Archive of SID

بررسی طیف فوتولومینسانس سطح ویفر GaAs در سرعت‌های مختلف فرآیند نازک‌کاری

ساسانی، کوروش ؛ نخعی مطلق، حمزه ؛ عباسی، سید پیمان

گروه لیزرهای نیمه‌هادی، مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، تهران

چکیده

آماده‌سازی سطح ویفرهای نیمه‌هادی برای اتصالات الکتریکی در صنعت ساخت ادوات اپتوالکترونیکی دارای اهمیت ویژه‌ای است. به این منظور از فرآیند نازک‌کاری استفاده می‌شود که در آن با جداسازی گالیم آرسنایدِ از سطح ویفر نیمه‌هادی همزمان هم از ضخامت ویفر کاسته می‌شود و هم به هموارسازی و تختی سطح کمک می‌کند. در این مقاله اثر سرعت چرخش صفحه سایش بر چگونگی جداسازی آرسنیک از سطح ویفرهای نیمه‌هادی GaAs نوع n بررسی شده است. به منظور آنالیز سطح از فرآیند فوتولومینسانس استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش سرعت در فرآیند نازک‌کاری به سبب افزایش نرخ برهم‌کنش واکنش شیمیایی در سطح GaAs، مقدار آرسنیک بیشتری از سطح ویفر زدوده می‌شود. این کاهش آرسنیک سبب کاهش چگالی حالت‌های سطحی در نزدیکی وسط گاف و در نتیجه کاهش سرعت بازترکیب‌های سطحی شده است.

Investigation Of GaAs Surface Photoluminescence Spectra In Different Lapping Speed Process

Sasani, kourosh; Nakhaee Motlagh, Hamzeh ; Abbasi, Seyed Peyman

Department of semiconductor lasers, Iranian national center for laser science and technology, Tehran

Abstract

Semiconductor wafers surface preparation for electrical connection in optoelectronic device industries is important. For this preparation lapping process is used. In this process the GaAs Particles dissociation from wafer surface, the wafer thickness decreases simultaneously make the flat and smooth surface. In this paper the rotational velocity of lapping wheel effect on Arsenide elemental association of semiconductor n-GaAs wafer surface was surveyed. Photolumincence process was established for surface analyzing. The results show that the increasing lapping process speed, the chemical reaction rate on GaAs surface was increased and Arsenide amount was removed more. Arsenide removing from surface causes decreasing of surface states density near about middle of gap and decrease the surface recombination's rate.

PACS No.8081,8083,8085.

مقدمه

فرآیند نازک‌کاری یکی از مهمترین فرآیندهای ساخت ادوات الکترونیکی و اپتوالکترونیکی محسوب می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهند که میزان صافی و تخت بودن سطح، تأثیر به سزایی در کیفیت و طول عمر این ادوات دارد [۱]. در فرآیند ساخت لیزرهای نیمه‌هادی بر پایه گالیم آرسنایدِ، به منظور آماده‌سازی سطح n قبل از فرآیند لایه‌نشانی فلزی، ابتدا ضخامت ویفر گالیم آرسنایدِ با استفاده از فرآیند نازک‌کاری تا ۱۲۰ میکرومتر کاهش داده می‌شود و سپس به کمک فرآیند پولیش‌کاری، سطح آن را صیقل می‌دهند تا آینه‌ای شود [۲]. نتایج تجربی نشان می‌دهند که فرآیند نازک‌کاری علاوه بر کاهش ضخامت گالیم آرسنایدِ از سطح ویفر نیمه‌هادی سبب هموارسازی و تختی سطح می‌شود که در اغلب موارد تضمینی برای بالا بودن کیفیت سطح وجود ندارد[۳]. در واقع، هدف از انجام فرآیند نازک‌کاری، تولید سطحی نرم و هموار به

