NRC
Nanoptronics Research Center
IUST

دانشگاه علم و صنعت ایران

به نام خدا

سلول های خورشیدی مبتنی بر نانومیله

استاد : دکتر شهرام محمد نژاد

خرداد ماه ۱۳۹۶

مطالب ارائه شده

۱. مقدمه

۲. روش های رشد نانومیله ها

۳. ساختار پیوند ها در نانومیله ها

۴. بررسی یک سلول خورشیدی مبتنی بر نانو میله ها

۵. نتیجه گیری و جمع بندی

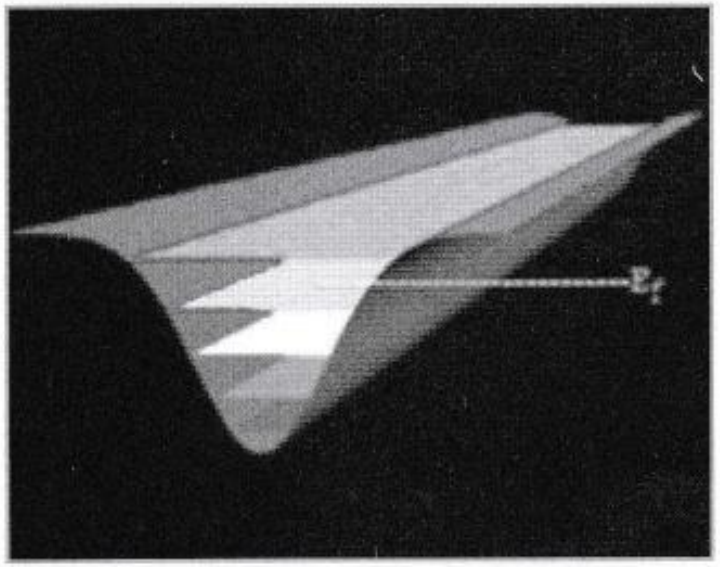
مقدمه

تعریف : نانوساختارهای تک بعدی به طور کلی تحت عنوان نانوسیم ها، نانوالیاف، نانو لوله ها و .... شناخته می شوند.

بارزترین ویژگی این مواد ⟵ هدایت الکتریکی

کاهش قطر ⟵ مقاومت افزایش نمی یابد

ساختارهای یک‌بعدی دارای قطری از چندین نانومتر تا چند صد میکرون می‌باشند؛ که البته قطر نانوسیم‌ها و نانومیله‌ها به ندرت به بالای چند صد نانومتر می‌رسد.



یکی از مهمترین خواص نانومیله این است که در راستای محور سیم تراز ها پیوسته هستند.

ساختار انرژی در نانوسیم‌ها در راستای محور سیم پیوسته و در راستای سطح مقطع آن گسسته است، پس با تغییر قطر آن فاصله بین ترازهای انرژی تغییر می‌کند. بنابراین جنس و نسبت طول به قطر نانوسیم‌ها دو عامل تاثیرگذار بر خواص آن‌ها می‌باشند.

