

تأثیر دما و زمان حرارت دهی بر خواص اپتیکی نانولایه های اکسیدروی

انباشت شده بر کریستال LiNbO_3

اکبرزنده نام، مرضیه شیرازی و سمیرا دولتشاه

آزمایشگاه فنون نانو و لایه نشانی، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک

(دریافت مقاله : ۸۹/۱/۱۴ - پذیرش مقاله : ۸۹/۱۲/۲۱)

چکیده

در این پژوهش لایه های نازک اکسید روی (ZnO) از طریق اکسیداسیون حرارتی لایه های نازک روی (Zn)، که به روش کندو پاش مگنترون بر زیر لایه نیوبات لیتیم انباشت شده، تولید گردیدند. وابستگی به دما و مدت زمان گرمادهی ویژگی های اپتیکی این نانولایه ها مورد مطالعه قرار گرفته است. تغییرات توان عبوردهی (T)، بازتابندگی (R) و ضریب خاموشی (k) نمونه ها برای گستره طول موج ۱۱۰۰-۲۰۰ نانومتر نسبت به دما و زمان حرارت دهی اندازه گیری شده است. با افزایش دمای بازپخت توان عبوردهی لایه ها کاهش نشان می دهد و در دماهای زیاد (800°C) که احتمال نفوذ لایه ZnO به زیرلایه نیوبات لیتیم فزونی می یابد، عبوردهی افزایش یافته و به توان عبوردهی اولیه زیرلایه نزدیک می گردد. انرژی گاف اپتیکی لایه های اکسیدروی برای شرایط متفاوت حرارت دهی اندازه گیری شده و با افزایش دما مقدار آن کاهش می یابد، در دمای 800°C با ازدیاد زمان حرارت دهی انرژی گاف اپتیکی فزونی یافته و در این شرایط نفوذ لایه به درون نیوبات لیتیم فراهم می گردد.

واژه های کلیدی: لایه نازک اکسیدروی، بلورنیوبات لیتیم، خواص اپتیکی، کندوپاش مگنترون.

The effect of temperature and heating period on optical properties of ZnO nano layers deposited on LiNbO_3

A. Zendehnam, M. Shirazi and S. Doulatshah

Thin Film Laboratory, Physics Department, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran

Abstract

In this work, the optical properties of ZnO thin films were investigated experimentally. Zinc was sputtered by the magnetron sputtering method on the LiNbO_3 crystal (as substrate), followed by a thermal oxidation at 450°C of the obtained ZnO films. The variations of the transmittance, reflectance, and extinction coefficient were measured for temperatures ($450-800^\circ\text{C}$) and different periods of heating (15-120min) which were employed to study their effects on the optical characteristics of the ZnO samples. The optical band gap energy was determined and it showed reduction with temperature and an increase at 800°C with period of heating.

Keywords: *ZnO Thin Films, LiNbO_3 , Optical Properties, Magnetron Sputtering.*

E-mail of corresponding author: *A-zendehnam@araku.ac.ir*

مقدمه

موجبرهای نوری از مهمترین اجزای سیستم های ارتباطی و مخابراتی است، که از آنها برای انتقال سیگنال نوری و به رمز درآوردن اطلاعات استفاده می شود. امروزه استفاده از موجبرهای نیوبات لیتیم به دلیل کاهش اثر پراکندگی در فیبر نوری و فراهم کردن پهنای باند مورد نیاز، مورد توجه فراوان قرار گرفته است [۱ و ۲]. در ارتباطات مخابراتی نوین ساخت موجبرهایی که به ولتاژ کمی نیاز داشته و اتلاف کمی دارند، از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این میان موجبر نیوبات لیتیم علاوه بر داشتن این دو ویژگی، سرعت پاسخ گویی بالایی نیز دارد.

بلور نیوبات لیتیم دارای ساختاری ناهمسانگرد، شفاف و نامحلول در آب است. دمای ذوب این بلور 1240°C و دمای کوری آن 1210°C است [۳].

