طیف نظری تهیه شده از مدل فرضی مناسب با توجه به ساختار نمونه فیت شده است. فیت کردن داده ها با مینیمم سازی خطای میانگین مربعی بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده پارامترهای الیپسومتری ( $\psi, \Delta$ ) انجام گرفته است.

## Measuring the optical properties of zinc oxide thin films using spin coating with different rotation rates by spectroscopy ellipsometric method

Motallebi Aghgonbad, Maryam<sup>1</sup>; Sedghi, Hassan<sup>1</sup><sup>1</sup> Department of Physics, Faculty of Science, Urmia University, Urmia

## Abstract

In this paper Zinc Oxide nano layers were deposited on glass substrates by sol-gel process with different coating speeds 3600 rpm, 4800 rpm, 6000 rpm. At first the layers were heated up to 200°C for 10 min. Then they were annealed at 500°C for an hour. The optical properties of the layers such as reflectance, refractive index and extinction coefficient were obtained by SE800DUV spectroscopic ellipsometry device. Also the absorption coefficient and the band gap of the layers were calculated. The experimental data and the data obtained from theoretical spectra of a suitable assumed model were fitted according to the sample structure. Data fitting was done by minimizing the mean square error between the experimental and calculated ellipsometry parameters ( $\psi, \Delta$ ).

PACS No. 71.00

## مقدمه

دیویدهای گسیل نوری دارد [۱]. اکسید روی یک ماده نیم رسانای منحصراً بفرود با گاف نواری مستقیم په‌ن در حدود ۳/۳۰ الکترون ولت است. این ماده به دلیل خصوصیات اپتیکی شگفت انگیز، در نانولیزرها، نانوزنراتورهای پیزوالکتریک، سلولهای خورشیدی،

لایه های نازک رسانای شفاف معمولاً از اکسیدهای رسانای شفاف ساخته می شوند. خصوصیات لایه های نازک رسانای شفاف تأثیر قابل توجهی روی کارکرد ابزارهای مختلف از جمله

در محدوده طول موج ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر در سرعت‌های انباشت ۳۶۰۰، ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه بدست آمد.

### نتایج و بحث

اندازه گیری الپسومتری برحسب نسبت دامنه و اختلاف فاز قطبش های  $p$  و  $s$ ،  $(\psi, \Delta)$  بیان می شود.

$$\tan(\psi).e^{i\Delta} = \rho = \frac{r_p}{r_s} \quad (1)$$

که  $r_p$  و  $r_s$  ضرایب فرنل مختلط نمونه برای نور قطبیده  $p$  (در صفحه فرود) و  $s$  (عمود بر صفحه فرود) می باشند.

در اندازه گیری الپسومتری اندازه گیری باید در زاویه مایل انجام گیرد. در زاویه عمود اندازه گیری غیرممکن می شود چون قطبش های  $p$  و  $s$  در این حالت قابل تشخیص نخواهند بود.

زاویه فرود برای بیشینه کردن حساسیت اندازه گیریها انتخاب می شود و با توجه به ثابتهای اپتیکی نمونه ها تغییر می کند.

تجزیه و تحلیل داده های اسپکتروسکوپی الپسومتری نیازمند یک مدل اپتیکی است که توسط ثابتهای اپتیکی و ضخامت لایه نمونه معرفی می شوند [۵].

برای محاسبه داده ها از مدل اپتیکی شامل زیر لایه شیشه و یک لایه اکسید روی بعلاوه یک لایه زمختی سطح استفاده شد. در لایه زمختی سطح از مدل تقریب محیط موثر براگمن استفاده شده است در مدل تقریب محیط موثر براگمن داریم:

$$\sum_i f_i \left[ \frac{\epsilon_i - \epsilon}{\epsilon_i + 2\epsilon} \right] = 0 \quad (2)$$

که  $\epsilon_i$  تابع دی الکتریک مولفه  $i$  ام ترکیب و  $f_i$  کسر حجمی مولفه  $i$  ام ترکیب می باشند.

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از روش بازگشت خطی انجام گرفت و ثابتهای اپتیکی توسط کمینه سازی خطاهای فیت تعیین شد.