خواص نانومیله ها

۱-رسانایی الکتریکی

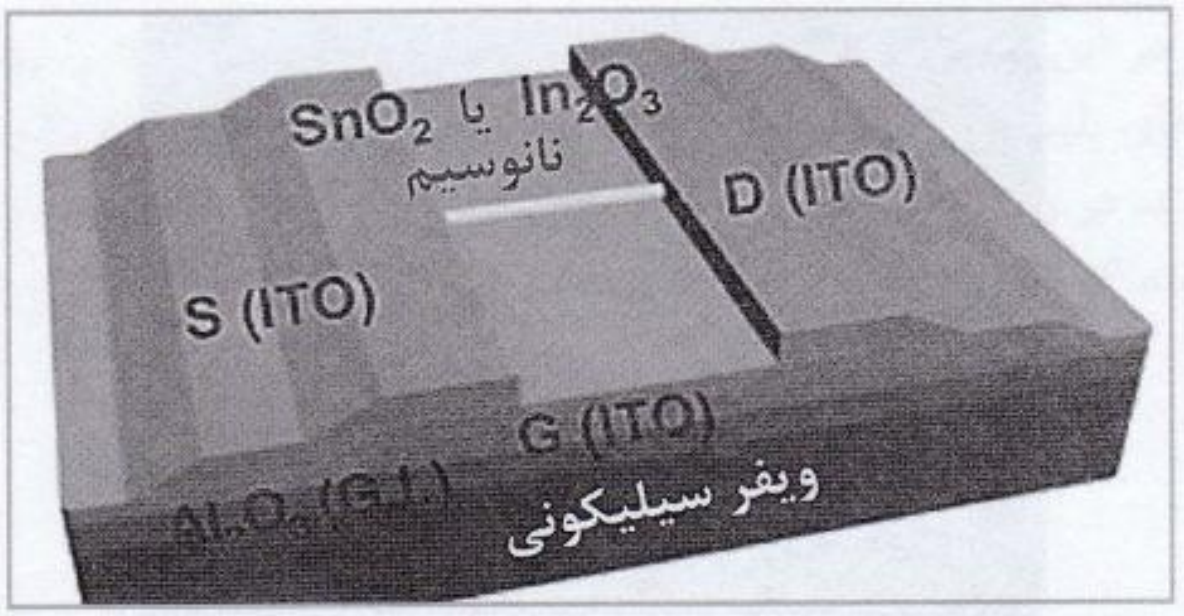
۲-خواص نوری

۳-خواص زیستی

۴-خواص مغناطیسی

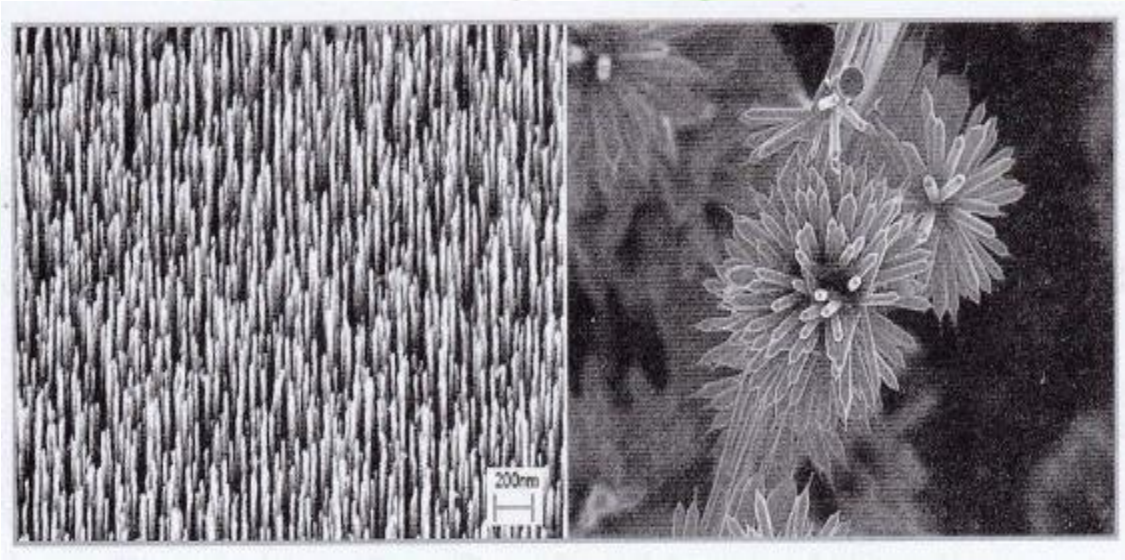
۵-خواص حسگری

رسانایی الکتریکی

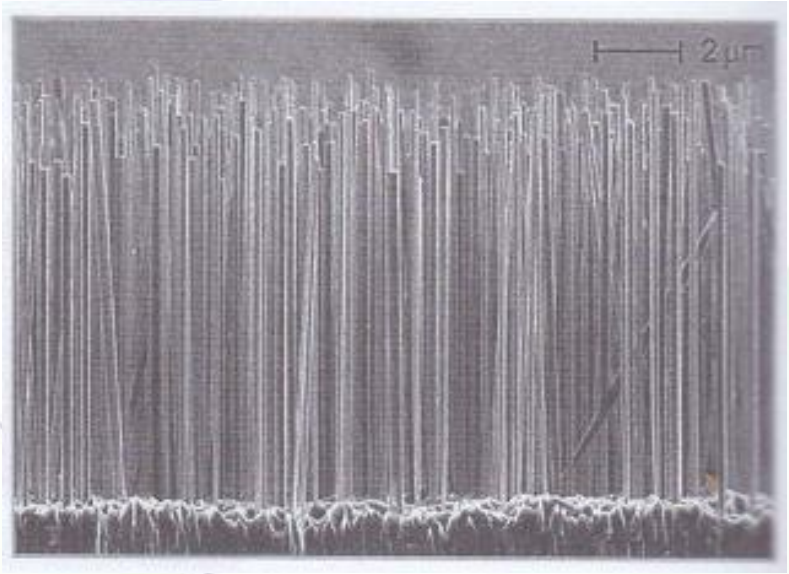


ساخت ترانزیستورها با استفاده از نانوسیم‌های فلزی

خواص نوری

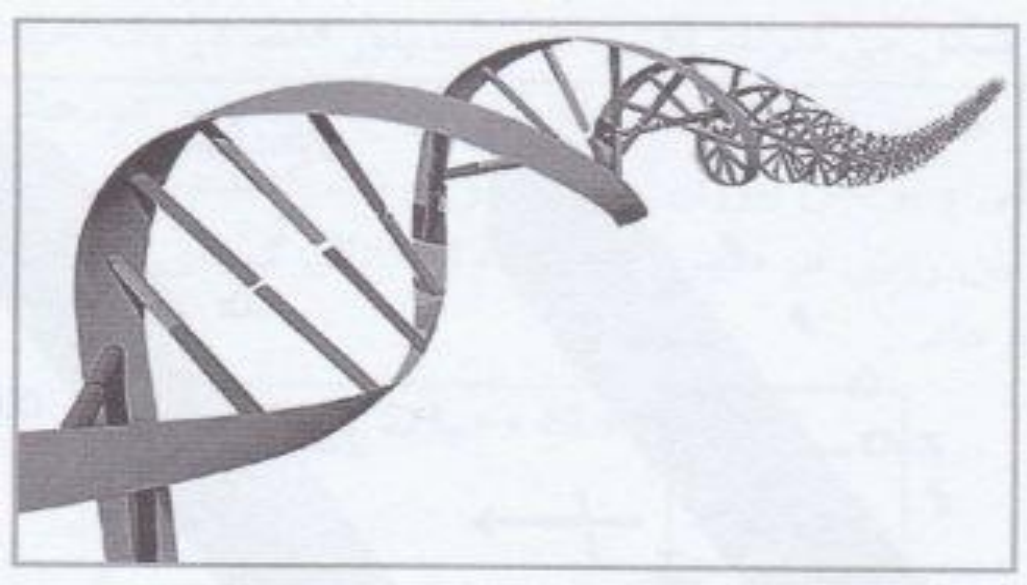


نانوسیم‌های ZnO که در قسمت سمت راست هم‌جهت نیستند اما در قسمت سمت چپ با اتخاذ شرایط آزمایشگاهی خاص هم‌جهت شده‌اند



