



## بررسی سطح مؤثر سیلیکون تغییر یافته توسط تپهای لیزر نانوثانیه در محیطهای مختلف

مهسا وهابی، روح الله کریمزاده، غلامرضا جعفری، نسترن منصور

تهران-اوین-دانشگاه شهید بهشتی-گروه فیزیک

چکیده - در این مقاله سطوح تغییر یافته سیلیکون به وسیله تپهای لیزر  $\text{Nd:Yag}$  در محیطهای مختلف (هوا، اتانول و آب) را مورد بررسی قرار می دهیم. جهت ایجاد میکروساختارها بر روی سطح سیلیکون از هارمونیک دوم لیزر  $\text{Nd:Yag}$  با تپهای نانوثانیه استفاده نموده ایم و توپوگرافی سطوح به وسیله میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) تصویربرداری شده است. در این کار افت و خیزهای ارتفاع سطوح تغییر یافته سیلیکون توسط لیزر با استفاده از روش آماری فرکانس وقوع بررسی شده و سطح مؤثر برای این سطوح مقایسه می شود. نتایج نشان می دهد که سطح مؤثر ساختارهای ایجاد شده بر روی سیلیکون در مایعات نسبت به ساختارهای ایجاد شده در هوا افزایش می یابد.

کلید واژه- روش فرکانس وقوع، سیلیکون تغییر یافته، میکروساختارهای سطحی

کد PACS - 140.3390

۱- مقدمه  
شده توسط لیزر در محیطهای آب، اتانول و هوا بررسی و مقایسه می شود.

### ۲- چیدمان و اندازه گیری

ویفرهای سیلیکون (۱۰۰) نوع n تحت تابش عمودی تپهای لیزر قرار گرفته اند. تپهای هارمونیک دوم لیزر  $\text{Nd:Yag}$  به وسیله یک عدسی با فاصله کانونی ۱۰ cm روی سطح هدف متمرکز شده اند. پروفایل فضایی تپ لیزر گوسی بوده و قطر

در سالهای اخیر، برهمکنش نور لیزر با سطوح سیلیکون تحت شرایط ایجاد ساختارهای میکرونی مورد توجه خاص محققین قرار گرفته است [۱]. میکروساختارهای ایجاد شده روی این سطوح محیطهای مناسبی برای حسگرها می باشد [۲]. یک فاکتور مهم برای محیطهای حسگر دارا بودن سطح مؤثر بالا می باشد. در این کار، سطح مؤثر ساختارهای میکرونی سیلیکون ایجاد

مشاهده تغییرات ارتفاع در تراز معین  $h - \bar{h} = \alpha$  با شیب مثبت  $v_{\alpha}^{+}$  را برای نمونه هایی با سایز  $L$  تعیین کنیم که به صورت زیر می باشد.

$$v_{\alpha}^{+} = \int_0^{\infty} p(\alpha, h') h' dh' \quad (3)$$

در این رابطه  $h' = \frac{dh}{dx}$  و  $p(h, h')$  تابع توزیع توأم می باشد [4].

اکنون کمیت  $N_{tot}^{+}$  را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$N_{tot}^{+} = \int_{-\infty}^{+\infty} v_{\alpha}^{+} d\alpha \quad (4)$$

این کمیت نماینده تعداد کل برخوردهای  $h(x)$  با شیب مثبت در تمام ترازها می باشد و کل افت و خیزها را نشان می دهد. هر چه فرایندی زبرتر باشد، مقدار این کمیت بیشتر خواهد بود و در واقع این کمیت متناسب با سطح مؤثر سطوح می باشد.

### ۳-۲- نتایج

همان طور که از تصاویر AFM دیده می شود، استفاده از محیطهای متفاوت توپوگرافی سطوح سیلیکون را تغییر داده است. بنابراین با توجه به این شکلها به نظر می رسد که با انتخاب مناسب مرز می توان سطح مؤثر را کنترل کرد. زبری و نمای زبری هر دو در سطح مؤثر تأثیر دارند و به تنهایی نمی توانند میزان سطح مؤثر را مشخص کنند. هر چه زبری بیشتر و نمای زبری کمتر باشد سطح مؤثر بیشتر خواهد بود. برای

باریکه  $(\frac{1}{e} HW M)$  روی سطح هدف  $200 \mu m$  می باشد. محدوده فلوننس لیزر بین ۵ تا ۱۰ ژول بر سانتی متر مربع بوده و تنها پارامتر متغییر در آزمایش مرز (هوا، اتانول و آب) می باشد. برای بررسی اثرات مرز روی توپوگرافی سطوح سیلیکون از تکنیک تصویربرداری میکروسکوپ نیروی اتمی استفاده کردیم (شکلهای ۳-۱). افت و خیزهای ارتفاع در سطوح تغییر یافته سیلیکون را با استفاده از روش فرکانس وقوع برای مقایسه سطح مؤثر بررسی می کنیم.

