

## ساخت نانوسنورهای پیزوالکتریک بر پایه‌ی نانوسیم‌های ZnO

نویسنده‌ها: شیما منتظری نمین<sup>۱</sup>، پیروز هویدا مرعشی<sup>۱</sup>، شهیار سرآمد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> تهران، خیابان حافظ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی

Email: [Montazeri\\_sh@aut.ac.ir](mailto:Montazeri_sh@aut.ac.ir)

<sup>۲</sup> تهران، خیابان حافظ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده فیزیک و مهندسی هسته ایی

### چکیده:

نانوسنورهای پیزوالکتریک، انرژی مکانیکی را در مقیاس نانو، به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. نانوسیم‌های ZnO کاربرد وسیعی در ساخت این سنسورها دارند. در این پژوهش، ابتدا نانوسیم‌های ZnO به روش شیمیایی در قالب اکسید آلومینیم آندی متخلخل تولید شده‌اند. در ادامه پس از آزاد سازی نانوسیم‌ها از قالب، به منظور ساخت سنسور پیزوالکتریک، نانوسیم‌ها تحت نیروی روبش  $2\text{ nN}$  در مد تماسی AFM قرار گرفتند. در نتیجه تغییر شکل الاستیک نانوسیم‌ها بر اثر روبش، پتانسیل پیزوالکتریکی در نانوسیم‌ها ذخیره شده و در ادامه به صورت انرژی الکتریکی، آزاد می‌شود. این انرژی به صورت پیک‌های ولتاژ، در خروجی تست AFM مشاهده می‌شود. ولتاژ خروجی در نتیجه روبش هر نانوسیم ZnO در حدود  $30\text{ mV}$  - به دست آمده است.

### ۱. مقدمه:

روش‌های متعددی جهت ساخت نانوسیم‌های ZnO گزارش شده است. از آنجایی که در سنسورهای پیزوالکتریک، نظم نانوسیم‌ها حائز اهمیت است، روش سنتز در قالب انتخاب شد. ZnO به علت دارا بودن هر دو خاصیت پیزوالکتریکی و نیمه‌هادی، بهترین گزینه جهت ساخت این سنسورها است. خاصیت پیزوالکتریکی برای تولید پتانسیل الکتریکی در نتیجه‌ی تغییر فرم الاستیک، ضروری است. هم-چنین خاصیت نیمه‌هادی بودن ZnO منجر به ذخیره سازی پتانسیل پیزوالکتریک تولید شده و در نهایت ایجاد جریان می‌شود. روبش توسط نوک هادی کانتیلیور AFM انجام می‌شود [۱ و ۲].

### ۲. بخش تجربی:

#### ۲-۱. تهیه نانوسیم‌های ZnO

قالب اکسید آلومینیم آندی (AAO) متخلخل با حفراتی به ابعاد ۵۰ نانومتر، به روش آندایزینگ دومرحله‌ای ساخته شد [۳]. به منظور ساخت نانوسیم‌ها، قالب آماده شده به مدت ۱۵ ساعت در محلول نیترات روی  $0/025$  مولار و هگزامین  $0/025$  مولار، در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد، قرار گرفته است. استفاده از هگزامین جهت نگه داری PH در محدوده‌ی ۵ تا ۸، ضروری است. در ادامه نمونه‌های آماده شده به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۴۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند [۴].

شکل ۱ تصویر SEM مقطع این نانوسیم‌ها را نشان می‌دهد. همچنین اشکال ۲ و ۳ به ترتیب تصویر توپوگرافی دوبعدی و پروفیل تصویر توپوگرافی AFM نانوسیم‌های ZnO را نشان می‌دهند.