قرارگرفتن لیزر ساخته شده از نانوسیم‌های ZnO در حفره یک سوزن

خواص زیستی

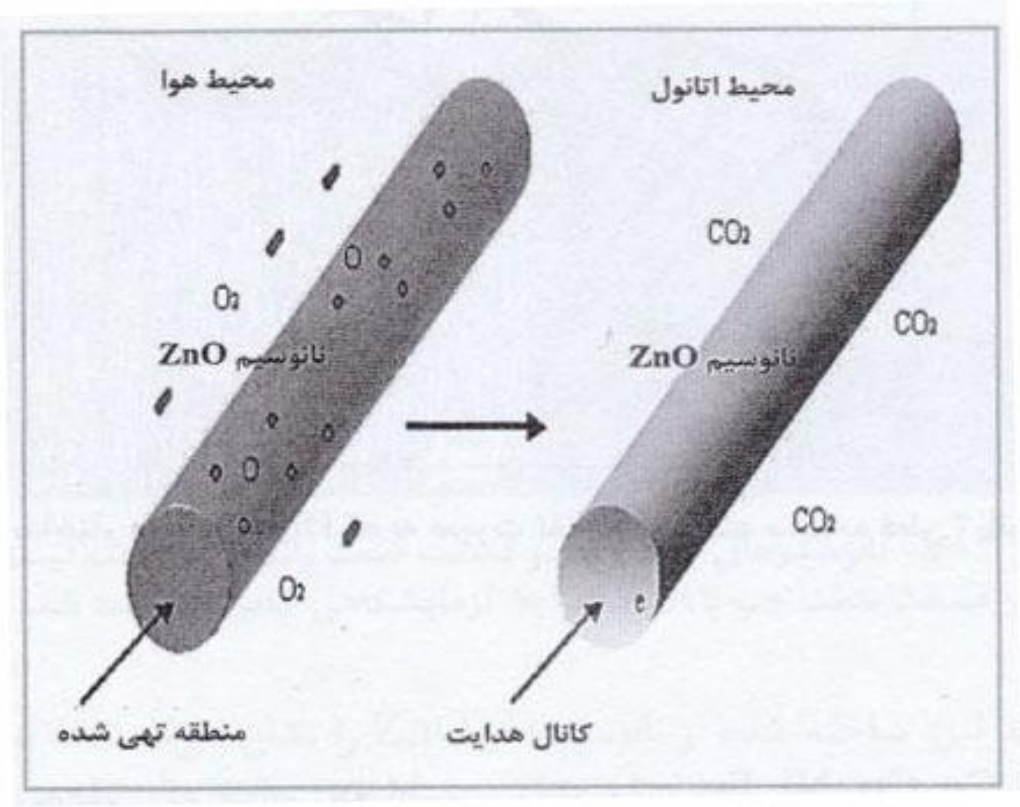


ساختار مولکول DNA که به صورت تقاطع دو رشته سیم به قطر ۲ نانومتر می‌باشد

خواص مغناطیسی

آرایه‌ای از نانوسیم‌های منظم آهن که برای ذخیره‌سازی اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرد

خواص حسگری



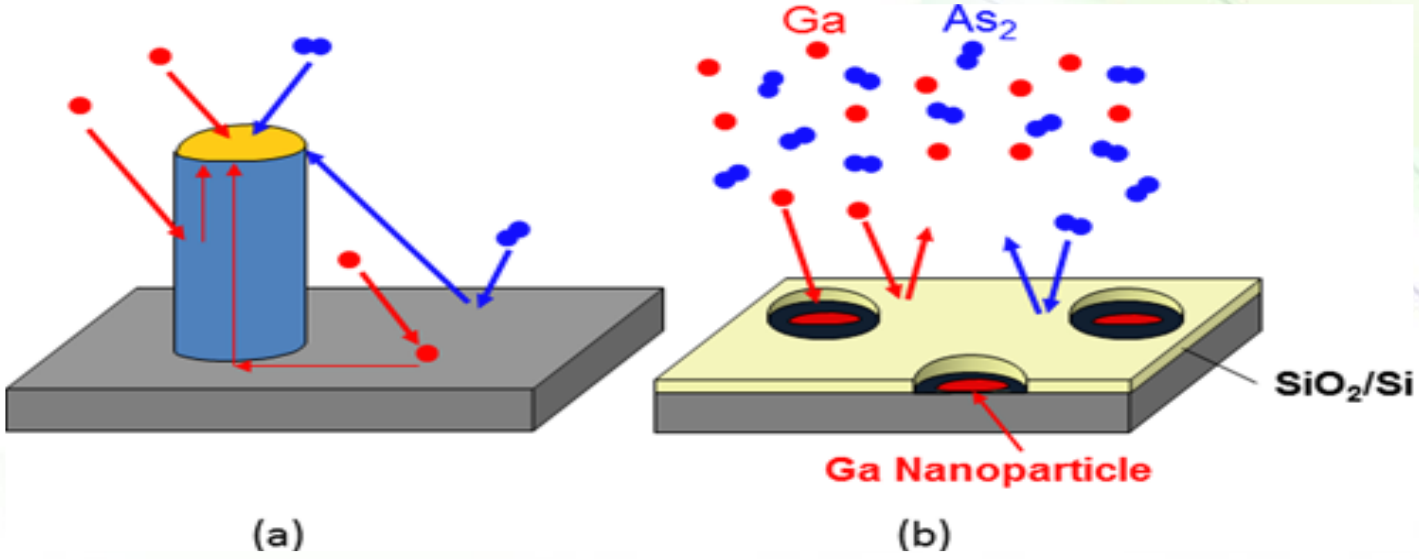
نانوسیم‌های ZnO به عنوان حسگر گاز CO2

روش های رشد نانومیله ها

۱- رشد به کمک کاتالیزور توسط رشد با پرتو مولکولی (MBE)، رشد با بخار آلی فلزی (MOVPE)، یا دیگر روش‌های مشابه

