مقاله نامه ششمین کنفرانس ملّی خلأ ایران
دانشگاه شهید چمران اهواز
۱۶ و ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۲

محاسبه ضخامت و ضریب شکست لایه نازک HfO_2 با استفاده از طیف عبوری

قشلاقی، مریم؛ بهلول، نوشین؛ حجتی راد، هاشم؛ ملکی، هادی

پژوهشکده لیزر واپتیک، پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای، تهران،انتهای خیابان کارگر شمالی

چکیده

محاسبه ضریب شکست و ضخامت لایه نازک پس از لایه نشانی بحث جالبی در مقوله لایه نازک می باشد. در این مقاله ابتدا لایه نازک HfO_2 به روش فیزیکی تبخیر در خلاء توسط دستگاه لایه نشانی بالزرز BAK510 انباشت شد. سپس طیف عبوری آن توسط دستگاه طیف سنج Cary500 در محدوده **UV-VIS-NIR** *به دست آمد. بالاخره با استفاده از طیف عبوری به روش envelope، ضریب شکست لایه نازک HfO_2 به عنوان تابعی از طول موج محاسبه شد .سپس ضخامت لایه نازک محاسبه شد که با مقدار نشان داده شده توسط ضخامت سنج دستگاه لایه نشانی، یکسان است.*

Calculate of thickness and refractive index of HfO_2 thin film by using transmission spectra

Gheshlaghi, Maryam; Bohlol, Noshin; Hojati rad, Hashem; maleki, Hadi
Laser and optics research school, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRL), the end of North karegar Ave., Tehran

Abstract

Calculate the refractive index and thickness of thin film deposition is an interesting discussion on the subject. In this paper, HfO_2 thin film was deposited by balzers machine coating BAK510, with physical vapor deposition method. Then it passes through the spectrum in the range of UV-VIS-NIR spectrometer Cary500 obtained. Finally, using the method of transmission spectra envelop, refractive index of thin HfO2 layers was calculated as a function of wavelength. Then thin film thickness was determined that measuring the amount shown by the thickness monitoring of coating machine is the same.

PACS No.

Archive of SID

مقدمه

بدست آوردن ضریب شکست و ضخامت لایه نازک پس از لایه نشانی روشی مناسب برای اطمینان از اندازه گیری های دستگاه لایه نشانی در حین انباشت لایه است. لایه نازک HfO_2 با روش تبخیر فیزیکی در خلاء PVD روی زیرلایهBK7 انباشت شد. سپس طیف عبوری حاصل از لایه نشانی فوق با استفاده از دستگاه Cary500 اندازه‌گیری شد. محاسبات اندازه گیری ضریب شکست و ضخامت لایه توسط فرمول های روش envelope انجام شد. سپس ضخامت لایه اندازه‌گیری و با ضخامت اندازه گیری شده توسط ضخامت سنج دستگاه لایه نشانی، مقایسه شد.

لایه نشانی HfO_2

لایه نازک HfO_2 با روش تبخیر فیزیکی در خلاء (روشPVD) توسط دستگاه لایه نشانی BAK510 روی زیرلایه BK7 در شرایط دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس و فشار ۷×۱۰^{-۶} تور(که با اعمال فشار جزئی اکسیژن، فشار به۷×۱۰^{-۵} تور می‌رسد.) با ضخامت ۱۰۵۰ نانومتر انباشت شد.

روش envelope

محاسبه ضریب شکست لایه نازک با استفاده از روش envelope [۱،۲] مستلزم یکنواخت بودن ضخامت لایه، همگن بودن لایه و

www.SID.ir

داشتن طیف عبوری با خطای کمتر از ۰/۵ درصد می باشد. لایه - نشانی فوق الذکر، هر سه شرط بالا را دارا می باشد.

دراین روش ضریب شکست n با استفاده T_M ماکزیمم و T_m مینیمم طیف عبوری لایه نازک به شرح فرمول های ۱ و ۲ به دست می آید [۱،۲] :

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}} \qquad (1)$$

$$N = 2n_s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \qquad (2)$$

که در آن n_s ضریب شکست زیرلایه است. ضریب شکست دارای قسمت حقیقی و موهومی می باشد، که قسمت موهومی تحت عنوان ضریب نابودی شناخته می‌شود و با k نمایش داده می‌شود و به صورت فرمول ۳ تعریف می گردد [۳] :

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

که در آن

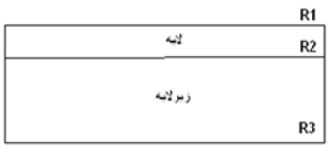
$$\alpha = -\frac{1}{d}\ln A \qquad (4)$$

$$A = \frac{P+\sqrt{P^2+2QT_\alpha(1-R_2R_3)}}{Q} \qquad (5)$$

$$P = (R_1 - 1)(R_2 - 1)(R_3 - 1) \qquad (6)$$

$$Q = 2T_\alpha(R_1R_2 - R_1R_3 - 2R_1R_2R_3) \qquad (7)$$

که در آن R_1, R_2و R_3 به ترتیب ضریب انعکاس سطح هوا-لایه، ضریب انعکاس سطح لایه- زیرلایه و ضریب انعکاس سطح هوا - زیرلایه می باشد (شکل۱). [٤]



