

بررسی آستانه تخریب لیزری لایه نازک پنتاکسید تانتالیم، Ta_2O_5 ، تولید شده به روش کند و پاش مغناطیسی

شکوری، رضا؛ طلعتی، ملیحه

دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده

در این مقاله، لایه های نازک پنتاکسید تانتالیم، Ta_2O_5 ، با روش کندوپاش مغناطیسی بر روی زیر لایه شیشه ای از جنس لام تولید شده اند. توان منبع تغذیه برای همه نمونه ها مقدار ثابت ۴۰۰ وات انتخاب شده اند. اما فشار کاری برای هر نمونه متفاوت است. ثابت های اپتیکی n و k با اندازه گیری طیف عبور هر نمونه توسط اسپکتروفوتومتر محاسبه شده اند. آستانه تخریب هر نمونه توسط لیزر $Nd : Yag$ در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر اندازه گیری شدند. نتایج به دست آمده برای آستانه تخریب لیزری هر نمونه با توجه به مقادیر ثابت های اپتیکی آنها تحلیل شده است.

Investigation of laser damage threshold Tantalum Pentoxide, Ta_2O_5 , produced by magnetron sputtering

Shakouri, Reza ; Talati, Malihe

Department of Physics, Faculty of science, Imam khomeini international university, Qazvin

Abstract

In this paper, thin film of tantalum pentoxide, has been produced by RF magnetron sputtering on the glass substrate as slides. The optical constants n and k each sample are calculated by measuring the transmission spectrum by spectrophotometer. The power of RF and thickness film were equal (400 W) for our samples. However working pressure was different for each sample. Laser damage threshold is measured by a Nd :Yag laser with 1064 nm wavelength. The results obtained for laser damage threshold according to each sample are analyzed by their optical constant values.

PACS No. 68 81

۱- مقدمه

شکست نسبتاً بالای پنتاکسید تانتالیم، از لایه نازک این ماده می توان در ساخت فیلترهای اپتیکی کمک گرفت. برای ساخت یک فیلتر اپتیکی آگاهی از مقدار دقیق ثابت های اپتیکی هر لایه به کار رفته در ساخت فیلتر ضروری است. در برخی موارد فیلتر اپتیکی تولید شده باید در معرض نور لیزر با شدت بالا قرار بگیرد. بنابراین لایه

لایه نازک پنتاکسید تانتالیم Ta_2O_5 یک ماده پرکاربرد در الکترونیک می باشد. از جمله کاربردهای آن در ساخت خازن ها، ابزار نیمه رسانا-اکسید-فلز^۱ و ترانزیستورها می باشد. بدلیل پایداری شیمیایی Ta_2O_5 ، لایه نازک آن می تواند به عنوان لایه محافظ نیز استفاده شود [1-3]. همچنین با توجه به ضریب

^۱Metal-Oxide-Semiconductor (MOS)

به طور نسبی مشخص شدند. نتایج اندازه گیری آستانه تخریب لیزری با استفاده از مقادیر n و k تحلیل شده‌اند.

۲- جزئیات تجربی

هدف^۶ در دستگاه کندو پاش مغناطیسی به شکل دیسک و به قطر ۱۰۰ mm و با ضخامت ۳ mm می‌باشد. فاصله بین هدف تا زیر لایه ۱۰ cm است. خلا دستگاه از یک پمپ سرمایشی^۷ و یک پمپ روتاری تشکیل شده است. گاز آرگون و اکسیژن توسط یک شیر حساس به درون سیستم وارد می‌شوند. گاز آرگون برای کندو پاش هدف و گاز اکسیژن برای جبران تجزیه Ta₂O₅ می‌باشد، هرچند پلاسمای تولید شده در محیط شامل هر دو نوع گاز است و بنابراین گاز اکسیژن نیز در کندو پاش Ta₂O₅ شرکت دارد. زیر لایه‌ها در دستگاه کندو پاش مغناطیسی گرم نمی‌شوند و تمام نمونه‌ها در دمای محیط تولید شده‌اند. همچنانکه در شکل ۱- نشان داده شده است زیر لایه در پایین و هدف در بالا قرار دارد. مقادیر پارامترهای تولید لایه در جدول ۱- نشان داده شده است.