www.SID.ir

Archive of SID

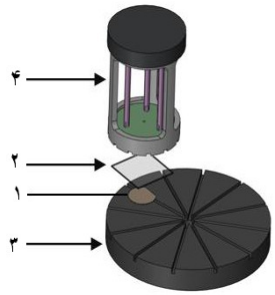
منظور انجام فرآیند پولیش کاری است[٤]. مطالعات تجربی نشان می‌دهند که افزایش سرعت چرخش صفحه سایش در فرآیند نازک‌کاری سبب افزایش دما در فصل مشترک نمونه و صفحه سایش به علت افزایش اصطکاک می‌شود[٥]. از طرفی، افزایش دما، نرخ برهم‌کنش شیمیایی را افزایش می‌دهد که به میزان قابل توجه‌ای بر روی کیفیت سطح تأثیرگذار است [٦]. یکی از روش‌های بسیار ساده، غیرمخرب و تطبیق‌پذیر در مطالعه سطوح نیمه‌هادی استفاده از ابزارهایی است که بر اساس پدیده فوتولومینسانس (PL) کار می‌کنند. به کمک طیف PL که حاوی گذارهای اپتیکی است می‌توان ترازهای انرژی الکترونی را مشخص کرد. همچنین یکنواختی سطح و میزان کیفیت آن با استفاده از طیف PL قابل بررسی است. نتایج معمولاً در یکی از مدلهای زیر تفسیر می‌شوند:

۱. تغییر در چگالی حالت‌های سطحی
۲. تغییر در ضخامت ناحیه تهی.

در نیمه‌هادی با باند گاف انرژی مستقیم، انرژی تهیجی بیشتر از گاف انرژی عمق نفوذی در محدوده ۱ میکرومتر ناشی می‌شود[٧]. هدف از این مقاله بررسی اثر سرعت چرخش صفحه سایش بر روی کیفیت سطح ویفرهای نیمه‌هادی GaAs نوع n با استفاده از طیف فوتولومینسانس است.

آزمایش

به منظور انجام آزمایش از قطعات ویفر GaAs(100) نوع n به ابعاد $1cm\times1cm$ و ضخامت ۳۵۰ میکرومتر استفاده شده است. فرآیند نازک‌کاری و سایش ویفر GaAs در سرعت‌های مختلفی ($10rpm$، $15rpm$، $20rpm$، $25rpm$، $30rpm$، $35rpm$) انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در سرعت‌های کمتر از $15rpm$ به دلیل وزن استوانه نگهدارنده، برای رسیدن به نتیجه مطلوب، فرآیند نازک‌کاری در مدت زمان طولانی انجام می‌شود که این موضوع سبب وارد شدن فشار مکانیکی به ویفر شده و احتمال شکسته شدن آن را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر، در سرعت‌های بالاتر از $35rpm$ با توجه به نوع صفحه سایش مورد استفاده (صفحه مدور شیاردار) و ساختار شکننده ویفر GaAs، انجام فرآیند در این سرعت‌ها باعث به وجود آمدن خراش‌های عمیق بر روی سطح ویفر و در نتیجه جداسازی میزان بیشتر آرسنیک از سطح ویفر می‌شود. شکل ۱ شماتیک دستگاه نازک‌کاری و سایش استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۱: شماتیک دستگاه نازک‌کاری و سایش. (۱) ویفر GaAs، (۲) شیشه فوق تخت، (۳) صفحه سایش و (٤) استوانه نگهدارنده.

به منظور بررسی اثر سرعت چرخش صفحه سایش در فرآیند نازک‌کاری بر روی سطح ویفر GaAs، سه *سرعت* $15rpm$، $25rpm$ و $35rpm$ انتخاب شده‌اند. لازم به ذکر است که *سرعت‌های* $15rpm$ و $35rpm$ به عنوان سرعت‌های حدی در این تحقیق در نظر گرفته شده‌اند. از طرف دیگر نتایج بدست آمده از سرعت‌های $20rpm$ و $30rpm$ نشان می‌دهند که تغییر چشم‌گیری در میزان جداسازی آرسنیک از سطح به ترتیب در مقایسه با سرعت‌های $15\ rpm$ و $35rpm$ رخ نمی‌دهد. به همین منظور سرعت $25rpm$ به عنوان سرعت میانی در این بازه انتخاب شده است که تغییرات در این سرعت قابل توجه و بررسی است.

