مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، (JSIAU) سال ۱۹ ، شماره ۷۱ ، بهار ۱۳۸۸

> خصوصیات ساختاری و اپتیکی فیلم نیترید سیلیکون تولید شده بر روی سیلیکون توسط فرآیند کاشت یون با انرژی کم

داود درانیان<sup>\*</sup> مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران پروانه آزادفر گروه فیزیک، دانشکده علوم، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران امیرحسین ساری مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاريخ دريافت: ۸۷/۵/۱۳ تاريخ پذيرش: ۸۸/٦/۲۱

چکیدہ

مقدمه: تکنولوژی وارد کردن ناخالصی، یکی از فرآیندهای بسیار مهم برای نیمه رساناها به شمار می آید که از آن در ساختن وسایل و تجهیزات الکترونیکی مدرن استفاده می شود. در بهبود عملکرد وسایل ساخته شده از سیلیکون در مدارهای مجتمع و همچنین نیاز به هر چه کوچک تر شدن سایز این وسایل، روش کاشت یون مورد توجه بوده است. زیرا در روش کاشت یون مقدار ناخالصی و مکان ناخالصی در سیلیکون دقیقاً مشخص می شود و امکان تکرار پذیری آن فراهم بوده و در مقایسه با روشهای دیگر روش قابل کنترلی است. در سال های اخیر توجه زیادی به ترکیبات نیتریدی می شود که از این بین می توان به برخی از ترکیبات نیتریدی از قبیل AIN و GaN و Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> اشاره کرد که در صنعت کار برد وسیعی داشته و بررسی بر روی آنها از لحاظ تئوری و تجربی ادامه دارد.

**هدف**: در این تحقیق سطح ویفر سیلیکون در دزهای مختلف تحت بمباران یون های نیتروژن قرار گرفته و نتایج حاصل بررسی شده اند. هدف ما از انجام این تحقیق به دست آوردن مشخصه های ساختاری، الکتریکی و اپتیکی نیترید سیلیکون توسط فرآیند کاشت یون بوده است. نکته برجسته این تحقیق انرژی بسیار پایین یون های نیتروژن بکار برده شده جهت تولید نیترید سیلیکون بوده است.

<sup>\*</sup> عهدهدار مکاتبات: doran@srbiau.ac.ir

درانیان و همکاران

روش بررسی: نمونه های تک کریستالی سیلیکون نوع p به عنوان نمونه خام مورد استفاده قرار گرفتند. این نمونه ها با یون نیتروژن با انرژی ۲۹ کیلوالکترون ولت و در چگالی جریان μΑ/cm<sup>2</sup> ۲۰۰ در دزهای ۱۰<sup>۱۶</sup> تا <sup>۱</sup> ۱۰ یون بر سانتی مترمربع بمباران شدند. برای شناسایی و مطالعه نمونه ها از سیستم طیف سنجی عبوری و بازتابشی، تصاویر میکروسکپ نیروی اتمی، سیستم پراش اشعه ایکس و سیستم چهار پروب برای اندازه گیری مقاومت سطحی استفاده شد.

نتایج: نتایج حاصله از الگوهای XRD تأئید می کند که در این مقدار انرژی پرتو یونی، فرآیند کاشت ثابت شبکه را تغییر نمی دهد و این که بر ساختار مکعبی سیلیکون ساختار ارتورمبیک نیترید سیلیکون ساخته شد. افزایش دز پرتو یونی، میزان ناصافی سطح را افزایش داد و همچنین مقاومت ویژه سطوح نمونه های کاشته شده نیز به طور قابل توجهی تحت تأثیر فرآیند کاشت یون قرار گرفته و افزایشی در حدود ٪۵۰ در پی داشت. نیز کاشت یون نیتروژن باعث تولید ترازهای تخریب در سیلیکون شده و گاف انرژی را افزایش داد.

**نتیجه گیری**: نتایج حاصله تایید می کنند که برای ساخت لایه نانومتری نیترید سیلیکون ضرورتا نیازی به یونهای بسیار پرانرژی نیست. همانگونه که در این کار نیز نشان داده شده ا ست با انرژی در حدود ۳۰ کیلو الکترون ولت نیز می توان به لایه ای از نیترید سیلیکون دست یافت. مطالعه این لایه نشان می دهد که نیترید سیلیکون تهیه شده به این روش تمام شرایط استفاده در صنایع نیمه هادی را دارا می باشد.