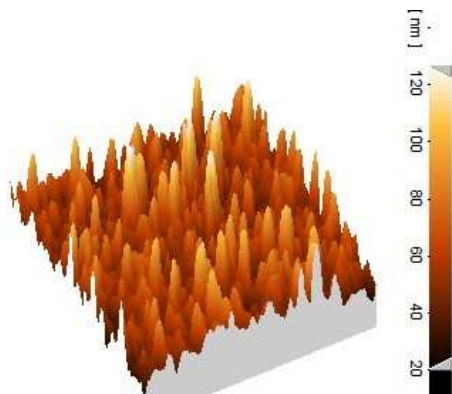
## ۲-۲. ساخت سنسورهای پیزوالکتریک

به منظور ساخت سنسور پیزوالکتریکی، آلومینای اطراف نانوسیم‌ها با غوطه‌وری در محلول سود، خورده شده و ساختاری از نانوسیم‌های عمودی ZnO بر روی آلومینیم تشکیل شد. نانوسیم‌ها توسط میکروسکپ AFM در مد تماسی هادی، روبش شدند. به منظور هادی کردن نوک کانتی‌لیور از پوشش Pt استفاده شده است. نیروی روبش  $2\text{ nN}$  بوده و سطحی به ابعاد  $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ ، روبش می‌شود. در بخش بعد نتایج این تست ارائه و تحلیل می‌شود [۵].

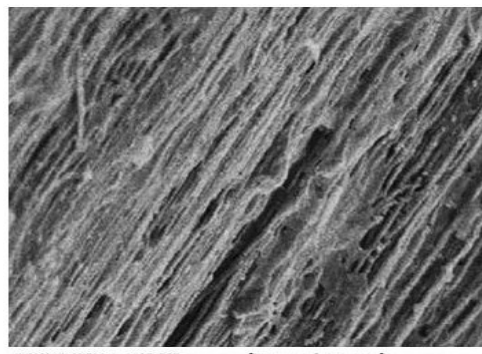
## ۳. بحث و نتیجه گیری:

در نتیجه‌ی روبش یک نانوسیم، همواره سطحی که تحت کشش قرار می‌گیرد پتانسیل مثبت داشته و سطح فشرده شده پتانسیل منفی دارد. علت این امر کرنش‌های ایجاد شده در هر سطح است [۶]. در محل اتصال نوک هادی کانتی‌لیور و ZnO، یک دیود یک-سو کننده تشکیل می‌شود. هنگامی که این دیود به صورت مستقیم بایاس شده باشد، اجازه عبور جریان را می‌دهد. منظور از بایاس مستقیم، اتصال نواحی هم‌بار به هم است. از آنجایی که نانوسیم‌های ZnO ساخته شده از نوع  $n$  هستند، لذا در هنگام روبش، زمانی که نوک کانتی‌لیور در تماس با قسمت کشیده شده است، دیود یک‌سو کننده به صورت معکوس بایاس شده و پتانسیل پیزوالکتریکی ایجاد شده در داخل نانوسیم‌ها ذخیره می‌شود. در مقابل در هنگام