کریستال نیوبات لیتیم یکی از مهمترین بلورهای غیر خطی و دوشکستی است که دارای خواص فروالکترونیک، پیزوالکترونیک، اثر پولکلز بوده و در طول موج های فرسرخ (IR)، شفافیت نوری مناسبی دارد. این بلور کاربردهای متنوعی در سیستم های انتقال سیگنال مخابراتی راه دور، ساخت مدولاتورهای نوری و ابزارهای اکوستوآپتیکی دارد [۳]. مهمترین کاربرد این بلور ساخت موجبرهای نوری کم اتلاف با استفاده از نفوذدهی عنصری مناسب (Zn, Ti) در زیر لایه نیوبات لیتیم است [۴].

اولین موجبر نیوبات لیتیم که به کمک نفوذ عنصر تیتانیوم ساخته شد، قابلیت هدایت هر دو مد قطبش (TM, TE) را داشته و در گستره مادون قرمز طیف کارایی خوبی داشت، اما به دلیل حساسیت نورشکستی بالا که منجر به پراکندگی نور می شد، در ناحیه مرئی طیف کارایی آن چندان مناسب نبود [۴].

از سویی دیگر ضریب نفوذ تیتانیوم در نیوبات لیتیم پایین بوده و نفوذ تیتانیوم در دماهای بالا ($T > 1000^\circ\text{C}$) و زمانهای طولانی (۶-۸ ساعت) صورت می گیرد. به دلیل نزدیکی این بازه دمایی به دمای بحرانی بلور نیوبات لیتیم فاز Li_2O از آن خارج شده و باعث تخریب پدیده نورشکستی در بلور

می شود، در نتیجه موجبر ساخته شده تنها قادر به هدایت مد TM خواهد بود [۲ و ۵].

بهترین جایگزین در ساخت نیوبات لیتیم فلز روی (Zn) می باشد. عنصر روی فلزی ارزان، غیر سمی و با پایداری گرمایی و شیمیایی زیاد می باشد. عبوردهی خوب در ناحیه مرئی و IR، جذب کامل نور در ناحیه فرابنفش (کمتر از 370nm)، خواص پیزوالکترونیک، رسانندگی مناسب و امکان انباشت به روش های متنوع شیمیایی و فیزیکی از مهمترین مزیت های فلز روی می باشد [۶].

عنصر روی دارای انرژی فعالسازی پایین و در نتیجه ضریب نفوذ بالا در نیوبات لیتیم است [۶]. حفظ خاصیت بلوری نیوبات لیتیم پس از نفوذ دهی، ثابت ماندن ضرایب الکترواپتیک بلور و جابه جایی لبه جذب نسبت به بلور نیوبات لیتیم اولیه به سمت ناحیه فرابنفش با طول موج های کوتاهتر، فلزروی را به عنصری مناسب برای ساخت موجبر نیوبات لیتیم تبدیل کرده است [۷ و ۸].

شایان ذکر است که نفوذ دهی روی، در دماهای نسبتاً پایین ($T < 900^\circ\text{C}$) و در مدت زمان کمتر (۲-۳ ساعت) انجام می پذیرد، لذا احتمال خروج فاز Li_2O از بلور و اختلال در حوزه های فروالکترونیک به ندرت اتفاق می افتد [۷ و ۸]. از طرفی فرآیند نفوذ روی در نیوبات لیتیم بر خلاف تیتانیوم به محیط بی اثر و خلا نیاز ندارد [۹].

نفوذ ZnO در نیوبات لیتیم به روش های متنوعی همچون گرمایش زیر لایه در محیط بخار Zn و سپس بازپخت لایه انباشتی در هوای آزاد در دمای 900°C - 800°C [۳ و ۷] و یا نفوذ Zn در بلور نیوبات لیتیم با استفاده از هدف ZnO به روش کندوپاش رادیوفرکانس (RF)، انجام پذیرفته است [۱۰]. اما استفاده از روش کندوپاش مگترونی DC به ندرت گزارش شده است. باال بودن انرژی ذرات در روش کندوپاش مگترونی، خلوص زیاد لایه، چگالی پکیدگی زیاد و چسبندگی خوب لایه به زیر لایه، یکنواختی ضخامت، رشد برآراستی لایه ها در دماهای پایین انباشت و امکان انباشت بر روی زیر لایه هایی با ابعاد

(از نظر فشار گاز آرگون و جریان و ولتاژ) برای انباشت حاصل گردید. (جدول (۱)) در این شرایط آهنگ مناسب لایه نشانی، یکنواختی و پیوستگی لایه انباشت شده مد نظر بوده است (یافتن شرایط بهینه برای انباشت ابتدا روی زیر لایه های شیشه ای انجام پذیرفت [۱۲]).