**واژههای کلیدی**: نیمه هادی، کاشت یون، پراش اشعه ایکس، زبری سطح، مقاومت سطحی.

## مقدمه

تکنولوژی وارد کردن ناخالصی، یکی از فرآیندهای بسیار مهم برای نیمه رساناها به شمار می آید که از آن در ساختن وسایل و تجهیزات الکترونیکی مدرن استفاده می شود. اهمیت وارد کردن ناخالصی در کنترل کردن خصوصیات الکتریکی و اپتیکی نیمه رساناها به نحوی است که در صنعت مورد استفاده قرار گیرند. سیلیکون خالص یک نیمه رسانای ذاتی با گپ انرژی غیر مستقیم ۷۹ ۱/۱۲ در دمای اتاق بوده و حامل های ذاتی آن در این دما برابر با <sup>۱۹</sup> ۱۰ × ۱/۴۵ در سانتیمتر مکعب است. به طور معمول از روش کاشت یون جهت ایجاد کردن ناخالصی در سیلیکون استفاده می شود. در سیمتر مکعب است. به طور معمول از روش کاشت یون جهت ایجاد کردن همچنین نیاز به هر چه کوچک تر شدن سایز این وسایل، روش کاشت یون مورد توجه بوده است. زیرا در روش کاشت یون مقدار ناخالصی و مکان ناخالصی در سیلیکون دقیقاً مشخص می شود و امکان تکرار پذیری آن فراهم بوده و در مقایسه با روشهای دیگر روش قابل کنترلی است. در سال های اخیر توجه زیادی به ترکیبات نیتریدی می شود که از این بین می توان به برخی از ترکیبات نیتریدی از قبیل AIN و GaN و اکام در مداره کرد که در صنعت کار برد وسیعی داشته و بررسی بر روی آنها از لحاظ تئوری و تجربی ادامه دارد.<sup>(۳)</sup>

نیترید دار کردن به روش کاشت یون نسبت به روش نفوذ (دیفیوژن) مزایایی را در پی دارد که می توان بـه حضور نداشتن ناخالصی های نامطلوب،کنترل کردن ترکیب ایجاد شده و همچنین کنترل کردن میزان ضخامت آن در

Sample	١	۲	٣	۴	۵	۶	۷	٨	٩	
Dose ( $\times 10^{16}$ ion/cm <sup>2</sup> )	Subs.	١	۴	٨	١٠	۳۰	۵۰	٨٠	١٠٠	
Time (s)	Subs.	18	84	۱۲۸	18.	۴۸۰	٨٠٠	۱۲۸۰	18	
Temp. (C <sup>o</sup> )	Subs.	41	1.4	۱۸۴	۲۳۳	204	41.	41.	41.	
Vacc.(10 <sup>-3</sup> pa)	Subs.	۴	۴	۴	٣	١	۴	۴	١	

جدول ۱- شرايط آزمايشي نمونه هاي مختلف.

طول فرآیند کاشت اشاره نمود. از ترکیبات نیتریدی ذکر شده در بالا، Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> برای استفاده ی متنوع در صنعت نیمه رسانا بیش تر مورد توجه قرار می گیرد. اهمیت این ترکیب نیتریدی بالا بودن ثابت دی الکتریک آن، سختی آن در برابر تابش دهی، توانایی بالای آن در دماهای بالا، مقاومت خوب در برابر شوک های حرارتی و همچنین مقاومت برابر تابش دهی، توانایی بالای آن در دماهای بالا، مقاومت خوب در برابر شوک های حرارتی و همچنین مقاومت برابر برابر عالی آن در برابر خوردگی و فرسایش است. بنابراین جهت استفاده از این ماده در مقیاس صحیح در صنعت اید بیار برابر عالی آن در برابر خوردگی و فرسایش است. بنابراین جهت استفاده از این ماده در مقیاس صحیح در صنعت باید به شناسایی آن از لحاظ ساختاری و خصوصیات الکتریکی پرداخته شود. شماری از روش ها، سعی در تولید این ماده داشته و مشخصه های آن را مطالعه می نماید که می توان به روش انباشت شیمیایی بخار، روش لایه نشانی با پالس لیزر و کاشت یون اشاره کرد.