جدول-۱: پارامترهای تولید لایه

نمونه	شار آرگون SCCM	شار اکسیژن SCCM	ضخامت nm	فشار Torr
۱	۶۰	۱۰	۳۹۲	1.3×10^{-2}
۲	۲۵	۲۰	۳۹۷	6.7×10^{-3}
۳	۹۰	۲۵	۳۵۹	4.5×10^{-2}
۴	۹۰	۵	۳۶۳	2.2×10^{-2}
۵	۱۵	۱۰	۴۰۴	5.9×10^{-3}

ضخامت لایه‌ها توسط یک ضخامت سنج کریستالی اندازه گیری شده‌اند و زمان کندو پاش برای همه نمونه‌ها ۶۰ دقیقه انتخاب شده است. قبل از این که زیر لایه‌ها داخل مخزن قرار داده شوند با الکل و استون تمیز می‌شوند و در نهایت با آب مقطر آب کشی

نازک باید در برابر نور پر شدت لیزر دارای دوام بالایی باشد. به عبارت دیگر لایه مزبور باید دارای آستانه تخریب^۱ بالایی باشد. ویژگی‌های اپتیکی هر لایه نازک توسط ثابت‌های اپتیکی آن مشخص می‌شود. در حالت کلی ضریب شکست لایه نازک یک کمیت مختلط است یعنی $N = n + ik$ ، که n ضریب شکست^۲ و k ضریب خاموشی^۳ نامیده می‌شود. اگر یک ماده، کاملاً دی-الکتریک باشد، مقدار $k = 0$ است و ضریب شکست یک مقدار حقیقی می‌باشد، در صورتیکه اگر $k \neq 0$ باشد لایه، دی الکتریک کامل نیست و می‌تواند مقداری از نور فرودی به خود را جذب کند. وجود جذب در لایه‌های فیلترهای اپتیکی که در لیزرهای توان بالا بکار گرفته می‌شوند امری مضر محسوب می‌شود و ممکن است مواجهه فیلتر با نور پر شدت لیزر می‌تواند منجر به تخریب فیلتر شود. ثابت‌های اپتیکی n و k برای هر لایه نازک شدیداً به نحوه تولید لایه نازک بستگی دارد. اگر لایه نازک به گونه‌ای مناسب تولید نشود می‌تواند جذب بالایی داشته باشد و جذب نور باعث گرم شدن لایه و نهایتاً تخریب لایه شود. در این حالت گفته می‌شود فیلتر دارای آستانه تخریب پایین است. نسبت شدت نور عبور کرده از یک لایه نازک با ضخامت d به شدت نور فرودی با رابطه $I/I_0 = e^{-\alpha d}$ تعریف می‌شود که α ضریب جذب^۴ نامیده می‌شود و با رابطه $\alpha = 4\pi kd / \lambda$ تعریف می‌شود.

در این مقاله ابتدا چند نمونه لایه نازک مواد پنتاکسید تانتالیم Ta₂O₅، با روش کندو پاش مغناطیسی^۵ بر روی زیر لایه شیشه از جنس لام تولید شده‌اند. توان منبع تغذیه برای همه نمونه‌ها ثابت بوده است، در حالیکه فشار کاری برای هر نمونه متفاوت بوده است. ثابت‌های اپتیکی n و k ، با اندازه گیری میزان نور عبور کرده از هر نمونه توسط اسپکتروفوتومتر، محاسبه شده‌اند. مقدار آستانه تخریب لیزری برای هر نمونه به وسیله ی لیزر Nd:Yag