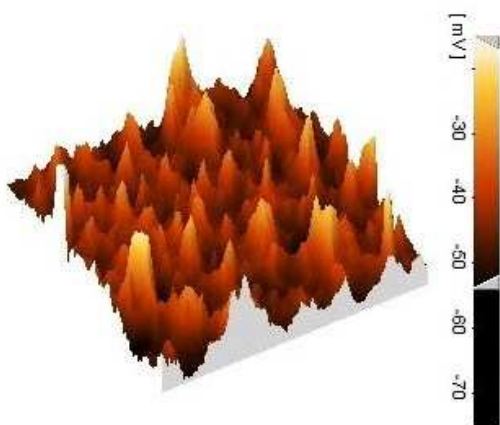
تماس با قسمت فشرده‌شده، به علت تشکیل دیود یک‌سو کننده‌ای که به صورت مستقیم بایاس شده است، پتانسیل ذخیره شده آزاد می‌شود. این پتانسیل به صورت پیک‌هایی در تصویر خروجی AFM مشاهده می‌شود. ولتاژ خروجی در نتیجه روبش هر نانوسیم ZnO در حدود  $30\text{ mV}$  - به دست آمده است. اشکال ۳ و ۴ به ترتیب تصویر توپوگرافی سه‌بعدی و تصویر ولتاژ سه‌بعدی AFM نانوسیم‌های ZnO را نشان می‌دهند. همان‌طور که از مقایسه‌ی تصاویر مربوط به توپوگرافی سطح و ولتاژ مشخص است، پیک‌های ولتاژ در محل دقیق نانوسیم‌ها ایجاد نمی‌شوند و اختلاف مکانی نانومتری دارند. همان‌طور که بیان شد، در هنگام تماس کانتی‌لیور با سطح فشرده شده پتانسیل آزاد می‌شود. لذا فاصله‌ی بین شروع تماس از سطح کشیده شده تا رسیدن به سطح فشرده شده، منجر به اختلاف مکانی نانومتری در محل پیک‌های ولتاژ و نانوسیم‌ها است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با استفاده‌ی از سنسورهای پیزوالکتریک، امکان کنترل تغییر مکان در حد نانومتری فراهم می‌شود. در تصویر ولتاژ، ۱ یا ۲ پیکسل یک پیک ولتاژ را ظاهر می‌کنند. این امر به دلیل محدودیت سرعت اسکن کردن میکروسکپ AFM است. در نتیجه‌ی این امر، توزیع رنگ در تصویر ولتاژ به خوبی قابل نمایش نیست. با کاهش محدوده‌ی اسکن، پروفیل‌های کامل‌تری از پیک‌های تخلیه قابل دست‌یابی هستند. به منظور داشتن پیک ولتاژ از هر نانوسیم روبش شده، به ۱ دقیقه زمان نیاز است.



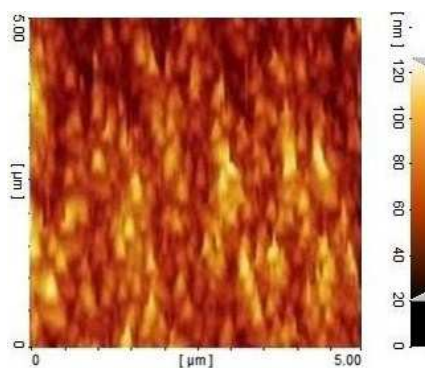
شکل ۴- تصویر توپوگرافی سه بعدی AFM نانوسیم های ZnO



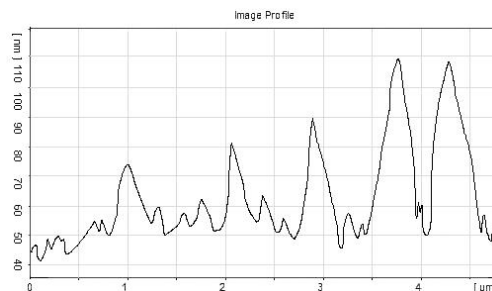
شکل ۱- تصویر SEM مقطع نانوسیم های ZnO



شکل ۵- تصویر سه بعدی ولتاژ AFM نانوسیم های ZnO



شکل ۲- تصویر توپوگرافی دوبعدی AFM نانوسیم های ZnO



شکل ۳- پروفیل تصویر توپوگرافی AFM نانوسیم های ZnO

#### ۴. منابع :

1. Wang, Y.G.a.Z.L., *Nano letters*, 2009. 9 (3): p. 1103-1110.
2. Barth, S., et al., *Progress in Materials Science*.2010. 55(6): p. 563-627.
3. Thongmee, S., et al., *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2009. 321(18): p. 2712-2716
4. Chen, W., et al., *Applied Surface Science*, 2006. 252(24): p. 8683-8687.
5. Jun Zhou, P.F., et al., *Nano letters*, 2008. 8 (11): p. 3973-3977.
6. Ming-Pei Lu., et al., *Nano Letters*,2009. 9 (3): p. 1223-1227.