با توجه به شکل ۱ نیروهای وارد شده بر ویفر در اثر چرخش استوانه نگهدارنده، صفحه سایش و حرکت انتقالی استوانه نگهدارنده بر روی صفحه سایش، باعث جداسازی آرسنیک و همچنین لایه‌های سطحی ویفر GaAs شده که همراه با محلول سایش از شیارهای صفحه دستگاه خارج می‌شود. جهت انجام فرآیند نازک‌کاری، ابتدا ویفر GaAs بوسیله قرص واکس بر روی شیشه فوق تخت چسبانده شده است. شیشه فوق تخت به کاربر اجازه می‌دهد بار روی ویفر را کنترل کند. پس از چسباندن ویفر، شیشه با استفاده از نیروی چسبندگی آب بر روی بخش تحتانی استوانه نگهدارنده چسبانده می‌شود. استوانه نگهدارنده سبب ایجاد حرکت‌های دورانی و موضعی ویفر و ساییده شدن آن بر روی

www.SID.ir

Archive of SID

سطح صفحه سایش می‌شود. در این فرآیند از یک محلول سایشی با غلظت ۲۰ درصد حاوی آب بدون یون (DI) و پودر $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ با دانه‌بندی کمتر از ۱۰ میکرومتر، بعنوان سمباده استفاده شده است. این آزمایش‌ها با ماشین سایش و پولیش مدل ZYP280 در اتاق تمیز کلاس ۱۰۰۰ و در دمای ۲۲ درجه سانتیگراد انجام شده است. به منظور بررسی کیفیت سطوح با استفاده از طیف فوتولومینسانس، اندازه‌گیری طیف PL نمونه‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری فوتولومینسانس در دمای اتاق (RPM) انجام شده است. برای آنالیز نمونه‌ها، لیزر حالت جامد Nd:YAG با طول موج ۵۳۲nm با انرژی برانگیختگی ۲/۳۳eV به سطح نمونه‌ها تابانده شده است. توان لیزر ۳۹mW و چگالی توان آن ۵۲۰W/cm2 بوده است. طیف گسیلی در محدوده طول موجی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر توسط یک تک‌فام ساز با آشکارساز Si CCD جمع‌آوری شده است.

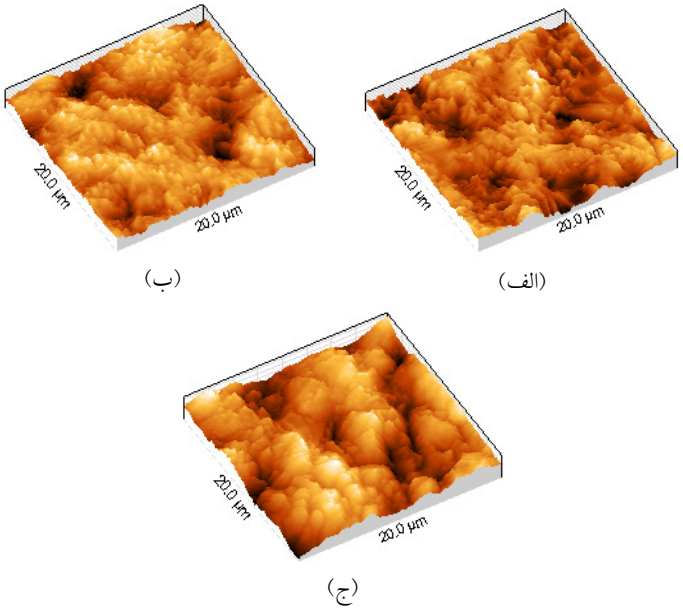
نتایج تجربی

جدول ۱ ضخامت اولیه، ضخامت نهایی، سرعت چرخش صفحه سایش، مدت زمان نازک‌کاری و ریشه مربعی میانگین ناهمواری سطح را برای ٦ نمونه GaAs نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده به ازای نمونه‌هایی که سرعت چرخش صفحه سایش بالاتر بوده است مدت زمان نازک‌کاری کمتر است. علاوه بر این میزان ناهمواری سطح در سرعت ۲۵rpm در مقایسه با سرعت های ۱۵rpm و ۳۵rpm کاهش یافته است. سرعت ۲۵rpm را در این آزمایش می‌توان به عنوان یک سرعت بهینه در فرآیند نازک-کاری سطح ویفر GaAs در نظر گرفت.