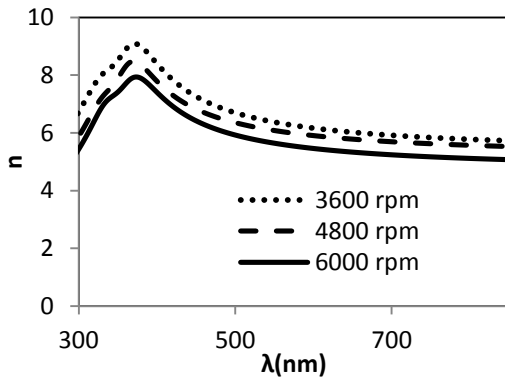
داده ها با استفاده از دستگاه الپسومتری SE800DUV بدست آمدند. شاخصهای شکست با استفاده از روابط Leng-Osillator توصیف شدند. شکل ۱ و ۲ به ترتیب پارامترهای الپسومتری  $(\psi, \Delta)$  بدست آمده در سرعت های دوران مختلف ۳۶۰۰، ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه برای نمونه لایه نازک اکسید روی انباشت

حسگرهای گازی و کاربردهای فوتونیک [۲]، بسیار مورد توجه بوده است [۳]. اکسید روی برخلاف رقبایش، ارزان، به طور نسبی فراوان، از نظر شیمیایی پایدار و غیر سمی بوده و بسیاری از موادی که برای آلانیدن در آن استفاده می شوند نیز در دسترس می باشند. گاف نواری پهن اکسید روی امکان تهیه دیودهای گسیل نوری فرا بنفش و سفید با خلوص رنگ بالا را می دهد. به دلیل شفافیت اکسید روی، این ماده در ابزارهای فوتونیک بسیار مورد توجه می باشد [۲]. روشهای مختلفی برای انباشت لایه های نازک اکسید روی وجود دارد از جمله، کندوپاش مگنترونی، تبخیر حرارتی، انباشت شیمیایی و سل-ژل [۲،۱]. برای بدست آوردن خواص اپتیکی لایه های نازک، روشهای مختلفی وجود دارد. از بین روشهای مختلف اندازه گیری، اسپکتروسکوپی الپسومتری به طور گسترده برای تعیین خواص اپتیکی لایه های نازک از جمله اکسید روی مورد استفاده قرار می گیرد [۴]. در این مقاله لایه های نازک اکسید روی بر روی زیرلایه شیشه با استفاده از روش سل-ژل تهیه شدند و تأثیر سرعت های دوران روی زیر لایه بر خواص اپتیکی لایه ها مورد بررسی قرار گرفت.

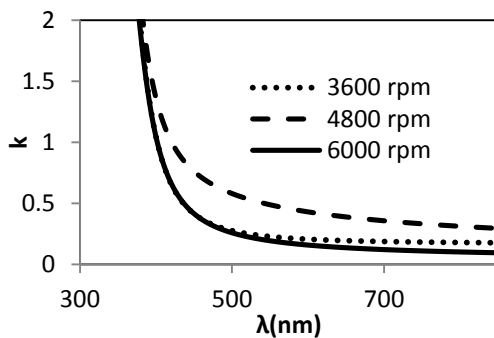
### روش تجربی

لایه های نازک اکسید روی به روش سل-ژل تهیه شدند. برای تهیه لایه نازک اکسید روی، مقداری استات روی دو آبه در ترکیبی از محلول دو متوکسی اتانول و مونو اتانول آمین اضافه شد. نسبت مولار استات روی به مونو اتانول آمین، یک در نظر گرفته شد و غلظت استات روی ۰/۲۵ مولار بوده است. ترکیب حاصل به مدت ۱ ساعت در دمای  $60^\circ C$  هم زده شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق برای بدست آوردن یک محلول همگن نگهداری شد. قبل از لایه نشانی، زیرلایه ها با استفاده از متانول، استون و آب مقطر یون زدایی شده تمیز شدند. محلول حاصل به روش پوشش دهی دورانی با سرعتهای دوران ۳۶۰۰، ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه روی زیرلایه شیشه انباشت شد. زاویه فرود نور ثابت و ۷۰ درجه در نظر گرفته شد. لایه های نازک تهیه شده بعد از انباشت، به مدت ۱۰ دقیقه در دمای  $200^\circ C$  در کوره حرارت داده شدند. سپس به مدت ۱ ساعت در دمای  $500^\circ C$  بازپخت شدند. ساختار اپتیکی نمونه های اکسید روی با استفاده از دستگاه SE800DUV

سرعت دوران، در ضخامت لایه نهایی تأثیر قابل توجهی دارد. با افزایش سرعت دوران، ضخامت لایه کاهش می یابد در این حالت اندازه دانه ها کوچکتر بوده و در نتیجه بخش حقیقی ضریب شکست کاهش می یابد.