¹Damage Threshold

^۲Index Of Refraction

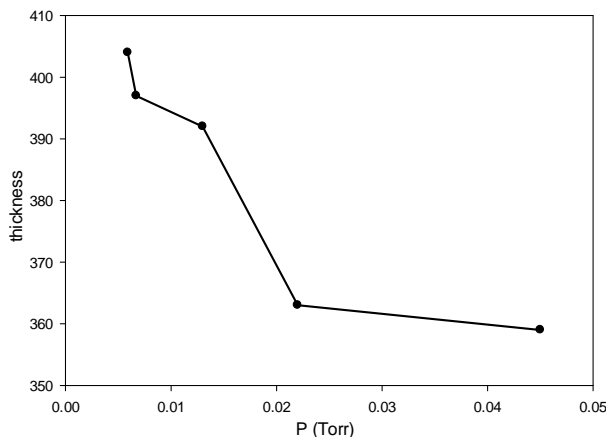
^۳Extinction Coefficient

^۴Absorption Coefficient

^۵Magnetron Sputtering

^۶Target

^۷Cro genic



شکل-۲: تغییرات ضخامت لایه بر حسب ضخامت

کوچک بودن مسافت آزاد میانگین، به معنای این است که ذرات Ta_2O_5 شانس کمتری دارند تا به زیرلایه برسند زیرا در فشار بالاتر متحمل برخوردهای بیشتری می‌شوند. در جدول-۲ ضریب شکست و ضریب خاموشی هر پنج نمونه در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر داده شده است. همچنین مقدار درصد نور عبور کرده از نمونه با رابطه $I/I_0 = e^{-\alpha t}$ ، که $\alpha = 4\pi kd / \lambda$ ، با توجه به ضخامت هر نمونه از جدول-۱ داده شده است.

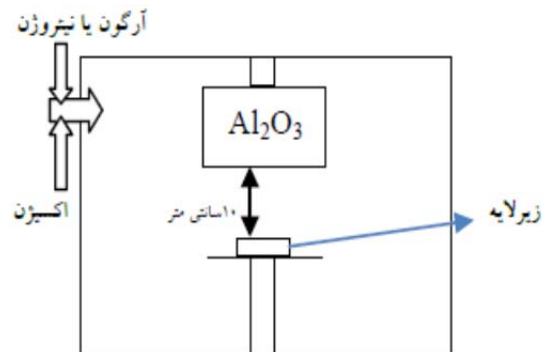
جدول-۲: ضریب شکست n و ضریب خاموشی k نمونه‌ها و نسبت نور عبور کرده از نمونه

نمونه	ضریب شکست n	ضریب خاموشی k	نسبت $I/I_0 = e^{-\alpha t} \times 100$
۱	2.060	0.00042	99.80
۲	2.073	0.00026	99.87
۳	2.119	0.00023	99.90
۴	2.115	0.00155	99.33
۵	2.098	0.00051	99.75

ضریب شکست هر پنج نمونه تقریباً با هم برابرند و اختلاف آنها با هم ناچیز است. ضریب خاموشی چهار نمونه نیز از یک مرتبه است. اما ضریب خاموشی نمونه چهارم یک مرتبه بالاتر از بقیه نمونه‌هاست. بنابراین جذب این نمونه باید بیشتر از سایر نمونه‌ها باشد و در نتیجه آستانه تخریب لیزری آن باید کمتر از نمونه‌های

می‌شوند. طیف عبور نمونه‌ها بعد از تشکیل لایه توسط اسپکتروفوتومتر مدل Perkin-Elmer Lambda25 در بازه طول موجی 400-1200 nm اندازه‌گیری شده‌اند.

برای اندازه‌گیری آستانه تخریب لیزری از یک لیزر Nd:Yag با طول موج 1064nm استفاده شده است. برای محاسبه ضریب شکست n و ضریب خاموشی k از روش پوش^۱ ارائه شده در مقالات [۷-۴] کمک گرفته‌ایم.



شکل-۱: شماتیک دستگاه کند و پاش

۳- نتایج و بحث

در شکل-۳، ضخامت لایه بر حسب فشار کاری هر نمونه رسم شده است. همچنانکه مشاهده می‌شود، با افزایش فشار کاری، ضخامت لایه کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه زمان لایه نشانی برای همه نمونه‌ها ۶۰ دقیقه (3600 s) است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت نرخ نشست^۲ برای نمونه‌هایی که در فشار پایین‌تر تولید شده‌اند بیشتر است.

این افزایش نرخ نشست را می‌توان اینگونه توجیه کرد: نرخ‌کننده شدن ذرات (Ta_2O_5) از هدف بستگی به تعداد یون‌ها در محیط دارد. هر چه تعداد این یون‌ها بیشتر باشد هدف بیشتر بمباران می‌شود و تعداد ذرات بیشتری از هدف جدا می‌شوند. از طرف دیگر بالا بودن فشار در محیط به معنای کوچک بودن مسافت آزاد میانگین ذرات در محیط است.

