تجزیه و تحلیل اپتیکی لایه های نازک اکسید روی تهیه شده به روش سل-ژل با استفاده از اسپکتروسکوپی الیپسومتری

مطلبی آقگنبد ، مریم[۱] ؛ صدقی، حسن[۱]

[۱] گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه

چکیده

لایه های نازک اکسید روی به روش سل-ژل روی زیر لایه شیشه تهیه شدند. لایه ها بعد از حرارت دیدن در دمای $200\ ^{\circ}C$ به مدت ۱۰ دقیقه، به مدت ۱ ساعت در دمای $500\ ^{\circ}C$ بازپخت شدند. استات روی دو آبه، دو متوکسی اتانول و مونواتانول آمین به ترتیب به عنوان ماده اولیه، حلال و تثبیت کننده مورد استفاده قرار گرفتند. خواص اپتیکی مختلف از جمله ضریب شکست، گاف نواری و ضریب خاموشی در زوایای فرود مختلف، با استفاده از دستگاه اسپکتروسکوپی الیپسومتری SE800DUV مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

فیت کردن داده ها با کمینه سازی خطای میانگین مربعی بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده پارامترهای الیپسومتری (ψ,Δ) انجام گرفته است.

Optical analysis of zinc oxide thin films prepared by sol-gel method using spectroscopy ellipsometric

Motallebi Aghgonbad, Maryam[1]; Sedghi, Hassan[1]

[1] *Department of Physics, Faculty of Science, Urmia University, Urmia*

Abstract

Zinc oxide nanolayers were deposited on glass substrate by sol-gel method. After heating at 200°C for 10 min., the layers were annealed at 500°C for an hour. Zinc acetate dehydrate, two-methoxyethanol and monoethanolamine were used as precursor, solvent and stabilizer respectively. Different optical constants such as refractive index, band gap and extinction coefficient were investigated and compared at different incidence angles by SE800DUV spectroscopic ellipsometry device.

Data fitting was done by minimizing the mean square error between the experimental and calculated ellisometry parameters (ψ,Δ) .

PACS No. ٦٨.٠٠

مقدمه

اکسید روی یک ماده نیمرسانای منحصر بفرد با گاف نواری مستقیم پهن در حدود ۳/۳۰ الکترون ولت است. در نتیجه به دلیل گذار نوار به نوار در $\lambda < ٣٦٨\ nm$ تابش فرا بنفش را جذب می کند و می تواند به عنوان الکترود شفاف در سلولهای خورشیدی و نمایشگرهای صفحه تخت و نیز به عنوان ماده شیشه در پوششهای ضد بازتاب و در فیلترهای اپتیکی مورد استفاده قرار گیرد [۱]. روش های مختلف سل-ژل بطور گسترده برای تهیه لایه های اکسید مواد از محلولها استفاده می شوند [۲]. روش سل-ژل به دلیل اینکه انباشت در آن به سادگی در آزمایشگاه برای

لایه های نازک نیمرسانا انجام می گیرد بسیار مورد توجه می باشد [۳]. از دیگر مزایای روش سل-ژل امکان تهیه تعداد زیادی لایه نازک در زمان کم می باشد . در نتیجه روشهای سل-ژل برای کارهای تحقیقاتی که در آنها تعداد زیادی لایه مورد نیاز است مناسب می باشند. برای بدست آوردن خواص اپتیکی لایه های نازک روشهای مختلفی وجود دارد که از بین آنها، روش اسپکتروسکوپی الیپسومتری به طور گسترده برای تعیین خواص اپتیکی لایه های نازک از جمله اکسید روی مورد استفاده قرار می گیرد [٤].

در این مقاله خواص اپتیکی لایه های نازک اکسید روی تهیه شده به روش سل-ژل با استفاده از اسپکتروسکوپی الیپسومتری در زوایای فرود مختلف مورد بررسی قرار گرفته اند.