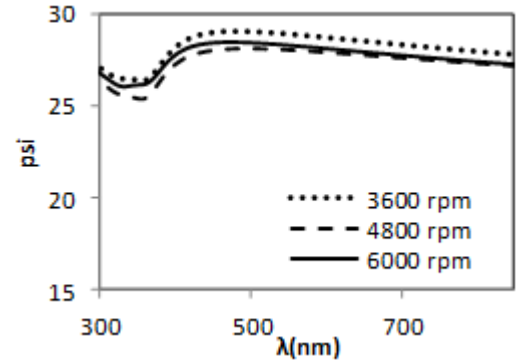
شکل ۳: بخش حقیقی ضریب شکست لایه های نازک اکسید روی در سرعت های دوران مختلف ۳۶۰۰ و ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه ضریب خاموشی لایه های نازک اکسید روی در سرعت های دوران مختلف را در شکل ۴ مشاهده می کنید. با افزایش طول موج ضریب خاموشی کاهش یافته است. علت این امر را می توان چنین توصیف کرد که با افزایش سرعت دوران ضخامت لایه ها کمتر شده و در نتیجه کسر حجمی حفره ها افزایش می یابد این امر باعث افزایش عبور و کاهش جذب می شود.



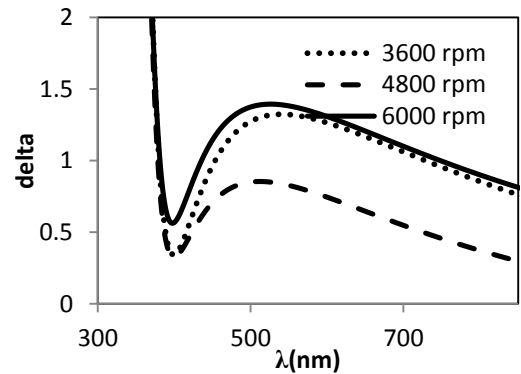
شکل ۴: ضریب خاموشی لایه های نازک اکسید روی در سرعت های دوران مختلف ۳۶۰۰ و ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه ضریب جذب  $\alpha(\omega)$  در بسامد زاویه ای  $\omega$  بصورت زیر بیان می شود [۶]:

$$\alpha(\omega) = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (3)$$

شده به روش پوشش دهی دورانی در بازه طیف ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر را نشان می دهد. تأثیر سرعت دوران روی مقادیر نسبت دامنه و اختلاف فاز قطبشهای p و s به وضوح قابل مشاهده است.



شکل ۱: نسبت دامنه قطبش های p و s لایه های نازک اکسید روی در سرعت های دوران مختلف ۳۶۰۰ و ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه



شکل ۲: اختلاف فاز قطبش های p و s لایه های نازک اکسید روی در سرعت های دوران مختلف ۳۶۰۰ و ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه جدول شماره ۱ خطای میانگین مربعی سرعتهای انباشت مختلف را نشان می دهد. جدول شماره ۱: خطای میانگین مربعی سرعتهای انباشت مختلف ۳۶۰۰ و ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه

خطای میانگین مربعی سرعت دوران ۳۶۰۰ دور در دقیقه	۰/۶۵۶۸
خطای میانگین مربعی سرعت دوران ۴۸۰۰ دور در دقیقه	۰/۸۸۳۹
خطای میانگین مربعی سرعت دوران ۶۰۰۰ دور در دقیقه	۰/۷۷۱۷

با توجه به جدول بالا کمترین خطای میانگین مربعی مربوط به سرعت دوران ۳۶۰۰ دور در دقیقه بدست آمد.

در شکل ۳ بخش حقیقی ضریب شکست مشاهده می شود. همانطور که می بینیم با افزایش سرعت دوران میزان ضریب شکست کاهش یافته است. سرعت دوران زیرلایه میزان نیروی شعاعی اعمالی به محلول را تحت تأثیر قرار می دهد. تغییر در

جدول شماره ۲ مقدار گاف نواری را در سرعت‌های دوران مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۲: گاف نواری انرژی در سرعت‌های دوران مختلف ۳۶۰۰ و ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه

سرعت دوران زیرلایه	گاف نواری انرژی (الکترون ولت)
۳۶۰۰ دور در دقیقه	۳/۴
۴۸۰۰ دور در دقیقه	۳/۶
۶۰۰۰ دور در دقیقه	۳/۷

### نتیجه گیری

در این مقاله خواص اپتیکی لایه های اکسید روی با استفاده از اسپکتروسکوپی الیسومتری و مدلسازی اپتیکی محاسبه شدند. اثر سرعت دوران برای لایه های نازک اکسید روی تهیه شده به روش سل-ژل پوشش دهی دورانی، روی زیرلایه شیشه مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که مشاهده شد سرعت دوران در روش پوشش دهی دورانی تأثیر قابل توجهی روی خواص اپتیکی لایه های تهیه شده دارد. گاف نواری لایه ها بین ۳/۴ تا ۳/۷ الکترون ولت محاسبه شد.