^۱Envelope Method

^۲Deposition Rate

۵- نتیجه گیری

لایه نازک پنتاکسید تانتالیم با روش کندو پاش مغناطیسی تولید شد. توان منبع تغذیه برای تولید همه نمونه ها یکسان بود اما مقدار اکسیژن و آرگون محیط متفاوت بود. در زمان یکسان لایه نشانی (۶۰ دقیقه) ضخامت لایه، برای نمونه‌هایی که در فشار کمتر تولید شده بودند بیشتر بود که این بیشتر بودن ضخامت به کاهش تعداد برخورد ذرات Ta₂O₅ با گازهای آرگون و اکسیژن نسبت داده شد. همچنین ضرایب شکست و خاموشی لایه ها محاسبه شدند. ضرایب شکست نمونه‌ها تقریباً یکسان بود اما ضریب خاموشی نمونه چهارم بیشتر از سایر نمونه ها بود و از قرار، آستانه تخریب لیزری این نمونه پایین تر از همه نمونه‌ها بود. پایین بودن آستانه تخریب نمونه مزبور به بالا بودن جذب آن نسبت داده شد.

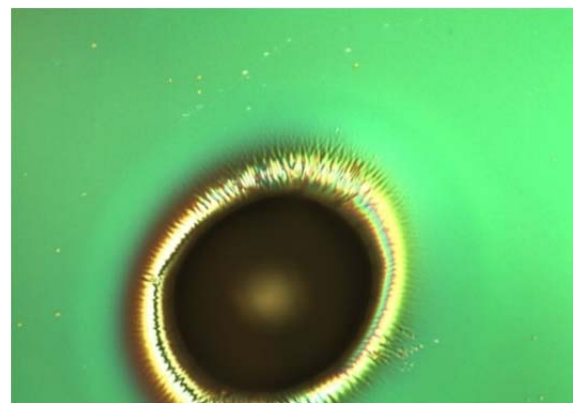
تشکر و قدر دانی

نویسندگان این مقاله از آقای علی مشایخی اصل و خانم فریبا انصار برای اندازه گیری آستانه تخریب لیزری و طیف عبوری کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مراجع

- [1] Y. Nischioka, H. Shinriki and K. Mukai, *J Appl. Phys*, **61**, 2335 (1987).
 [2] E. Atanassova, M. Kalitzova, G. Zollo, A. Paskaleva, A. Peeva, M. Georgieva, G. Vitali, *Thin Solid Films* **423** 191 (2003).
 [3] H. Gruger, Ch. Kunath, E. Kunath, S. Sorge, W. Pufe, T. Pechstein, *Thin Solid Films* **447**, 509 (2004).
 [4] رضا شکوری، بابک حسینی "بررسی ویژگی های اپتیکی لایه منیزیم فلوراید تولید شده با روش باریکه الکترونی در ناحیه ۴۰۰-۱۸۰۰ نانومتر" *مجله پژوهش پس نره ای*. در حال چاپ
 [5] R. Swanpoel, *J. Phys. E Sci. Instrum.* **16** 1214 (1983).
 [6] E.A. El-Sayes, G.B. Sakr, *Phys. Status Solidi A* **2013060** (2004).
 [7] E.G. El-Metwallya, M.O. Abou-Helalb, I.S. Yahiaa, *J. Ovonic Res.* **420** (2008).

دیگر باشد. با توجه به رابطه $I/I_0 = e^{-\alpha x}$ ، که در مقدمه (بخش ۱) بیان شد نسبت جذب نمونه مزبور نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر است (جدول-۲). بایستی به این نکته توجه شود که نسبت نور عبور کرده از هر نمونه مطابق با جدول-۲ بالاتر از ۹۹ درصد است و تنها مقدار کمی از نور در عبور از لایه، جذب می شود اما همین مقدار کم برای لایه‌ای با ضخامت ۴۰۰ نانومتر (جدول-۱) قابل توجه است. به علت نداشتن توان سنج^۱، ما آستانه تخریب نمونه ها را فقط به طور نسبی اندازه گیری کرده‌ایم و نتیجه اندازه گیری نشان می‌دهد مقدار آستانه تخریب نمونه چهارم کمتر از سایر نمونه‌هاست. در شکل-۳ تصویر یک نمونه تخریب شده توسط لیزر که توسط میکروسکوپ ثبت شده است نشان داده شده است. در شکل-۴ تصویری از نمونه با اندازه واقعی نشان داده شده است.



شکل-۳: تصویر بزرگ شده از ناحیه‌ای از لایه که تخریب شده است.



شکل-۴: تصویر یک نمونه لایه Ta₂O₅ که توسط لیزر تخریب شده است. ناحیه که با دایره قرمز مشخص شده تخریب شده است.

¹Power Meter