در این تحقیق سطح ویفر سیلیکون در دزهای مختلف تحت بمباران یون های نیتروژن قرار گرفته و نتایج حاصل بررسی شده اند. هدف ما از انجام این تحقیق به دست آوردن مشخصه های ساختاری، الکتریکی و اپتیکی نیترید سیلیکون توسط فرآیند کاشت یون بوده است. نکته برجسته این تحقیق انرژی بسیار پایین یون های نیتروژن بکار برده شده جهت تولید نیترید سیلیکون بوده است.

## مواد و روشها

نمونه های تک کریستالی سیلیکون نوع p با جهت گیری <۰۰ ۲۰ و در ابعاد ۱×۱ سانتیمتر مربع و ضخامت ۵۵۰۹ میلیمتر و مقاومت ویژه ی Ω Ω ۹ ۸/۸۷ و مقاومت سطح ۵/۵ ۲ ۲۰۰ به عنوان نمونه خام مورد استفاده قرار گرفتند. نمونه ها به وسیله ی استن و الکل در دستگاه آلتراسونیک (حمام فرا صوت) قبل از فرآیند کاشت یون تمیز شدند. بعد از تمیز کردن، نمونه ها تحت تابش پرتو یون نیتروژن با انرژی ۲۹ کیلوالکترون ولت و در چگالی جریان ۹۸/۲ ۲۰۰ در دزهای <sup>۱۹</sup>۰۰ تا ۱۰<sup>۹</sup> یون بر سانتی مترمربع قرار گرفتند. این کار توسط دستگاه کاشت یون واقع در مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما انجام گرفت. فشار محفظه کاشت در حدود P<sup>۳</sup>-۱۰۰ به ثابت ولی دمای نمونه ها از 2°۴۰ تا 2°۰۰ در طول فرآیند کاشت (بسته به دز پرتو یونی) تغییر یافت. پرتو یونی با سطح مقطع بیضوی در اندازه ی ۲۵×۱۱ سانتیمتر می باشد که انتظار می رود طور یکنواخت سطح نمونه ها را تحت پوشش قرار دهد. پارامترهای کاشت در جدول (۱) خلاصه شده اند.

از آنالیزهای تشخیصی متفاوتی برای تعیین خصوصیات نمونه ها بعد از کاشت استفاده شد. تغییر در طیف عبوری و انعکاسی امواج الکترومغناطیسی در بازه ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ نانومتر به وسیله ی طیف سنج Varian Cary-500 اندازه گیری شد. توپوگرافی سطح و میزان ناصافی آنها بوسیله میکروسکپ نیروی اتمی Auto Probe cp اندازه گیری شد و به منظور تعیین ترکیبات فاز، ساختمان بلوری و صفحات بلوری از دستگاه طیف سنج اشعه ایکس



شکل ۱- تغییرات پیک های XRD نمونه ها بصورت تا بعی از زاویه پراکندگی اشعه X .

XRD-PERT و پرتو تابشی Cuk<sub>a</sub> استفاده شد. همچنین چهار پروب FPP5000 Mille مورد استفاده قرار گرفت تا مقاومت ویژه ی سطح نمونه ها اندازه گیری شود. تجهیزات ذکر شده فوق همگی در آزمایشگاه های اندازه گیری مختلف مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما می باشند.