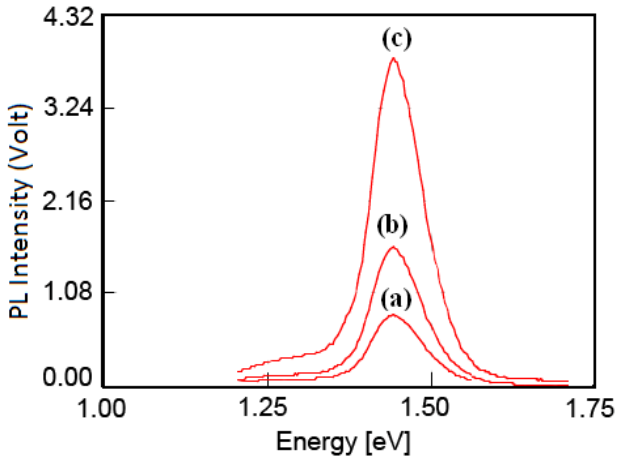
جدول۱ : نتایج حاصل از انجام فرایند نازک کاری بر روی نمونه‌ها

Sample	*Initial thickness (μm)*	*Desired thickness (μm)*	*Velocity (rpm)*	*Lapping time (min)*	*Roughness Rrms (nm)*
S1	351.2	121.8	15	7.01	254
S2	337.8	126.3	15	7.34	271
S3	342.5	122.1	25	4.65	214
S4	348.4	120.0	25	5.21	222
S5	339.1	124.6	35	4.12	295
S6	355.3	125.1	35	3.69	283

شکل ۲ آنالیز AFM سطح GaAs ($20\mu m \times 20\mu m$) را در سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش سرعت صفحه سایش در فرآیند نازک‌کاری ویفر GaAs، از میزان تراکم ناهمواری‌ها در سطح به تدریج کاسته شده است. به نحوی که ریخت سطح از حالت سوزنی شکل در سرعت ۱۵rpm به حالت تپه‌ای در سرعت ۳۵rpm تبدیل شده است.



شکل ۲ : تصاویر AFM سطح GaAs در سرعت‌های مختلف نازک‌کاری: (الف) ۱۵rpm، (ب) ۲۵rpm و (ج) ۳۵rpm.



شکل ۳. شدت PL در سرعت‌های مختلف نازک‌کاری ویفر GaAs(100): (a) ۱۵rpm، (b) ۲۵rpm و (c) ۳۵rpm.

شکل ۳ تغییرات شدت PL را در سرعت‌های مختلف فرآیند نازک‌کاری نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش سرعت نازک‌کاری، شدت PL افزایش یافته است. به عبارتی میزان فرآیندهای بازترکیب غیرتشعشعی در سطح ویفر با افزایش سرعت نازک‌کاری به طور قابل توجه‌ای کاهش یافته است. مطالعات

www.SID.ir

Archive of SID

تجربی نشان داده است که یکی از مهمترین عوامل کاهش شدت PL در سطح GaAs، می‌تواند بالا بودن مقدار آرسنیک در سطح و وجود آلودگی‌های سطحی باشد که سبب افزایش چگالی حالت‌های سطحی در نزدیکی وسط گاف می‌شود [۸]. سرعت بازترکیب‌های سطحی V_{sr} به صورت زیر نوشته می‌شود [۹]:

$$V_{sr} = \frac{N_t n_b S V_{th}}{2n_i} \exp\left[-E_g / 2k_B T\right] \approx 10^{-9} N_t. \qquad (۱)$$

که N_t چگالی حالت‌های سطحی، n_b و n_i غلظت حامل‌های حجمی و ذاتی، S سطح مقطع گیراندازی، V_{th} سرعت حرارتی، E_g گاف انرژی، k_B ثابت بولتزمن و T دما است. با توجه به رابطه (۱) هر چه مقدار N_t کمتر باشد سرعت بازترکیب‌های سطحی نیز کاهش می‌یابد. به نحوی که اگر چگالی حالت‌های سطحی از مرتبه $۱۰^{۱۸}\ cm^{-2}$ به $۱۰^{۱۱} cm^{-2}$ کاهش یابد سرعت بازترکیب‌های سطحی کمتر از $۱۰۰ cm/s$ خواهد شد. از طرفی نتایج بدست آمده نشان داده‌اند که شدت PL به صورت زیر به سرعت بازترکیب‌های سطحی مرتبط می‌شود[۸]:

$$I = C \exp(-\alpha W)\left[\frac{1}{\alpha L_P} + \frac{L_P}{V_{sr}\tau}\right]. \qquad (۲)$$

که $۱/\alpha$ طول جذب در انرژی برانگیختگی، L_p طول نفوذ حامل‌های اقلیت و τ طول عمر حامل اقلیت است. با توجه به رابطه (۲) کاهش سرعت بازترکیب‌های سطحی سبب افزایش شدت PL می‌شود. علاوه بر این، بالا بودن چگالی حالت‌های سطحی که در نتیجه پیوندهای آویزان در سطح و وجود نقص‌های باقیمانده در ماده ایجاد شده‌اند سبب قفل‌شدن تراز فرمی در نزدیکی وسط گاف انرژی می‌شود [۷]. نتایج نشان می‌دهند که کاهش چگالی حالت‌های سطحی سبب می‌شود تراز فرمی به سمت لبه‌های نوار ظرفیت و یا هدایت حرکت کند.