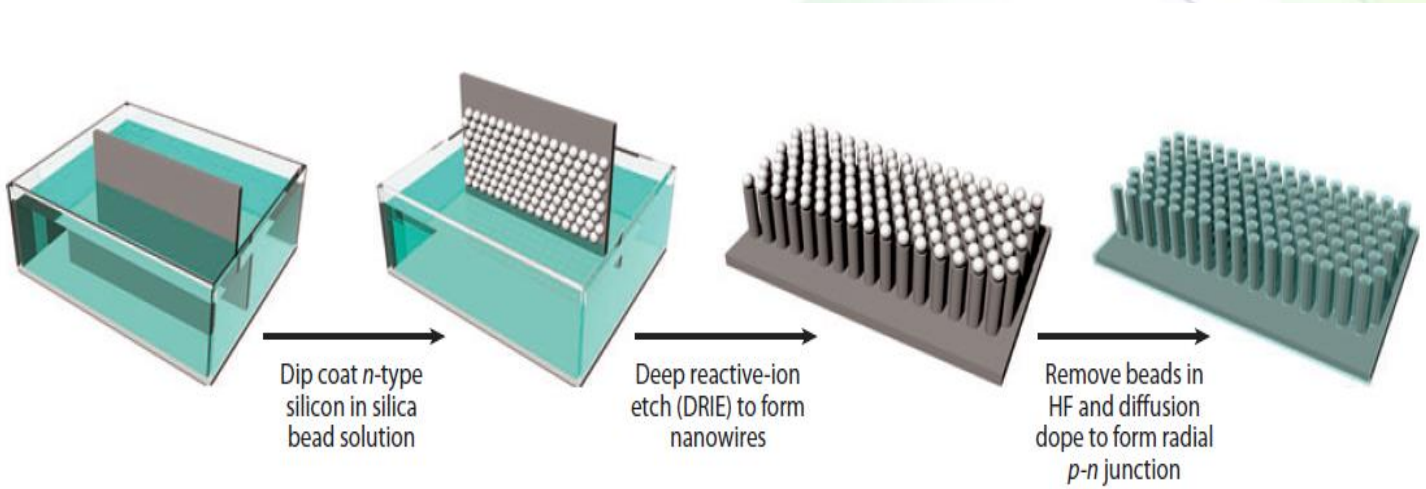
۲- رشد نانومیله‌های خود کاتالیزور با روش MBE, MOVPE و دیگر روش‌های مشابه

۳- زدایش شیمیایی الگوی سطح



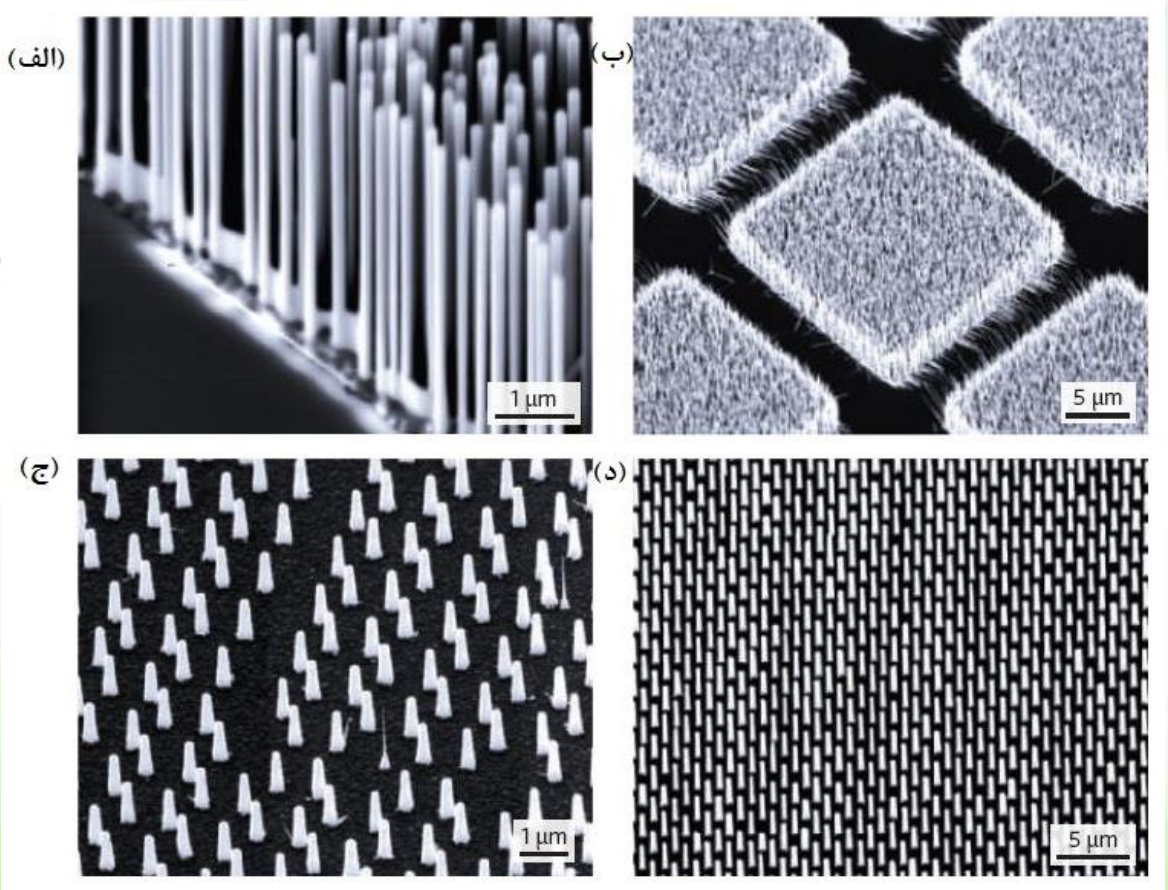
(a) شمایی از فرآیند رشد نانومیله با روش رشد مبتنی بر کاتالیزور (b) شمایی از فرآیند رشد نانومیله‌های GaAs با روش رشد خود کاتالیز

زدایش شیمیایی الگوی سطح



مراحل رشد یک نمونه سلول خورشیدی مبتنی‌بر نانومیله نیمه‌هادی به کمک روش زدایش شیمیایی. در گام اول زیرلایه توسط نانوکره‌های فلزی الگو دهی می‌شود. در گام بعدی زدایش با روش DRIE صورت می‌گیرد و نانومیله‌ها شکل می‌گیرند. در مرحله پایانی دانه‌ها برداشته می‌شود و با اعمال ناخالصی پیوند به وجود می‌آید.