روش تجربی

لایه های نازک اکسید روی به روش سل-ژل به طریق پوشش دهی دورانی تهیه شدند. برای تهیه لایه نازک اکسید روی، مقداری استات روی دو آبه در ترکیبی از محلول دو متوکسی اتانول و مونواتانول آمین اضافه شد. نسبت مولار استات روی به مونواتانول آمین، یک در نظر گرفته شد. استات روی با غلظت ۰/۵ مولار مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب بدست آمده، به مدت ۱ ساعت در دمای ^{o}C ٦۰ هم زده شد و سپس برای بدست آوردن یک محلول همگن، به مدت ٢٤ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. محلول نهایی به روش پوشش دهی دورانی با سرعت انباشت ٤۸۰۰ دور در دقیقه روی زیرلایه شیشه انباشت شد. قبل از لایه نشانی، زیرلایه ها با استفاده از متانول، استون و آب مقطر یون زدایی شده تمیز شدند. لایه های نازک تهیه شده به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ^{o}C ۲۰۰ در کوره حرارت داده شدند. سپس به مدت ۱ ساعت در دمای ^{o}C ۵۰۰ بازپخت شدند. ساختار اپتیکی نمونه های اکسید روی بااستفاده از دستگاه SE800DUV در محدوده طول موج ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر در سه زاویه فرود مختلف ٦۵ و ٦۷/۵ و ۷۰ درجه بدست آمد.

نتایج و بحث

نظریه تجزیه و تحلیل الیپسومتری بر پایه تغییر در حالت قطبش نور در زمانی است که نور از نمونه بازتاب یا از آن عبور می کند. در این حالت بعد از بازتاب یا عبور نور از نمونه، نور بسته به ضخامت و شاخص شکست لایه قطبیده می شود.از طیف الیپسومتری نمونه ها می توان ثابتهای اپتیکی و خصوصیات اپتیکی لایه ها را بدست آورد [۵].

اندازه گیری الیپسومتری برحسب نسبت دامنه و اختلاف فاز قطبش های p و s، (ψ,Δ) بیان می شود.

$$\tan(\psi).e^{i\Delta}=\rho=\frac{r_p}{r_s} \qquad (۱)$$

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

شرط لازم، تعیین بهترین فیت بین داده های (ψ,Δ) اندازه گیری شده و محاسبه شده است که خطای مربع میانگین این تفاوت را کمی سازی می کند. هر چه مقدار خطای مربع میانگین کمتر باشد نشانگر فیت مدل بهتر با داده های تجربی است.

در اندازه گیری الیپسومتری اندازه گیری باید در زاویه مایل انجام گیرد. در زاویه عمود اندازه گیری غیرممکن می شود چون قطبش های p وs در این حالت قابل تشخیص نخواهند بود.

در این مقاله داده ها با استفاده از دستگاه الیپسومتری SE800DUV در بازه طول موج ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر بدست آمدند.

تجزیه و تحلیل داده های اسپکتروسکوپی الیپسومتری نیازمند یک مدل اپتیکی است که توسط ثابتهای اپتیکی و ضخامت لایه نمونه معرفی می شوند [٦].

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:

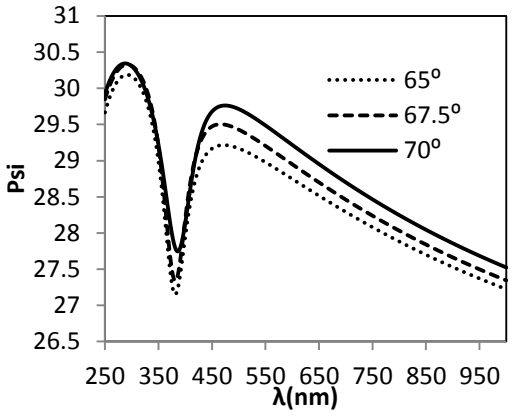
$$\sum_i f_i\left[\frac{\varepsilon_i-\varepsilon}{\varepsilon_i+2\varepsilon}\right]=0 \qquad (۲)$$

که ε_i تابع دی الکتریک مولفه i ام ترکیب و f_i کسر حجمی مولفه i ام ترکیب می باشند.

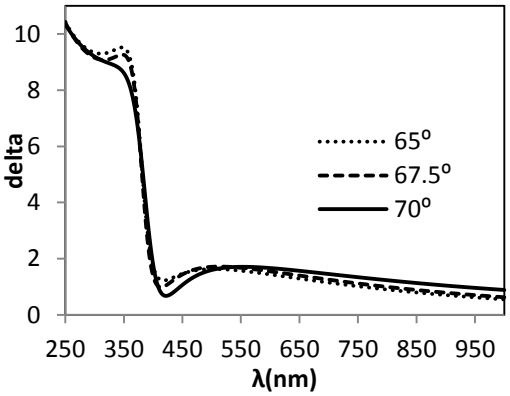
تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از روش بازگشت خطی انجام گرفته و ثابتهای اپتیکی توسط کمینه سازی خطاهای فیت تعیین شدند. شاخصهای شکست با استفاده از روابط Leng-Osillator توصیف شدند.