## نتایج و بحث آنالیز XRD و AFM

الگوهای XRD نمونه ی خام و نمونه های کاشته شده در شکل (۱) نشان داده شده است. قله منحنی مربوط به سیلیکون تک کریستالی در مکان <sup>°</sup>۹۹/۹۹ و صفحه ی شرکت کننده در پراش طبق کارت استاندارد شماره ۵۵۰-۵۰ مربوط به صفحات سیلیکون <۰۰ ۲۴ بوده است. همان طور که می توان دید در نمونه های کاشته شده قله دیگری در مکان <sup>°</sup>۹۹/۹۹ و جود دارد که نمایانگر صفحه ی بازتابنده ی <۲ ۸۸ است. مقادیر زوایای براگ بازتابشی برای هر دو قله در تمامی نمونه ها مشابه هستند که بیانگر تغییر نکردن پارامترهای مقادیر زوایای براگ بازتابشی برای هر دو قله در تمامی نمونه ها مشابه هستند که بیانگر تغییر نکردن پارامترهای مقادیر زوایای براگ بازتابشی برای هر دو قله در تمامی نمونه ها مشابه هستند که بیانگر تغییر نکردن پارامترهای مقادیر زوایای براگ بازتابشی برای هر دو قله در تمامی نمونه ها مشابه مستند که بیانگر تغییر نکردن پارامترهای مقادیر شبکه با میزان دز کاشته شده است. لذا می توان نتیجه گرفت که یون های نیتروژن با این مقدار انرژی در فضاهای خالی شبکه با میزان دز کاشته شده است. لذا می توان نتیجه گرفت که یون های نیتروژن با این مقدار انرژی در فضاهای سیلیکون و همچنین پهنای آن در نصف مقدار ماکزیمم (FWHM) با افزایش دز کاهش می یابند. این موضوع تایید می کای در نظر گرفتن نمونه ی سوم، شدت قله منحنی بازتابش پرتو ایکس از سطح نیترید می کای شبکه قرار می گیرند. بدون در نظر گرفتن نمونه ی سوم، شدت قله منحنی بازتابش پرتو ایکس از سطح نیترید می یایکون و همچنین پهنای آن در نصف مقدار ماکزیمم (FWHM) با افزایش دز کاهش می یابند. این موضوع تایید می کند که ساختار فیلم های شکل گیری شده در دز های بالاتر به دلیل جابه جایی اتم ها (تغییر همسایه های اول) و یا شکسته شدن پیوندها در اثر یون های بیشتر نیتروژن دارای نظم کمتری است.

کاهش یافتن FWHM طبق رابطه ی شرر نشان دهنده افزایش اندازه ی دانه ها است. چرا که در اثر دمای بیشتر (به خصوص برای سه نمونه آخر) نقاط تماس بین ذرات بیشتر می شود.



شکل ۲- عکسهای AFM از نمونه خام (a)، نمونه ۵ (b) و نمونه ۹ (c).

در تمامی نمونه ها دو قله ناشی از ساختار SiO<sub>2</sub> با ساختار ارتورمبیک در زوایای <sup>°</sup>۲۹/۶۲ و ۲۹ <sup>°</sup>۶۰/۳۳= ۲۵ را می توان دید که در شکل (۱) نشان داده نشده اند.

نتایج XRD بر این موضوع دلالت دارد که در این محدوده انـرژی سـاختار نیتریـد سـیلیکون بـه دز یـون نیتروژن کاشته شده وابسته نیست و همچنین جهت ساختاری Si<sub>3</sub>N4 برای تمامی نمونه ها مشابه است. همچنین فاز و جهت گیری ساختار SiO2 که بر روی نمونه ی خام وجود داشت با شکل گیری Si<sub>3</sub>N4 تغییر نمی کند.

تصاویر حاصله از AFM برای نمونه ی خام در کنار نمونه های ۵ و ۹ در شکل (۲) و همچنین تغییرات زبری RMS بر اساس دز یون در شکل (۳) نشان داده شده اند. دو نوع ساختار توپوگرافی کلی به واسطه ی کاشت شکل گرفته اند. در شش نمونه ی اول تا دز <sup>2</sup>ion/cm<sup>1</sup> دا×۳ میزان ناصافی به طور قابل چشمگیری تغییرنمی کند. در این نمونه ها ستون های کوچکی از نیترید سیلیکون شکل گرفته اند. در صورتی که با افزایش دز پرتو یونی به بیش از <sup>۱۰</sup> دا×۳ ناگهان میزان ناصافی سطح در حدود ده مرتبه افزایش می یابد. در این نمونه ها ساختاری کلوخه ای، (همان طور که در شکل برای نمونه ی ۹ دیده می شود) به روی زیر لایه تشکیل شده است. مکانیسم پراکندگی سطح به دلیل شمار بسیار زیاد یون ها و در پی آن دمای بالای نمونه ها در فرآیند کاشت می تواند باعث



شکل ۳- تغییرات زبری سطح نمونه های کاشت شده سیلیکون بصورت تابعی از دز کاشت. مقاومت ویژه