### ۳- نتایج و بررسی آماری

در مورد یک سطح زبر با سایز  $L$  ارتفاع میانگین  $\bar{h}(L)$  و زبری  $w(L)$  بصورت زیر تعریف می شوند:

$$\bar{h}(L) = \int_{-L/2}^{L/2} h(x) dx \quad (1)$$

$$w(L) = (\langle (h - \bar{h})^2 \rangle)^{1/2} \approx L^{\alpha} \quad (2)$$

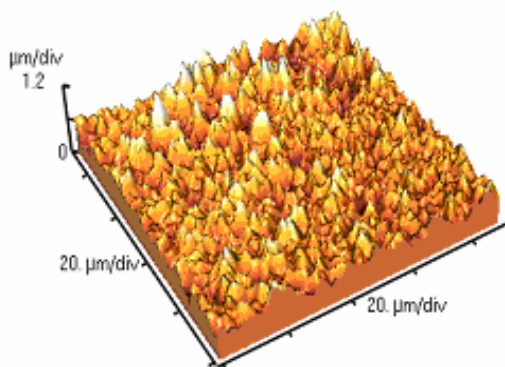
در این جا  $X$  مکان و  $\langle \dots \rangle$  عمل متوسط گیری روی سطح را نشان می دهد و  $\alpha$  نمای زبری است و میزان افت و خیزهای ارتفاع را نشان می دهد. بدون از دست دادن اطلاعاتی می توان ارتفاع میانگین سطح را به عنوان سطح مرجع اختیار کرد و در این صورت  $\bar{h} = 0$ .

### ۳-۱- روش تحلیل فرکانس وقوع

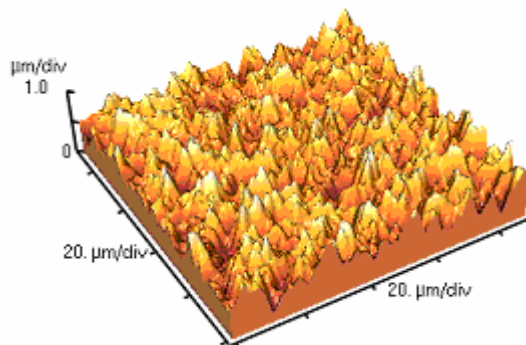
ما از آنالیز فرکانس وقوع برای فرایند های رشد سطوح استفاده کرده ایم [۳]. در تحلیل فرکانس وقوع علاقه داریم که فرکانس



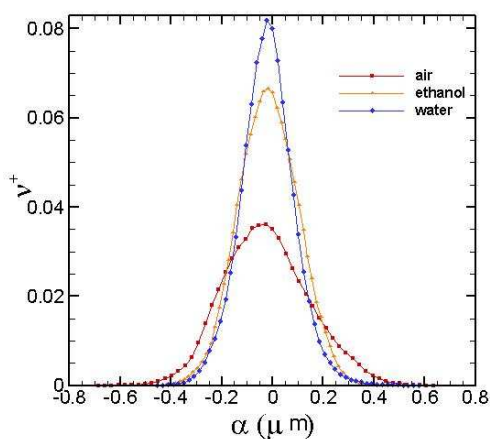
بدست آوردن اطلاعات کمی و دقیقتر در مورد سطح مؤثر نمونه ها از رهیافت فرکانس وقوع استفاده کرده ایم. جزئیات این آنالیز در ادامه آورده شده است.



شکل ۳: تصویر AFM از سطح سیلیکون خورده شده توسط لیزر با مرز آب



شکل ۱: تصویر AFM از سطح سیلیکون خورده شده توسط لیزر با مرز اتانول



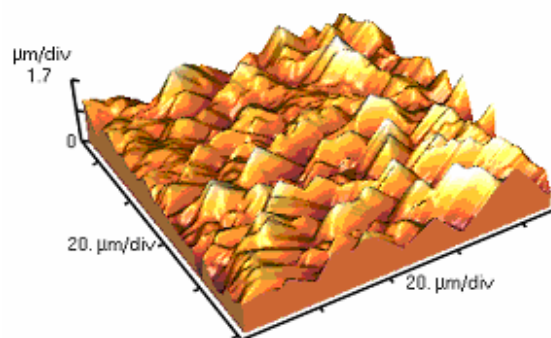
شکل ۴: مقایسه تعداد شبیهی مثبت بر حسب تراز  $\alpha$  برای نمونه‌های خورده شده توسط لیزر در هوا، اتانول و آب