در این مقاله اندازه گیریهای الیپسومتری در سه زاویه مختلف ٦٥، ٦٧/٥ و ٧٠ درجه انجام گرفته است. با تغییر زاویه فرود در واقع ما طول مسیر پرتو ردیاب را که از میان لایه عبور می کند تغییر می دهیم.در اندازه گیریهای الیپسومتری نیاز است تا اندازه گیری در زوایای فرود مایل بین ٤٥ تا ٨٠ درجه انجام گیرد. در این زوایا حساسیت بالایی روی تفاوت بین نور قطبیده p و s وجود دارد. اگر نور قطبیده از یک ماده همسانگرد بازتاب شود نور قطبیده s با زاویه فرود افزایش می یابد در حالی که نور قطبیده p در زاویه بروستر از یک کمینه عبور می کند. در الیپسومتریهای جدید نیازی نیست که حتماً اندازه گیری در زاویه بروستر انجام گیرد می توان اندازه گیریهای دقیق را در بازه وسیعی از زوایای فرود انجام داد.

شکل های ۱ و ۲ به ترتیب پارامترهای الیپسومتری (ψ,Δ) بدست آمده در سه زاویه فرود مختلف ٦٥ و ٦٧/٥ و ٧٠ درجه برای نمونه لایه نازک اکسید روی انباشت شده به روش سل-ژل در بازه طیف ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر را نشان می دهد.

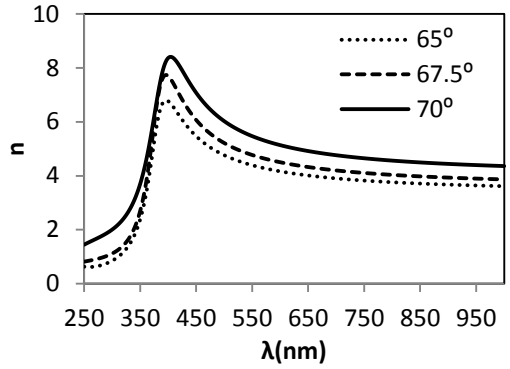


شکل ۱ : نسبت دامنه قطبش های p وs لایه های نازک اکسید روی در سه زاویه فرود مختلف ٦٥ و ٦٧/٥ و ٧٠ درجه



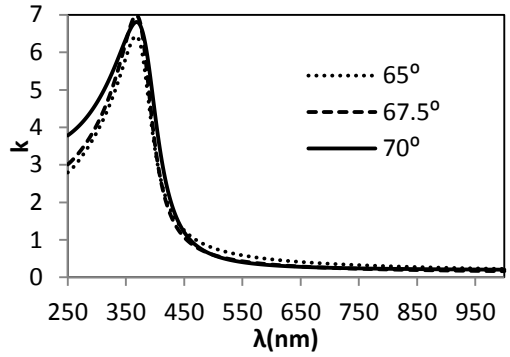
شکل ۲ : اختلاف فاز قطبش های p وs لایه های نازک اکسید روی در سه زاویه فرود مختلف ٦٥ و ٦٧/٥ و ٧٠ درجه

شکل ۳ بخش حقیقی ضریب شکست را برای نمونه ها نشان می دهد. مقادیر ضریب شکست به طور آشکار تحت تأثیر زاویه فرود قرار گرفته اند.



شکل ۳ : بخش حقیقی ضریب شکست لایه های نازک اکسید روی در سه زاویه فرود مختلف ٦٥ و ٦٧/٥ و ٧٠ درجه

در شکل ٤ ضریب خاموشی لایه های نازک اکسید روی مشاهده می شوند.