با توجه اینکه فرآیند نازک‌کاری انجام شده در این مقاله از نوع فرآیند شیمیایی- مکانیکی (CMP) است، بنابراین به علت وجود اصطکاک در فصل مشترک صفحه سایش و سطح ویفر GaAs با افزایش سرعت در فرآیند نازک‌کاری، انرژی گرمایی افزایش یافته [۱۰] و در نتیجه نرخ برهم‌کنش شیمیایی بین پودر ساینده $(Fe_3Al_2(SiO_4)_3)$ و سطح ویفر، افزایش می‌یابد. با توجه به این موضوع و نتایج بدست آمده از طیف PL نمونه‌ها در شکل ۳، می‌توان گفت که مقدار آرسنیک بیشتری از سطح ویفر زدوده شده است. به عبارتی کاهش مقدار آرسنیک در سطح GaAs در سرعت‌های بالاتر سبب کاهش چگالی حالت‌های سطحی در نزدیکی وسط گاف و در نتیجه کاهش سرعت بازترکیب‌های سطحی شده است.

نتیجه‌گیری

اثر سرعت چرخش صفحه سایش بر روی کیفیت سطح ویفر GaAs در فرآیند نازک‌کاری به کمک آنالیز فوتولومینسانس بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش سرعت نازک‌کاری، شدت PL افزایش یافته است. به عبارتی با افزایش سرعت در فرآیند نازک‌کاری به سبب افزایش نرخ برهم‌کنش شیمیایی در سطح GaAs، مقدار آرسنیک بیشتری از سطح ویفر زدوده شده است که سبب کاهش چگالی حالت‌های سطحی در نزدیکی وسط گاف و در نتیجه کاهش سرعت بازترکیب‌های سطحی می‌شود.

مرجع‌ها

[۱] I. R Komandun, DA Lucca, and Y Tam, "*Technological Advances in Fine Abrasive Process*," *Annals of CIRP* (v46, n2), pp545-596, 1997.

[۲] Pei. Z, Kassir, S., Bhagavat, M. and Fisher, "*An Experimental Investigation Into Soft- Pad Grinding Of Wire-Sawn Silicon Wafers*," Int. Journal of Machine Tools & Manufacture. 44: 299-306, G.R. 2004.

[۳] I.A. Mazarchuk, L.A. Matveeva, B.D. Nechyporuk et.al, "*Investigation of the undersurface damaged layers in the GaAs crystals*," poverkhnost (phys, chem, mechan), 2, pp. 73-77, 1992.

[۴] N. Belkhir, D. Bouzid, V. Herold, "*Correlation between the surface quality and the abrasive grains wear in optical glass lapping*," Tribology International 40 498–502, 2007.

[۵] Y. Chen, L.C. Zhang , J.A. rsecularatne, C. Montross, *'Polishing of polycrystalline diamond by the technique of dynamic friction'* ,International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006) 580–587.

[۶] C.J. Evans, et al, *'Material Removal Mechanisms in Lapping and Polishing'*.

[۷] Timothy H. Gfroerer, *Photoluminescence in Analysis of Surface and Interfaces*, Davison College, USA, 2000.

[۸] V. L. Berkovits, D. Paget, A. N. Karpenko, V. P. Ulin, and O. E. Tereshchenko, *Soft nitridation of GaAs(100) by hydrazine sulfide solutions: Effect on surface recombination and surface barrier*, Appl. Phys. Lett. **90**, 022104 (2007).

[۹] J. M. Moison and M. Bensoussan, *Surface recombination, surface states and Fermi level pinning*, Revue Phys. Appl. 22 (1987) 293-297.

[۱۰] H.J. Kim *et al,Friction and thermal phenomena in chemical mechanical polishing*, Journal of Materials Processing Technology 130–131 (2002) 334–338.

www.SID.ir