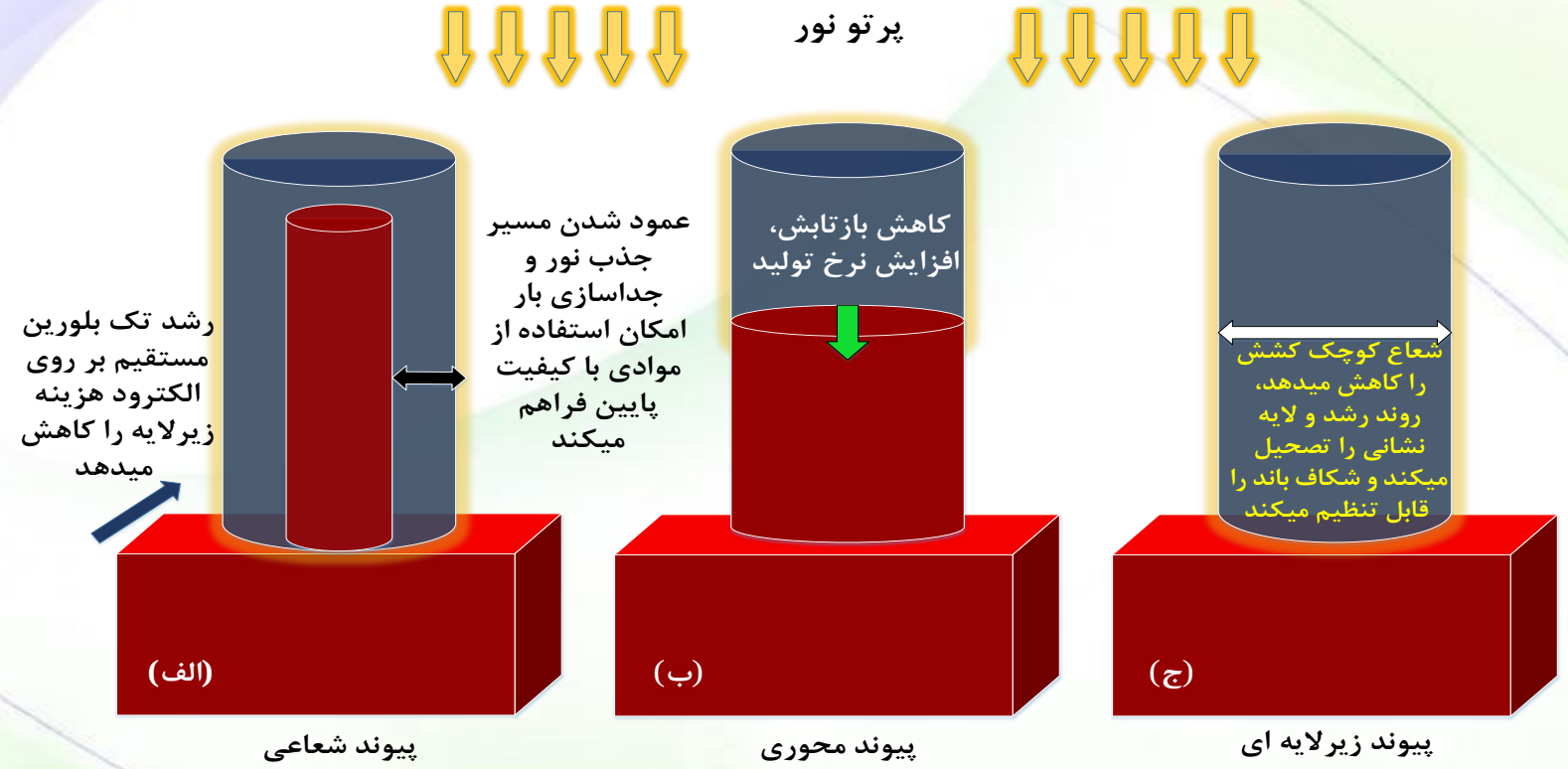
مواد مختلف به کار برده شده در سنتز نانومیله ها



تصویر از آرایه‌های نانومیله‌های ZnO (الف)، GaN (ب)، InP (ج) و چند پوسته‌ای InP/InAs/InP (د) که توسط تصویر برداری SEM به‌دست آمده است.

ساختار پیوند ها در نانومیله ها

- بعد از به اتمام رسیدن سنتز نانومیله‌ها ،به کمک روش‌های مطرح شده در بخش قبل، باید پیوندی تعریف شود تا **جداسازی** و **استخراج بار** ارتقاء یابد.
- سه گونه مختلف برای شکل دادن پیوند وجود دارد.
- پیوندها را می‌توان در راستای قطر (جداسازی شعاعی) یا راستای محور طول (جداسازی محوری) نانومیله و یا در سطح زیرلایه شکل داد.



مزایای هندسه نانومیله. (الف) آرایه‌های متناوب نانومیله‌ها با پیوند شعاعی تمام مزایا را ،که شامل کاهش بازتابش، به‌دام اندازی نور منحصربه‌فرد، جدایی بار شعاعی، کاهش کشش سطحی و سنتز تک بلورین بر روی زیرلایه‌های لایه نشانی نشده می‌شوند، حفظ می‌کنند. (ب) پیوندهای محوری مزیت جداسازی بار شعاعی را از دست می‌دهند و بقیه را نگه میدارند. (ج) پیوندها زیرلایه‌ای مزیت جداسازی بار شعاعی را از دست می‌دهند و امکان جدا کردن آنها از زیرلایه، جهت آزمایش به عنوان سلول تک نانومیله، وجود ندارد.

مشخصه‌های مهم در سلول‌های خورشیدی مبتنی‌بر نانومیله

۱- مودهای الکترومغناطیسی

۲- اثر ضد بازتابش آرایه نانومیله

۳- انرژی توزیع شده در هر مود

۴- محاسبه چگالی جریان

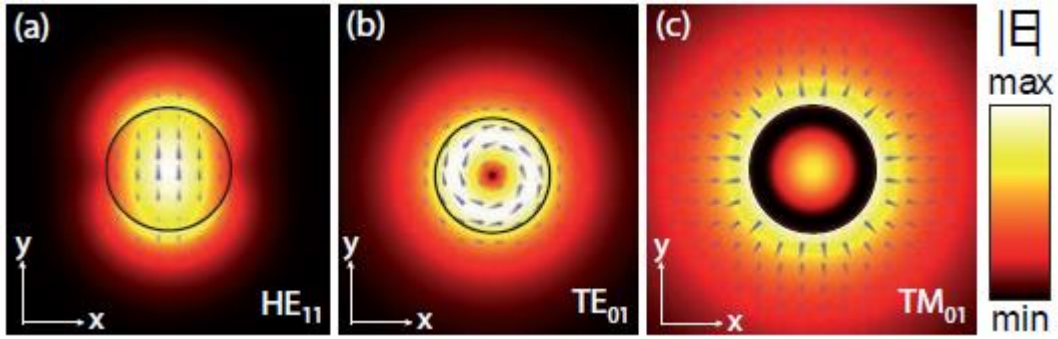
۵- ولتاژ مدار باز و تلفات آن در سلول‌های نانوساختار