لایه های Zn انباشت شده روی کریستال نیوبات لیتیم در محیط هوا در دمای 450°C به مدت ۱۵ دقیقه به منظور اکسیداسیون روی (Zn) حرارت دهی شدند (رطوبت متوسط آزمایشگاه در حین اکسیداسیون ۶۰ درصد بوده است). سپس لایه ها در دماهای متفاوت ($500-800^\circ\text{C}$) به مدت ۱۵ دقیقه برای هر دما پس بازپخت گردیدند. بعد از آن به منظور بررسی نفوذ Zn در بلور نیوبات لیتیم نمونه ها در دمای 800°C و در زمان های متفاوت (۱۵-۱۲۰ دقیقه) حرارت دهی شدند.

ضخامت لایه ZnO، ۱۵۰ نانومتر بوده که به روش پس پراکندگی راترفورد (RBS) اندازه گیری شده است [۱۳]. طیف عبوری (T) و جذبی (A) لایه ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر دوپرتوی کامسپک (Camspec model M350) در گستره طول موج ۱۱۰۰-۲۰۰ نانومتر اندازه گیری شدند، تا تأثیر دما و زمان پس بازپخت بر ویژگی ها و پارامترهای اپتیکی نمونه های تولیدشده مورد بررسی قرار گیرند. تغییرات توان عبوردهی، بازتاب و نمار خاموشی به همراه انرژی گاف اپتیکی نمونه ها نسبت به دما و زمان حرارت دهی مطالعه شدند.

وابستگی دمایی و زمان حرارت دهی خواص اپتیکی لایه های نازک ZnO بر بستره بلور نیوبات لیتیم که به روش کندوپاش فلز روی و اکسیداسیون حرارتی تولید شده باشند، تا به حال انجام نشده است و این برای اولین بار است که اثر این گونه پارامترها مورد مطالعه قرار می گیرند.

جدول ۱. شرایط انباشت نانولایه اکسیدروی

آهنگ انباشت nm/s	فشار پیش خلا (mbar)	ولتاژ (V)	جریان (A)	فشار آرگون (mbar)
۱,۹۵	10^{-5}	۶۲۰	۰,۴	10^{-1}

بزرگ از مهمترین مزایای روش کندوپاش مگنترون DC است.

در این تحقیق، ویژگی های اپتیکی لایه نازک ZnO انباشت شده بر زیر لایه نیوبات لیتیم که به روش اکسیداسیون حرارتی لایه Zn تولید شده مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش آزمایش ها

در این پژوهش از بلور نیوبات لیتیم (x-cut) با خلوص ۹۹/۹۹۸ درصد محصول شرکت Foctek به عنوان زیر لایه استفاده شد. ضخامت بلور ۰,۵ میلیمتر و ابعاد $10 \times 20 \text{ mm}^2$ است. انباشت فلز روی توسط دستگاه لایه نشانی در خلا، کندوپاش مگنترون با هدف تخت مدل Hind High Vacuum (H.H.V) 12"MSPT انجام شده است. کاتد قرص دایره ای به شعاع $12/5$ سانتی متر و ضخامت ۳mm، از جنس روی با خلوص ۹۹/۹ درصد می باشد. قبل از انباشت، ابتدا زیرلایه ها با الکل ایزوپروپانول و به مدت ۲ دقیقه در حمام فراصوتی^۱ و سپس آب جوش و الکل تمیز شد. فشار پیش خلا دستگاه لایه نشانی 10^{-5} mbar و گستره فشار گاز آرگون برای ایجاد پلاسما هنگام لایه نشانی $(0.2 - 1) \times 10^{-1} \text{ mbar}$ بکارگرفته شده است.