شکل۱:شماتیک انباشت لایه

$$R_1 = ((1-n)/(1+n))^2 \qquad (8)$$

$$R_2 = ((n-n_s)/(n+n_s))^2 \qquad (9)$$

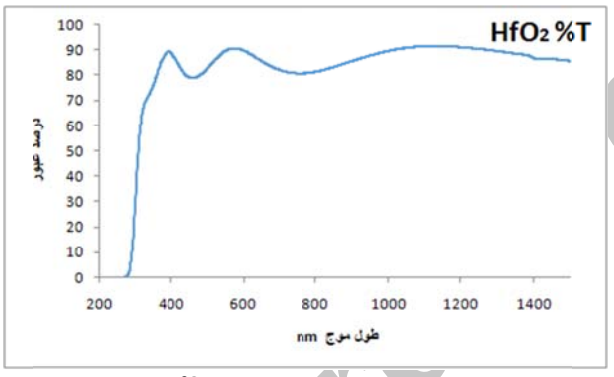
$$R_3 = ((n_s-1)/(n_s+1))^2 \qquad (10)$$

ضخامت لایه نیز از فرمول۱۱ بدست می آید:

$$d = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \qquad (11)$$

بررسی طیف عبوری و محاسبات

طیف عبوری لایه نازک HfO_2 با استفاده از دستگاه Cary500 در محدوده طول موج۲۰۰ الی۱۵۰۰ نانومتر، به صورت نمودار ۱ می باشد.



نمودار۱:طیف عبوری لایه نازک HfO_2

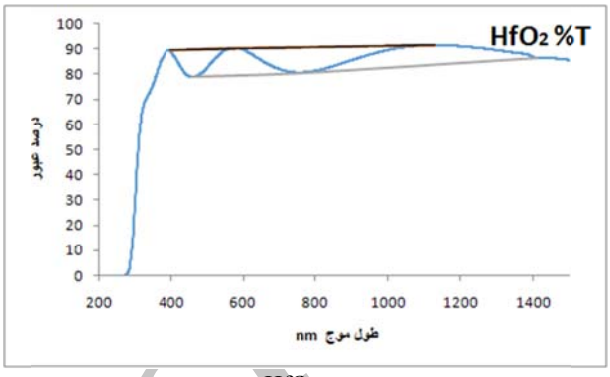
مقادیر ماکزیمم و مینیمم طیف عبوری نمودار۱ به شرح جدول ۱ است.

جدول۱: مقادیر ماکزیمم و مینیمم طیف عبوری لایه نازک HfO_2

مینیمم		ماکزیمم	
درصد عبور	طول موج nm	درصد عبور	طول موج nm
۸٦/٤۹	۱٤۱۱	۹۱/٦۱	۱۱۲۷
۸۰/۷۰	۷٦۰	۹۰/۵۱	۵۸۷
۷۸/۹۹	٤۵۸	۸۹/٦۲	۳۹۲

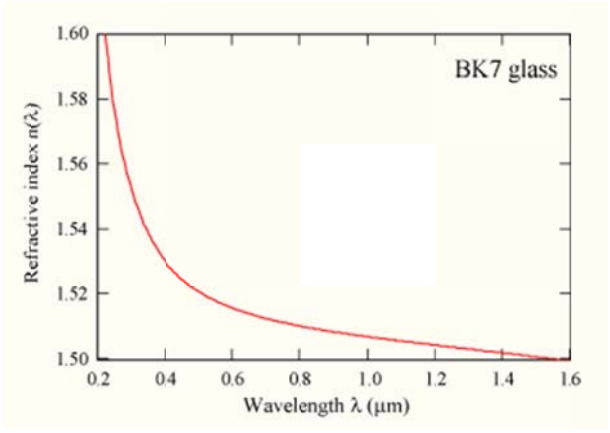
Archive of SID
www.SID.ir

برای استفاده از فرمول های ۱و۲ ابتدا می‌بایست که پوش نقاط مینیمم و ماکزیمم نمودار۱ طبق نمودار۲ رسم شود و سپس مقادیر T_M و T_m بدست آمده از نمودار، بکار رود.



نمودار۲: طیف عبوری لایه نازک HfO_2 با پوش ماکزیمم و مینیمم ها

همچنین چون در انباشت لایه نازک HfO_2 از زیرلایه BK7 با ضریب شکست n_s استفاده شده است و این ضریب شکست طبق نمودار۳ با طول موج تغییر می کند، می‌بایست در محاسبات، ضریب شکست مناسب را لحاظ نمائیم.