۶- اثر بازترکیب سطحی

مودهای الکترومغناطیسی

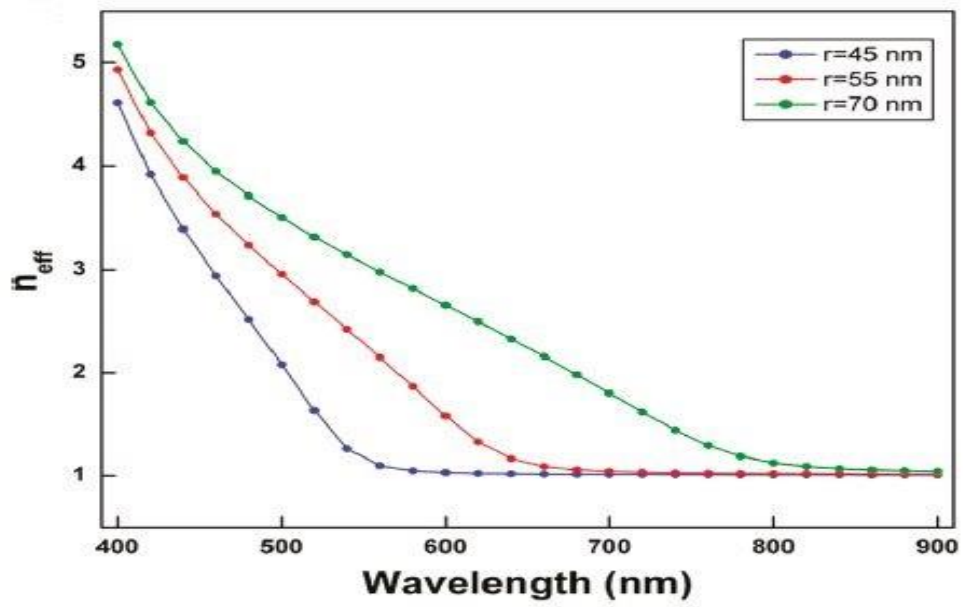
مودهای الکترومغناطیسی در یک سیلندر با شعاع R، از حل معادله پراکندگی قابل حصول هستند:

$$\left[\frac{\mu_c}{Rk_c}\frac{J_m^{'}(Rk_c)}{J_m(Rk_c)}-\frac{\mu}{Rk}\frac{H_m^{'}(Rk_c)}{H_m(Rk_c)}\right]\times\left[\frac{\varepsilon_c}{Rk_c}\frac{J_m^{'}(Rk_c)}{J_m(Rk_c)}-\frac{\varepsilon}{Rk}\frac{H_m^{'}(Rk_c)}{H_m(Rk_c)}\right]=m^2\frac{(Rk_z)^2}{(\omega R/c)^2}\left[\frac{1}{(Rk)^2}-\frac{1}{(Rk_c)^2}\right]$$



نقشه توزیع میدان در سه مود الکترومغناطیس در یک نانومیله نامتناهی InP با شعاع ۱۲۶ نانومتر در طول موج ۸۸۰ نانومتر. پیکانها نمایش دهنده جهت انتشار میدان الکتریکی در هر مود هستند

اثر ضد بازتابش آرایه نانومیله



نمودار ضریب شکست مؤثر برای یک آرایه از نانومیله‌های سیلیکونی با سه شعاع مختلف برای مود HE_{11}

انرژی توزیع شده در هر مود

میرایی توان نوری P_m در هر مود را می توان از قانون لمبرت-بیر محاسبه کرد با این فرض که هیچ انتقال اثری بین مود ها وجود ندارد:

$$P_m\left(z+L\right)=P_m\left(z\right)e^{\alpha_m L}$$

$$\alpha_m=\frac{4\pi}{\lambda_0}\Im\{n_{eff,m}\}$$

معادله پراکندگی به تنهایی قادر به تشخیص میزان توزیع توان در یک مود نیست. با اعمال شرایط تطبیق امپدانس به معادله پراکندگی می‌توان توان تشعشعی کوپل شده به هر مود را به دست آورد که این امکان محاسبه جذب کلی در ساختار را به ما می‌دهد و شرایط را برای محاسبه دیگر پارامترهای سلول مهیا می‌کند.

محاسبه چگالی جریان

$$j = j_{sc} - j_{rec}(V)$$

$$J_{sc} = q\int_{300nm}^{\lambda_{bg}} \frac{A_{inc}(\lambda) I_{AM\,1.5}(\lambda)}{\hbar 2\pi c/\lambda} d\lambda$$

$$j_{rec}(V) = eF_{c0}\left[\exp(eV/K_bT) - 1\right]$$

$$F_{c\,0,top(bot)} = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} d\theta \int_0^{\lambda_{bg}} d\lambda \frac{cn_{top(bot)}^2}{\lambda^4} \times \frac{A_{TE,top(bot)}(\lambda,\theta,\varphi) + A_{TM,top(bot)}(\lambda,\theta,\varphi)}{\exp\left[(\hbar 2\pi c/\lambda)k_BT\right] - 1} \cos(\theta)\sin(\theta)$$