لایه نشانی با شدت جریان A ۱-۰,۲ و ولتاژ ۶۰۰-۳۵۰ ولت و با نرخ انباشت متفاوت انجام شده است. دمای زیر لایه هنگام لایه نشانی از ۳۰۰K تا ۶۰۰K می تواند تغییر کند، که این دما با استفاده از ترموکوپل دیجیتالی که در قسمت تحتانی زیر لایه تعبیه شده، اندازه گیری می شود.

که در این کار فلز روی در دمای ۴۰۰K انباشت گردید. ضخامت لایه انباشتی روی سطح زیر لایه باید به اندازه ای باشد که در مدت زمان حرارت دهی کل آن بتواند به درون ساختار بلوری نفوذ کند تا سطح زیر لایه از هر گونه تخریب یا نقصی مصون بماند. [۱۱]

پس از انجام آزمایش های متعدد، بهینه شرایط لایه نشانی

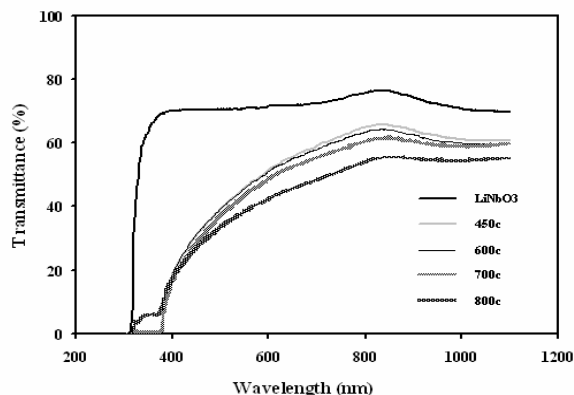
1. Ultrasonic bath

نتایج و بحث

در شکل ۱ عبور اپتیکی لایه های نازک ZnO و زیرلایه نیوبات لیتیم برای دماهای متفاوت در گستره طول موج ۱۱۰۰-۲۰۰ نانومتر نشان داده شده است.

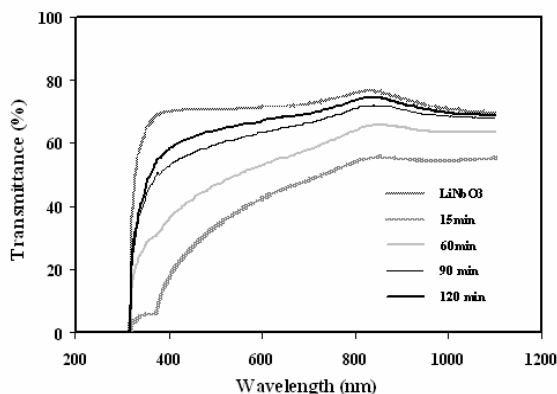
همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می شود توان عبوردهی نمونه با افزایش دما، کاهش می یابد، چراکه هنوز ZnO فرصت نفوذ در کریستال نیوبات لیتیم را نیافته و با افزایش دما چگالی پکیدیگی لایه زیاد می شود، و احتمالاً توان بازتابندگی نیز فزونی می یابد. برای دماهای بیشتر از ۵۵۰°C که احتمال زدایش اکسیژن نیز بوقوع می پیوندد، این پدیده ها می توانند قدرت عبور نمونه ها را کاهش دهند. شروع عبوردهی در بلور نیوبات لیتیم خام از طول موج ۳۱۲ نانومتر می باشد، درحالی که عبوردهی لایه نازک ZnO از طول موج ۳۷۸ نانومتر که در نزدیکی انرژی گاف اپتیکی اکسیدروی ($۳,۳\text{eV}$) است، آغاز می گردد. نتایج حاصل از بررسی های اپتیکی ZnO با کارهای دیگران همخوانی دارد [۱۴].

با افزایش زمان حرارت دهی در دمای ۸۰۰°C همان طور که در شکل ۲ دیده می شود، توان عبوردهی لایه فزونی یافته و در دمای ۸۰۰°C نفوذ Zn در بلور نیوبات لیتیم نیز شروع می شود. با ازدیاد زمان حرارت دهی عمق نفوذ Zn بیشتر شده و توان عبوردهی به گذردهی اولیه نیوبات لیتیم خام نزدیک می شود و عبوردهی دوباره از طول موج ۳۱۲ نانومتر آغاز می گردد.