SiO<sub>2</sub> یک دی الکتریک خوب به شمار می آید و ثابت دی الکتریک آن از ثابت دی الکتریک Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> بیشتر است. اگر چه هنوز SiO<sub>2</sub> بعنوان لایه عایق در وسایل الکتریکی بکار می رود. تغییر در اندازه ی مقاومت ویژه نمونه ها بر حسب دز اندازه گیری شده توسط دستگاه چهار پروب در شکل (۴) ترسیم شده است. مقاومت ویژه سطح سیلیکون خالص Δ/۷ /۱۳۵۷ است و تا Δ۰/۴ Ω/۱ برای نمونه ی ۹ افزایش می یابد. تغییر قابل توجهی در مقاومت ویژه در دز بیشتر از ion/cm<sup>2</sup> وجود دارد.

اگر چه عموماً افزایش ناخالصی به نیمه رساناها مقاومت ویژه الکتریکی آنها را نسبت به نیمه رسانای خالص کاهش می دهد، اما در این محدوده انرژی کم یونها چنین اتفاقی نادر است.

افزایش بسیار سریع مقاومت ویژه با تغییر دز یون نیتروژن را می توان به شکل گیری ساختار Si<sub>3</sub>N4 و نیز افزایش نقوص کریستالی بر اثر بمباران یونی نسبت داد . همان طور که قبلاً اشاره شد یون های نیتروژن فضاهای بین شبکه ای را در شبکه ی سیلیکون اشغال کرده و تشکیل فاز Si<sub>3</sub>N4 را می دهند. این موضوع پراکندگی حامل های بار و در نتیجه افزایش مقاومت ویژه را در پی خواهد داشت. خصوصبات ایتیکی

طیف های عبور و بازتابش نمونه ها در گستره ی طول موجی فرا بنفش تا مادون قرمز اندازه گیری شدند. برای طول موجهای تابشی کوچکتر ار ۱۰۰۰ نانومتر عبور نمونه ها صفر است در صورتی که در گستره ی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ نانو متر با افزایش دز ، عبور هفت نمونه ی اول افزایش می یابد. البته عبور سه نمونه ی اول دارای عبوری کمتر نسبت به نمونه ی خام می باشد. ماکزیمم مقدار عبور در این گستره ی طول موجی برای نمونه ی ۷ بوده و با افزایش دز عبور دو نمونه ی آخر کاهش می یابد. کاهش عبور دو نمونه ی آخر به دلیل افزایش نقایص بلوری است. همچنین طیف بازتابش سطوح نمونه ها ٪ ۶۰ کاهش را در گستره ی ۲۰۰ تا ۱۵۰۰ نانو متری از طول موج نشان می دهد. این را می توان با در نظر گرفتن تأثیر ناصافی سطح توضیح داد. چرا که تغییرات ناصافی عکس تغییرات بازتابش سطوح است. با استفاده از نتایج عبور و بازتابش، ضریب جذب α در شکل (۵۵) فقط برای نمونه های ۳ و ۶ نشان داده شده است. این پارامتر مهم اپتیکی با استفاده از رابطه ی <sup>(۴)</sup>

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \frac{\left[ \left( 1 - R \right)^2 \right]}{T}$$
(1)

محاسبه شد که در آن T ضریب عبوری، R ضریب بازتابش و d ضخامت نمونه هستند.





شکل ٥- ضریب جذب نمونه ها (a)، و وابستگی E = (lpha E) نمونه ۳ و ٦ جهت محاسبه انرژی گاف(b).

از شکل (۵۵) آشکار است که ضریب جذب نمونه ها با افزایش انرژی فوتون در گستره ی ۱/۱۵–۱/۱۵ الکترون ولت شدیداً افزایش می یابد. همچنین همان طور که در این شکل دیده می شود، ضریب جذب برای فوتون هایی با انرژی پایین صفر نیست که می تواند به دلیل وجود آکسیتون ها باشد. به منظور به دست آوردن گاف انرژی نمونه های کاشته شده، نمودار α بر حسب E ترسیم شده در شکل (۵۵) مورد بررسی قرار گرفت. رابطه ی ضریب جذب و انرژی گاف به صورت زیر است:

$$\alpha E = B \left( E - E_g \right)^p \tag{(Y)}$$

در این رابطه ثابتی است که بر احتمال گذار وابسته است و P عددی است که نوع فرآیند اپتیکی را مشخص می کند. قرار دادن ۲ =P با گذار غیر مستقیم در نیمه رساناها مطابقت دارد. رسم <sup>1/2</sup>(αE) بر حسب E در شکل (۵۵) نشان داده شده است. در این نمودار با برون یابی (نشان داده شده با خط چین در شکل) تا مقدار α = <sup>1/2</sup>(αE) می توان میزان گاف انرژی را به دست آورد.