### مرجع ها

[۱] V.I. Kondratiev, I. Kink and A.E. Romanov, "low temperature sol-gel technique for processing al-doped zinc oxide films"; Materials Physics and Mechanics 17 (2013) 38-46

[۲] L. Znaidi, T. Touam, D. Vrel, N. Souded, S. Ben Yahia, O. Brinza, A. Fischer and A. Boudrioua, "ZnO Thin Films Synthesized by Sol-Gel Process for Photonic Applications"; acta physica polonica A 121 (2012)

[۳] A. Jain, M. Johari, A. Jain, P. K. Pandey and R. Agrawal, "modification in optical properties of zno thin film by annealing"; International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2( 2013).

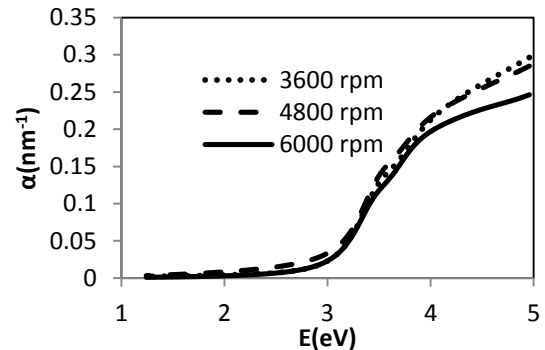
[۴] E. N. Cho, S. Park and I. Yun, "Spectroscopic ellipsometry modeling of ZnO thin films with various O2 partial Pressures"; Current Applied Physics 12 (2012) 1606-1610.

[۵] R. pascu and M. dinescu, "spectroscopic ellipsometry"; Romanian Reports in Physics, Vol. 64, No. 1, P. 135-142, 2012.

[۶] S. K. Al-Ani, "Methods of Determining The Refractive Index of Thin Solid Films"; Iraqi J. of Appl. Phys. , 4 ( 2008 ) 17-23.

[۷] H.F. Hussein, Ghufuran Mohammad Shabeeb and S.Sh. Hashim, "Preparation ZnO Thin Film by using Sol-gel-processed and determination of thickness and study optical properties"; J. Mater. Environ. Sci. 2 (2011) 423-426.

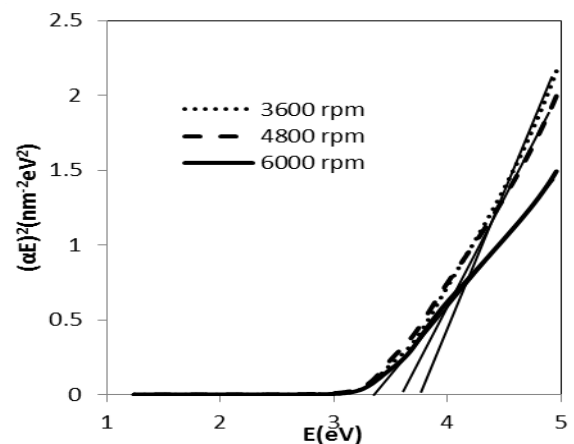
شکل ۵ ضریب جذب را برای لایه های نازک تهیه شده نشان می‌دهد. با افزایش سرعت دوران، ضریب جذب کاهش یافته است. علت این موضوع در شکل ۳ توضیح داده شده است.



شکل ۵: ضریب جذب لایه های نازک اکسید روی در سرعت های دوران مختلف ۳۶۰۰ و ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه برای گذار مستقیم داریم:

$$(\alpha h\nu)^2 = B(h\nu - E_g^{opt}) \quad (۴)$$

در رابطه بالا  $B$ ، پارامتر ماده می باشد که به احتمال گذار الکترونیک وابسته است،  $h\nu$  انرژی فوتون بوده و  $E_g^{opt}$  گاف تاک می باشد [۷].



شکل ۶: گاف نواری لایه های نازک اکسید روی در سرعت های دوران مختلف ۳۶۰۰ و ۴۸۰۰ و ۶۰۰۰ دور در دقیقه

در شکل ۶ گاف نواری انرژی لایه های اکسید روی با سرعت‌های دوران مختلف مشاهده می‌شود. با افزایش سرعت دوران، افزایش در گاف نواری مشهود است. با افزایش سرعت دوران شاهد افزایش کسر حجمی حفره ها و در نتیجه افزایش میزان گاف نواری هستیم.