شکل ۱. تغییرات توان عبوردهی نسبت به طول موج برای دماهای متفاوت

البته ورود Zn به درون بلور باعث می شود که عبوردهی نمونه ها در طول موج های کوتاه تر قدری کمتر باشد، که این امر به دلیل تغییر در ساختار بلور به علت نفوذ فلز روی در آن است.



شکل ۲. تغییرات توان عبوردهی نسبت به طول موج برای زمان های متفاوت (۸۰۰°C)

با توجه به شکل ۳ با افزایش دمای پس بازپخت، توان بازتاب نمونه ها افزایش می یابد، چرا که با بیشتر شدن دما چگالی پکیدیگی لایه فزونی یافته و احتمال کاهش اکسیژن های سطحی وجود دارد و توان بازتابندگی افزایش می یابد. اما در دمای ۸۰۰°C و شروع نفوذ Zn به درون کریستال نیوبات لیتیم فاز جدید ZnNb_2O_6 شکل می گیرد و توان بازتاب کاهش می یابد. (شکل ۴)

در بررسی های ساختاری نمونه ها با استفاده از پراش اشعه X (XRD) پیک های مربوط به فاز ZnNb_2O_6 وقتی که دما به حدکافی برای نفوذ افزایش یافته ($T > ۷۰۰^\circ\text{C}$) مشاهده گردیده است. [۱۵]

ضریب جذب لایه (α) از رابطه زیر بدست می آید [۱۶]:

$$\alpha = \frac{1}{t} \ln\left(\frac{T_0}{T}\right) \quad (1)$$

در این رابطه t ضخامت لایه، T_0 توان عبوردهی زیرلایه و T توان عبوردهی نمونه با وجود لایه نازک ZnO است. ضریب خاموشی لایه با طول موج (λ) و ضریب جذب لایه (α) بصورت زیر ارتباط دارد، (رابطه ۲) [۱۶]:

$$k = \frac{\lambda\alpha}{4\pi} \quad (2)$$

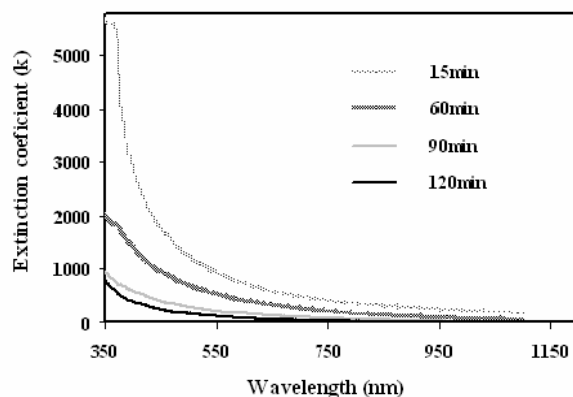
اما در دمای 800°C که نفوذ شروع می شود، ضریب خاموشی افزایش می یابد (مدت زمان حرارت دهی ۱۵ دقیقه). در شکل (۶) ضریب خاموشی نمونه برحسب طول موج در دمای 800°C برای زمان های مختلف حرارت دهی نشان داده شده است.

همان طور که در شکل ۶ ملاحظه می شود، با افزایش زمان حرارت دهی فرآیند نفوذ آغاز شده و با ازدیاد زمان عمق نفوذ Zn در بلور افزایش یافته، لذا کاهش ضریب خاموشی بیشتر می گردد.

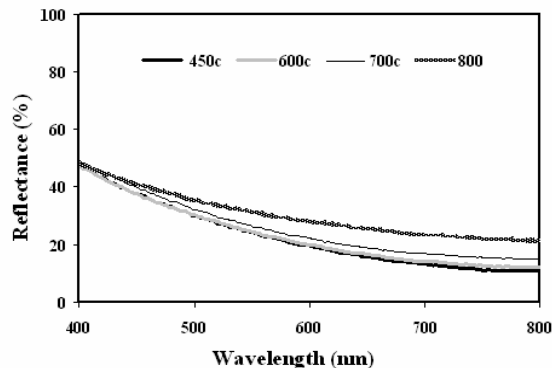
از رابطه ۳ می توان برای بدست آوردن انرژی گاف اپتیکی نیمه رساناها استفاده کرد [۱۶].