جدول ۱- مقادیر زبری و مقدار کل شبیهی مثبت برای

نمونه‌های سیلیکون با مرزهای متفاوت

| مرز    | زبری ( $w$ )    | نمای زبری ( $\alpha$ ) | $N_{tot}^+$ |
|--------|-----------------|------------------------|-------------|
| هوا    | $0.47 \pm 0.01$ | $0.62 \pm 0.02$        | 0.043       |
| اتانول | $0.33 \pm 0.01$ | $0.39 \pm 0.03$        | 0.056       |
| آب     | $0.29 \pm 0.01$ | $0.30 \pm 0.02$        | 0.056       |

در شکل ۴ تعداد متوسط عبور با شیب مثبت  $V_{\alpha}^+$  را بر حسب



شکل ۲: تصویر AFM از سطح سیلیکون خورده شده توسط لیزر با مرز هوا

بنابراین کم بودن زبری در سیلیکون خورده شده با مرز آب با کاهش نمای زبری برای این نمونه جبران شده و در آخر سطح مؤثر برای هر دو نمونه یکسان شده است.

#### ۴- نتیجه گیری

در این کار ساختارهای میکرونی بر روی سطوح سیلیکون توسط لیزر در مجاورت آب، اتانول و هوا ایجاد شده است و سپس این سطوح را از نقطه نظر سطح مؤثر ساختارها مورد بررسی آماری قرار داده ایم. با استفاده از تکنیک آماری فرکانس وقوع مشاهده می شود که سطح مؤثر میکروساختارهای ایجاد شده در مجاورت مایعات نسبت به هوا افزایش یافته است.

#### مراجع

- [1] T.-Hua Her, R.J.Finlay, C.Wu, S.Deliwala and E.Mazur, *Appl.Phys.Lett.* **73**, 1673(1998).
- [2] T. Chvojka, T. Holec, I. Jelinek, I. Nemeč, J. Jindrich, M. Lorenc, J. Koutnikova, V. Kral, J. Dian, *Proc. Of SPIE* **5036**, 51 (2003)
- [3] F. Shahbazi, S. Sobhanian, M. Reza Rahimi Tabar, S. Khorram, G. R. Frootan, and H. Zahed, *J. Physics. A*, **36**, 2517 (2003)
- [4] P. Sangpour, G. R. Jafari, O. akhavan, A. Z. Moshfegh, and M. Reza Rahimi Tabar, *Phys. Rev. B*, **71**, 175423 (2005).

ارتفاع برای نمونه‌های خورده شده توسط لیزر با مرزهای متفاوت رسم شده است. توجه داشته باشید که  $N_{tot}^+$  که مجموع تمام گذرها با شیب مثبت است، متناسب با مساحت سطح است و به وضوح مساحت مؤثر سطح را نشان می‌دهد. برای دو سطح با انحراف معیار  $(w(L))$  یکسان،  $N_{tot}^+$  متفاوت می‌تواند پارامتری برای جدا کردن سطح با مساحت بیشتر باشد. به بیان دیگر افت و خیزهای بیشتر در این سطوح خورده شده منجر به بیشتر شدن  $N_{tot}^+$  می‌شود. باید اشاره شود که سطح مؤثر به مقیاس مشاهده هم بستگی دارد. برای محاسبه  $N_{tot}^+$  توجه به این مقیاس ضروری است. برای مثال در سنسورهای گازی سطوحی که کوچکتر از اندازه مولکولها هستند به عنوان سطح فعال در نظر گرفته نمی‌شوند و این یعنی  $N_{tot}^+$  با اندازه مولکولها محدود می‌شود. در جدول ۱ مقدار  $N_{tot}^+$  برای سطوح نمونه نوشته شده است. در این جدول نتایج مربوط به زبری و نمای زبری هم برای مقایسه گذاشته شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با وجود اینکه انحراف معیار برای سطوح خورده شده توسط لیزر با مرز مایع (اتانول و آب) کوچکتر از مرز هوا است ولی  $N_{tot}^+$  آنها از  $N_{tot}^+$  مربوط به مرز هوا بزرگتر است. باید اشاره کنیم که سطح مؤثر مربوط به سطوح نمونه با مرز آب و اتانول تقریباً یکسان است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود با وجود اینکه زبری یا انحراف معیار در مورد سطح سیلیکون خورده شده با مرز اتانول بیشتر از مرز آب است ولی اثرات زبری و نمای زبری هر دو در تعیین سطح مؤثر نقش دارند