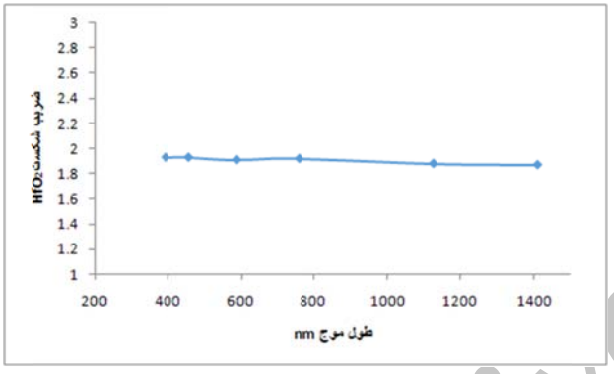
نمودار۳: تغییرات ضریب شکست BK7 با طول موج

مقادیر محاسبه شده n و k به صورت جدول۲ بدست آمد.

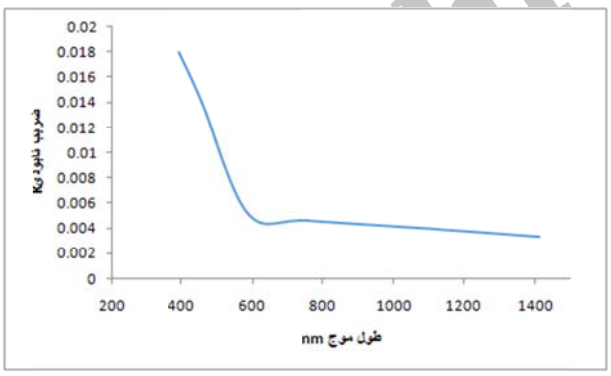
جدول۲: مقادیر محاسبه شده n و k

λ(nm)	n	k
۱٤۱۱	۱/۸۷	۰/۰۰۲٤
۱۱۲۷	۱/۸۸	۰/۰۰۳۹
۷٦۰	۱/۹۲	۰/۰۰٤٦
۵۸۷	۱/۹۱	۰/۰۰۵۱
٤۵۸	۱/۹۳	۰/۰۱٤
۳۹۲	۱/۹۳	۰/۰۱۵

همچنین نمودارهای٤ و۵ به ترتیب تغییرات ضریب شکست و ضریب نابودی را بر حسب طول موج نشان می دهد.



نمودار٤: تغییرات ضریب شکست HfO_2 با طول موج



نمودار۵: تغییرات ضریب نابودی با طول موج

با استفاده از رابطه۱۱ ضخامت لایه نازک HfO_2 محاسبه می‌شود.

$$d = 1058nm$$

www.SID.ir

شایان ذکر است که این ضخامت با ضخامت نشان داده شده توسط ضخامت سنج کریستالی دستگاه لایه‌نشانی، درحین لایه نشانی تقریبا یکسان می‌باشد.

نتیجه‌گیری

یکی از معضلات محققین و تجربی کارهای حوزه لایه نشانی اطلاع دقیق از ضریب شکست و ضخامت لایه نازک انباشت شده، است. از آنجاییکه محاسبه ضریب شکست لایه نازک با استفاده از روش envelope مستلزم یکنواخت بودن ضخامت لایه، همگن بودن لایه و داشتن طیف عبوری با خطای کمتر از ۰/۵ درصد می‌باشد و لایه‌نشانی لایه نازک HfO_2 در این تحقیق، هر سه شرط بالا را دارا می‌باشد، این امکان را بدست آوردیم که ضریب شکست را به عنوان تابعی از طول موج و همچنین ضخامت لایه نازک بدست آوریم. یکسان بودن ضخامت بدست آمده از روش envelope با ضخامت نشان داده شده توسط دستگاه لایه نشانی، دلیلی بر این مدعا می باشد.

مرجع‌ها

[1] Investigation of HFO_2 dielectric stacks deposited by ALD with a mercury probe, X.Garros, C. Leroux, D. Blin1, J.F. Damlencourt, A.M. Papon, G. Reimbold, ESSDERC 2002
[2]Determination of the optical constants and thickness of titanium oxide thin film by envelope method, N. Witit-anun, P. Rakkwamsuk , and P. Limsuwan, International Workshop and Conference on Photonics and Nanotechnology 2007
[3] Determination of surface roughness and optical constants of inhomogeneous amorphous silicon films, R Swanepoel, J. Phys. E: Sci. Instrum., Vol. 17, 1984. Printed in Great Britain
[4] Determination of Refractive Index and Film Thickness from Interference Fringes, N. J. Harrick, APPLIED OPTICS / Vol. 10, No. 10 / October 1971

Archive of SID
www.SID.ir