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^n \quad (3)$$

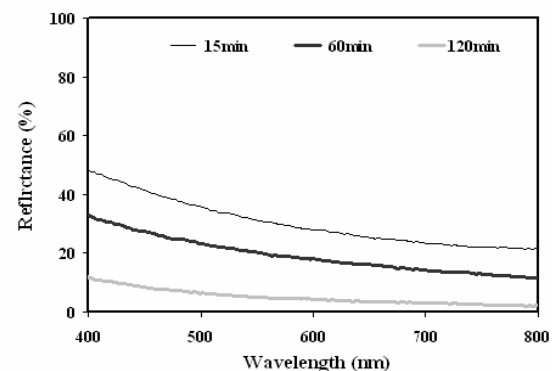
که $h\nu$ انرژی فوتون، α ضریب جذب لایه، B مقداری ثابت، E_g گاف انرژی می باشد. مقدار n برای نیمه رساناها با گاف مستقیم مجاز، مثل ZnO برابر ۱/۲ است. بنابراین با رسم نمودار $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ و برون یابی قسمت خطی نمودار می توان مقدار E_g را بدست آورد. در شکل های ۷ و ۸ نمودار $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $h\nu$ رسم شده و مقادیر E_g ، برای دماها و زمان های مختلف پس بازپخت نشان داده شده است. تغییرات انرژی گاف اپتیکی لایه ها نسبت به دما و زمان حرارت دهی به ترتیب در جدول های ۳ و ۲ نیز ارائه گردیده است.



شکل ۶. تغییرات ضریب خاموشی نسبت به طول موج برای زمان های متفاوت (800°C)

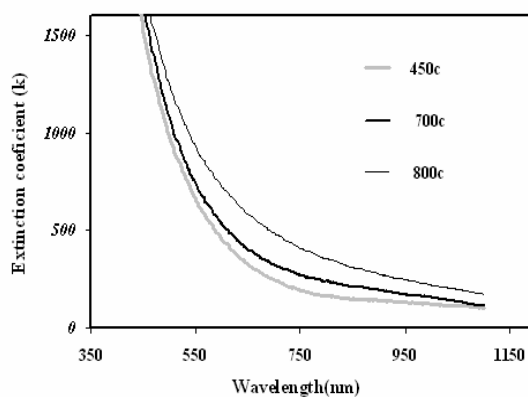


شکل ۳. تغییرات توان بازتاب نسبت به طول موج برای دماهای متفاوت



شکل ۴. تغییرات توان بازتاب نسبت به طول موج برای زمان های متفاوت (800°C)

تغییرات ضریب خاموشی لایه (k) برحسب طول موج برای دماهای مختلف حرارت دهی در شکل ۵ ارائه گردیده است. با توجه به شکل ۵ ضریب خاموشی در دماهای کمتر از 800°C که نفوذ Zn در بلور احتمالاً آغاز نشده، تغییر چندانی نمی کند.



شکل ۵. تغییرات ضریب خاموشی نسبت به طول موج برای دماهای متفاوت

این نوع بررسی های اپتیکی نانولایه اکسیدروی بر بستره نیوبات لیتیم بندرت انجام پذیرفته و اکثر مقالات بیشتر به ویژگی های ساختاری و فرآیند نفوذ پرداخته اند. [۴،۷،۸،۱۸]. برخی از پژوهشگران نیز فقط به مطالعه ویژگی های فوتولومینسانس ZnO روی این کریستال اکتفا نموده اند [۱۴].

جدول ۲. انرژی گاف اپتیکی لایه ها نسبت به دما

temperature($^{\circ}\text{C}$)	۴۵۰	۶۰۰	۷۰۰	۸۰۰
Eg (ev)	۳،۲۵	۳،۲۵	۳،۲۵	۳،۱۹

جدول ۳. انرژی گاف اپتیکی لایه ها نسبت به زمان حرارت دهی در دمای ۸۰۰°C

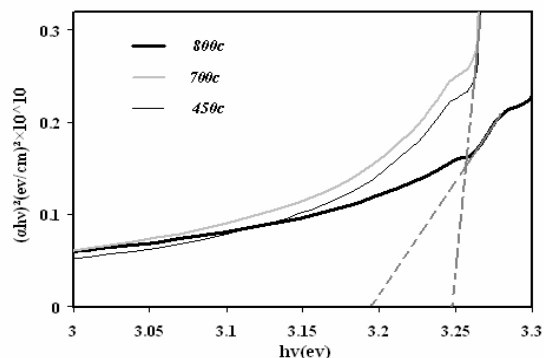
Time (min)	۱۵	۶۰	۹۰	۱۲۰	LiNbO3
Eg (ev)	۳،۱۹	۳،۸۷۰	۳،۸۷۵	۳،۸۷۵	۳،۰۹۵