مقادیر به دست آمده نشان می دهد که یون های نیتروژن با انرژی ۲۹ keV و دز بین <sup>۱۰،</sup> ۲۱ تا ۱۰<sup>۱۰</sup> یون بر سانتیمتر مربع می تواند ترازهای اختلالی انرژی در گاف سیلیکون ایجاد کرده و باعث تغییر در گاف انرژی سیلیکون شوند. همانطور که در جدول (۲) آورده شده گاف انرژی از ۱/۰۸ الکترون ولت برای نمونه ی کاشته نشده تا ۱/۰۵۲ الکترون ولت برای نمونه ی ۲ کاهش یافته است. با افزایش دز از نمونه ی ۲ تا ۵ گاف انرژی تا ۱/۱ الکترون ولت (بیشترین مقدار) افزایش می یابد که ناشی از ایجاد ترازهای اختلالی انرژی در ساختار سیلیکون است.

Sample	١	٢	٣	۴	۵	۶	٧	٨	٩
Band gap energy (eV)	١/•٨•	۱/۰۵۲	١/•٧•	١/•٨٢	۱/۱۵۰	<b>\</b> /•९Y	<b>।</b> /• ११	١/٠٩۵	<b>।</b> /• ११

جدول ۲- انرژی گاف نمونه ها

نتيجه گيري

در این تحقیق فیلم Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> با بمباران کردن سطح سیلیکون توسط یون های نیتروژن با انـرژی Y۹ keV در دزهای <sup>۱۰۴</sup> ion/cm<sup>2</sup> تا <sup>۱۰۱</sup> تولید شد. نتایج حاصله از الگوهای XRD تأئید می کند که در این مقدار انرژی پرتـو یونی، فرآیند کاشت ثابت شبکه را تغییر نمی دهد و این که بر ساختار مکعبی سیلیکون سـاختار ارتورمبیک نیتریـد سیلیکون ساخته شده است. افزایش دز پرتو یونی، میزان ناصـافی سطح را افـزایش داد و همچنین مقاومت ویـژه سطوح نمونه های کاشته شده نیز به طور قابل توجهی تحت تأثیر فرآیند کاشت یون قرار گرفته و افزایشی در حدود ۸۰۵ در پی دارند. کاشت یون نیتروژن باعث تولید ترازهای تخریب در سیلیکون شـده و گـاف انـرژی را افـزایش میدهد.

نتایج حاصله تایید می کنند که برای ساخت لایه نانومتری نیترید سیلیکون ضرورتا نیازی به یونه ای بسیار پرانرژی نیست. همانگونه که در این کار نیز نشان داده شده ا ست با انرژی در حدود ۳۰ کیلو الکترون ولت نیـز مـی توان به لایه ای از نیترید سیلیکون دست یافت. مطالعه این لایه نشان می دهد که نیترید سیلیکون تهیه شـده بـه ایـن روش تمام شرایط استفاده در صنایع نیمه هادی به عنوان عایقی با ثابت دی الکتریک بالا را دارا می باشد.

## **References:**

- 1. Fang, C.M., Hintzen, H.T., With, G., and Groot, R.A., *J. Phys: Condens. Matter*, **13**, 67 (2001).
- 2. Kim, K.J., Kang, T.H., Ihm, K., Jeon, C., Hwang, C.C. and Kim, B., Surf. Sci., 600, 3496 (2006).
- 3. Shokouhy, A., Larijani, M.M., Ghoranneviss, M., Haji Hosseini, S.H., Yari, M., Sari, A.H., and Gholipur Shahraki, M., *Thin Solid Films*, **550**, 571 (2006).
- 4. Streetman, B.G., *Solid State Electronic Devices*, Third Edition, Prentice Hall Inc., NewJersey (1990).