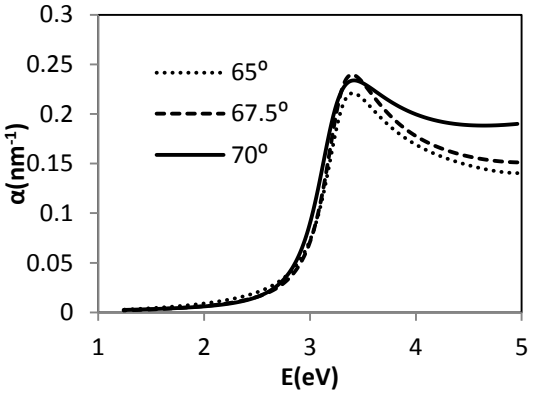


شکل ٤ : ضریب خاموشی لایه های نازک اکسید روی در سه زاویه فرود مختلف ٦٥ و ٦٧/٥ و ٧٠ درجه

ضریب جذب $\alpha(\omega)$ در بسامد زاویه ای ω بصورت زیر بیان می شود [۷]:

$$\alpha(\omega)=\frac{4\pi k}{\lambda} \qquad (۳)$$

ضریب جذب لایه های اکسید روی با زوایای فرود مختلف در شکل ۵ نشان داده شده اند.



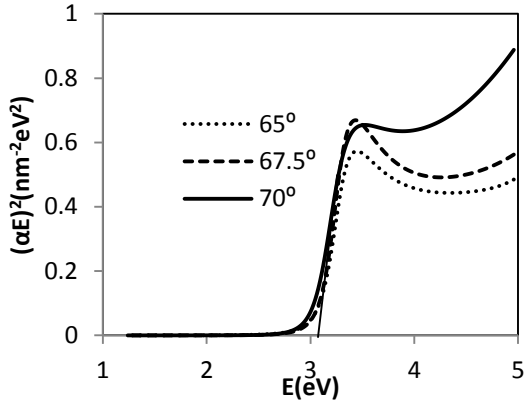
شکل ۵ : ضریب جذب لایه های نازک اکسید روی در سه زاویه فرود مختلف ٦٥ و ٦٧/٥ و ٧٠ درجه

برای گذار مستقیم داریم:

$$(\alpha h\upsilon)^2 = B(h\upsilon - E_g^{opt}) \qquad (٤)$$

در رابطه بالا B، پارامتر ماده می باشد که به احتمال گذار الکترونیک وابسته است، $h\upsilon$ انرژی فوتون بوده و E_g^{opt} گاف تاک می باشد [۳].

شکل ٦ گاف نواری انرژی را برای لایه های تهیه شده، نشان می دهد. مقدار گاف نواری برای هر سه لایه ۳/۱ الکترون ولت بدست آمده است.



شکل ٦ : گاف نواری لایه های نازک اکسید روی در سه زاویه فرود مختلف ٦٥ و ٦٧/٥ و ٧٠ درجه

نتیجه گیری

لایه های نازک اکسید روی به روش سل-ژل روی زیرلایه شیشه انباشت شدند و بر پایه اسپکتروسکوپی الیپسومتری تجزیه و تحلیل شدند.داده های الیپسومتری با استفاده از مدلی شامل زیرلایه شیشه و یک لایه اکسید روی بعلاوه یک لایه حفره سطحی روی آن فیت شدند.گاف نواری لایه ها ۳/۱ الکترون ولت بدست آمد. همچنین تأثیر زاویه فرود روی خواص اپتیکی لایه ها مورد بررسی قرار گرفت.

مرجع ها

[۱] M. Suchea, S. Christoulakis, K. Moschovis, N. Katsarakis and G. Kiriakidis, “ZnO transparent thin films for gas sensor applications”; Thin Solid Films 515 (2006) 551–554.

[۲] P. D. L. Neto, M. Atik, L. A. Avaca and M. A. Aegerter, “Sol-Gel Coatings for Chemical Protection of Stainless Steel”; Journal of Sol-Gel Science and Technology, 2 (1994) 529-534.

[۳] H.F. Hussein, Ghufran 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.

[٤] 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.

[٥] N. N. Dinh, T. Q. Trung, L. K. Binh, N. D. Khoa and V. T. Mai Thuan, “Investigation of zinc oxide thin film by spectroscopic ellipsometry”; VNU Journal of Science, Mathematics - Physics 24 (2008) 16-23

[٦] R. Pascu and M. Dinescu, “spectroscopic ellipsometry”; Romanian Reports in Physics, 64 (2012) 135-142.

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