ولتاژ مدار باز و تلفات آن در سلول‌های نانوساختار

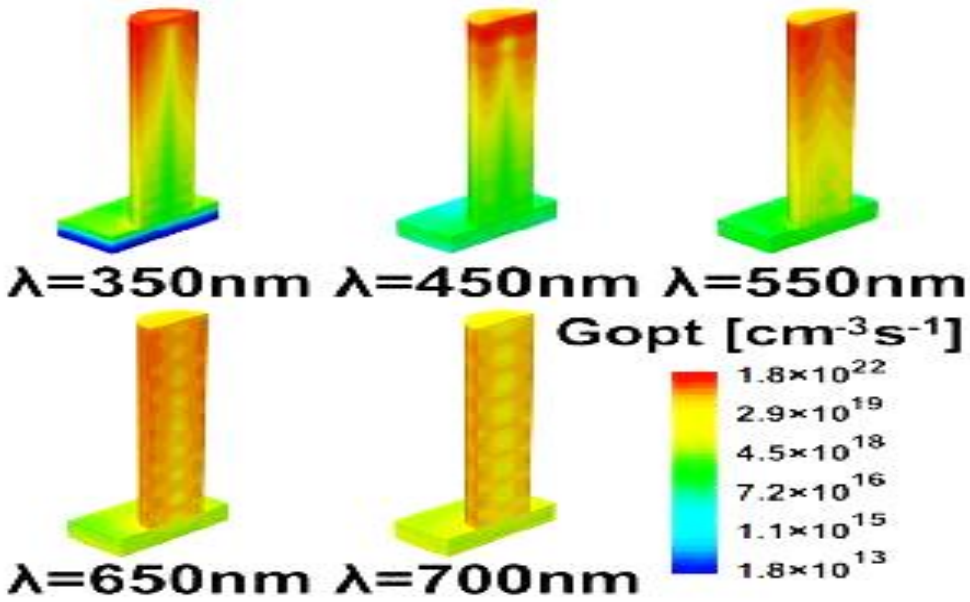
برای محاسبه بیشینه بازدهی سلول نیاز داریم که ولتاژ مدار باز سلول خورشیدی را محاسبه کنیم، بگونه‌ای که اثر تلفات موجود در ساختار و عوامل ناخواسته لحاظ گردد:

$$qV_{oc} = E_{bg}$$

$$qV_{oc} = E_g\left(1-\frac{T}{T_{sun}}\right)-KT\left\{\ln\left(\frac{\Omega_{emit}}{\Omega_{sun}}\right)+\ln\left(\frac{4n^2}{C}\right)-\ln(QE)\right\}$$

فصل اول
فصل دوم
فصل سوم
فصل چهارم
فصل پنجم

اثر بازترکیب سطحی



$$p_s = \frac{N_{at}\left(\sigma_p n_i + \sigma_n n\right)}{\sigma_p\left(p + n_i\right) + \sigma_n\left(n + n_i\right)}$$

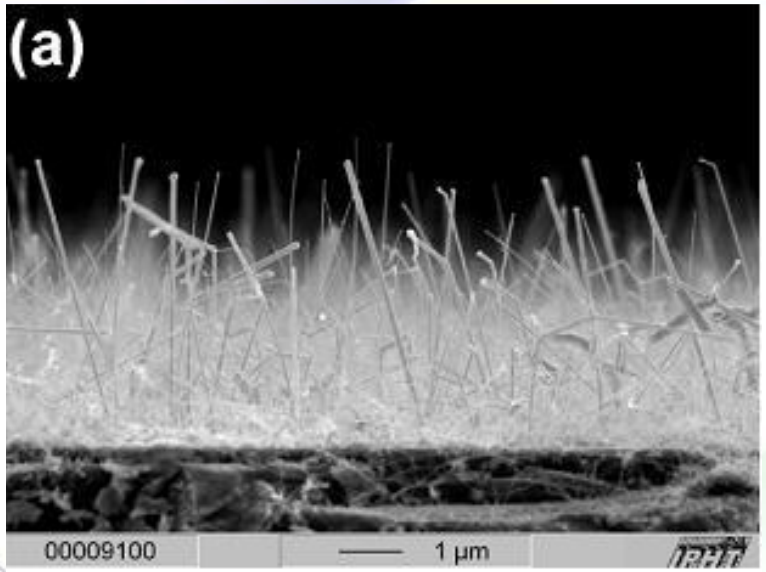
$$n_s = \frac{N_{at}\left(\sigma_p n_i + \sigma_n n\right)}{\sigma_p\left(p + n_i\right) + \sigma_n\left(n + n_i\right)}$$

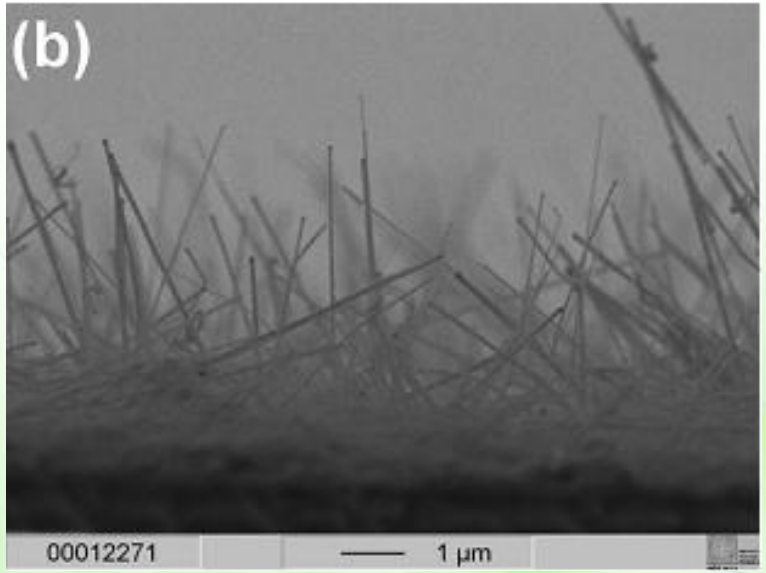
$$\nabla\psi = -\frac{e\left(p_s - n_s\right)}{\varepsilon_0\varepsilon_r}$$

نرخ تولید حامل‌ها برای یک نمونه نانومیله در طول موج‌های مختلف. در طول موج‌های پایین نرخ تولید بیشتر در سطح نانومیله اتفاق می‌افتد. با افزایش طول موج، نرخ تولید با یکپارچگی بیشتری در داخل نانومیله توزیع می‌شود