نتیجه گیری

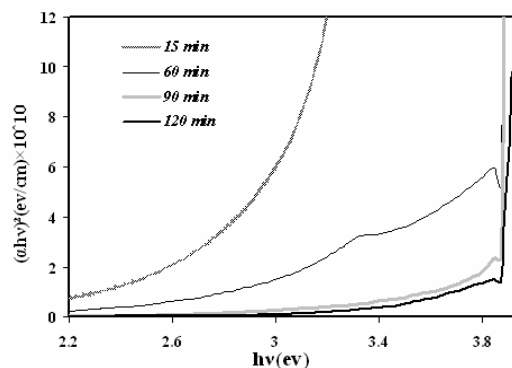
در اکثر بررسی ها روی ZnO روشهای شیمیایی بکارگرفته شده است، اما در این کار برای انباشت نمونه ها از روش کندپاش مگنترون با مزایایی که بحث شد و روش اکسیداسیون حرارتی که راهکار بسیار ساده ایی است، بهره گرفته شده است.

برای لایه اکسیدروی که از اکسیداسیون لایه نازک Zn بر زیر لایه نیوبات لیتیم ایجادشده است، تامادامی که دمای پس بازپخت کم باشد، انرژی گاف نمونه ثابت می ماند که مقدار آن با مقادیر ذکر شده در منابع بسیار نزدیک است. ($۳/۳\text{ eV}$)، ولی وقتی دما و زمان حرارت دهی برای نفوذ روی به درون نیوبات لیتیم کافی باشد، گاف انرژی فزونی یافته و به مقدار گاف انرژی اپتیکی نیوبات لیتیم خام نزدیک می شود. با افزایش دمای پس بازپخت، توان عبوردهی نمونه کاهش می یابد، که می تواند به دلیل کاهش اکسیژن و تغییر چگالی پکیدی در لایه باشد و توان بازتاب را بهبود می بخشد.

اما وقتی دما به حد کافی برای نفوذ زیاد باشد، عبوردهی با زمان حرارت دهی افزایش می یابد و تقریباً به توان عبور اولیه



شکل ۷. تغییرات $(\alpha hv)^2$ نسبت به انرژی فوتون برای دماهای متفاوت



شکل ۸. تغییرات $(\alpha hv)^2$ نسبت به انرژی فوتون برای زمان های متفاوت (۸۰۰°C)

انرژی گاف نیوبات لیتیم خام با استفاده از این نمودارها $۳/۹۵$ الکترون ولت بدست آمده است (که در منابع نیز ۴ الکترون ولت گزارش شده است، [۳]). در دمای ۴۵۰°C مقدار انرژی گاف ZnO $۳/۲۵$ الکترون ولت است که به انرژی گاف ZnO ($۳/۳$ و ۱۷ ، [۱۶]) بسیار نزدیک است. مقدار E_g تا دمای ۷۰۰°C تغییر محسوسی نمی کند، چرا که نفوذ Zn در بلور شروع نشده و هنوز روی سطح اکسیدروی وجود دارد. اما در دمای ۸۰۰°C بدلیل شروع فرآیند نفوذ مقدار E_g به $۳/۱۹$ الکترون ولت می رسد، (زمان حرارت دهی ۱۵ دقیقه می باشد) با بیشتر شدن زمان حرارت دهی و افزایش عمق نفوذ Zn در بلور انرژی گاف نمونه ای که در دمای ۸۰۰°C به مدت ۱۲۰ دقیقه پس بازپخت شده است، به مقدارگاف انرژی خود بلور لیتیم نیوبات خام نزدیک می شود، ($۳/۸۷۵\text{ eV}$)، که این اختلاف مختصر می تواند به دلیل نفوذ روی در درون کریستال و تغییر در ساختار بلور نیوبات لیتیم می باشد.

منابع

1. K. Okamoto, *Fundamentals of optical waveguides*, copyright @ 2000 by academic press. New York.
2. L. Wooten, K. M. Kissa, A. Yi, J. Murphy and D.A. Lafaw, *A review of lithium niobate modulators for fiber-optic communications systems*, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 6(2000)69-82.
3. Y. Kuz'minov, *Lithium Niobate Crystals: Physico-chemical Aspects of Technology*, Cambridge International Science Publishing, 1999.
4. R. Nevadao and G. Lifante, *Low-loss, damage-resistant optical waveguides in Zn-diffused LiNbO_3 by a two-step procedure*, Applied Physics A, 72(2001)725-728.
5. W. Gao and Z. Li, *Zno thin films produced by magnetron sputtering*, International Ceramics, 30(2004)1155-1159.
6. B. Herreros and G. Lifante, *LiNbO_3 optical waveguides by Zn diffusion from vapor phase*, Applied. Physics. Letters, 66:12(1995)352-357.
7. R. Nevadao, C. Seda, F. Segato, F. Caccavale, A. Kling, J.C. Soares, E. Cantelar, F. Cysso and G. Lifante, *Compositional characterization of Zn-diffused lithium niobate waveguides*, Applied Physic B, 73(2001)555-558.
8. T. Volk, B. Maximov, T. Chernaya, N. Rubinia, M. Wohelecke and V. Simomov, *Photorefractive properties of $\text{LiNbO}_3:\text{Zn}$ crystals related to the defect structure*, Applied Physic B, 72(2001)647-652.
9. L. Arizmendi, *Photonic applications of lithium niobate crystals*, physica status solidi (a), 201(2)(2004)253-283.
10. T. Suhar, M. Fujimura, M. Uemvkai, *Waveguide nonlinear-optic wavelength conversion devices and their applications, In photonics based on wavelength integration and manipulation*, IPAP Books, 2(2005)137-150.
11. H. Yamamoto, N. Saiga and K. Nishimori, *ZnO thin films deposited on various LiNbO_3 substrates by RF-sputtering*, Applied Surface Science, 169(2001)517-520.
12. A. Zendehtnam, M. Shirazi, S. Doulatshah and M. Sadat, *Effect of temperature and period of post-annealing on the optical properties of ZnO thin films*, Armenian Journal of Physics, 3(4)(2010)305-311.
13. L. Aghli-Moghadam, A. Baghizadeh, G. Nabyoun, A. Farashiani and A. Zendehtnam, *Zn-diffused LiNbO_3 waveguides fabricated by DC magnetron sputtering*, Applied physicA, 97(2009)805-810.
14. Y. Wang, H. Wang, S. Liu, H. Liu, S. Zhou, Y. Hang, J. Xu, J. Ye, Sh. Gu and R. Zhang, *MOCVD growth and properties of ZnO thin films on LiNbO_3 substrates*, Journal of Crystal Growth, 277(2005)378-381.
15. A. zendehtnam, M. Shirazi, M. Sadat and L. Aghli-Moghadam, *Annealing effect on structural and optical properties of ZnO thin films sputtered on LiNbO_3 substrate*, World Applied Sciences Journal 10(12),(2010)1473-1479.
16. N. Ekem, S. Korkmaz, S. Pat, M.Z. Balbog, E.N. Cetin and M. Ozmumcu, *Some physical properties of ZnO thin films prepared by RF sputtering technique*, International Journal of Hydrogen Energy. 34(2009)5218-5222.
17. J. S. Welling, N. B. Chaure, S. N. Heavens and I. M. Dharmadasa, *Characterization of electro deposited and sputtered Zinc oxide*, Journal of Thin Solid Film, 516(2008)3893-3898.
18. G. H. Lee, *Optical properties of ZnO thin films on LiNbO_3 and LiTaO_3 substrates grown by pulsed laser deposition*, Solid state communicate, 128(2003)351-354.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از دانشگاه اراک و ستاد نانو تکنولوژی به جهت حمایت های مالی از این پروژه کمال تشکر را دارند.