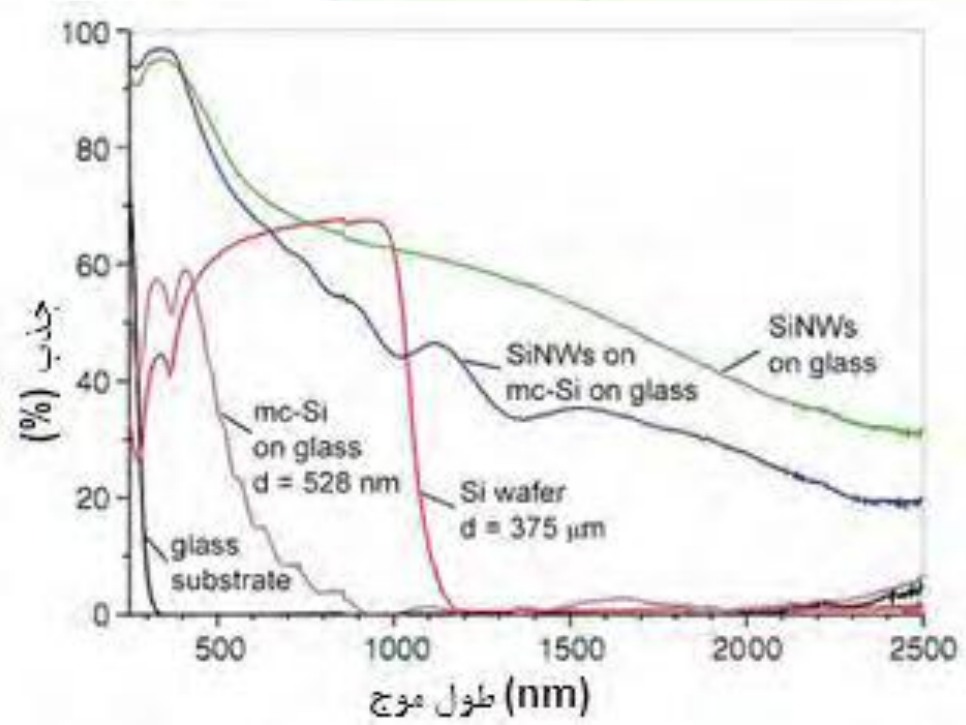
بررسی یک سلول خورشیدی مبتنی بر نانو میله ها

- نانوسیم ها از خود پهنای باند جذب نوری قوی نشان می دهند، که آنها را به یک نامزد خوب به عنوان جذب کننده در سلول های خورشیدی تبدیل کرده است.
- عملکرد یک سلول خورشیدی به وسیله یک نانوسیم آلاییده شده نوع n رشد کرده بر روی یک ویفر سیلیکونی آلاییده شده نوع p نمایش داده می شود.
- با تاباندن نور به صورت ناقص بر سطحی به اندازه ۰,۶ cm^2، ولتاژ مدار بازی در حدود ۲۸۰-۲۳۰ میلی ولت و چگالی جریان اتصال کوتاه ۲ mA/cm^2 بدست می آید.

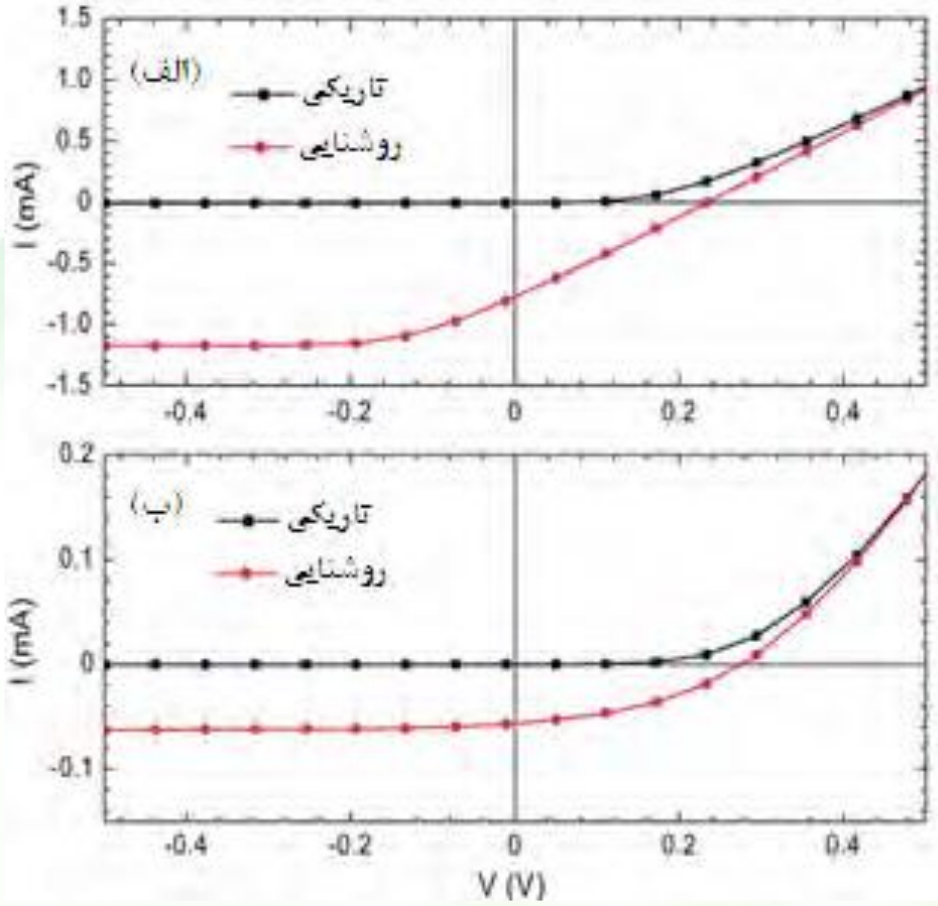




تصویر SEM از رشد SiNW های آلاییده شده نوع n بر روی (a): یک ویفر سیلیکون آلاییده شده نوع P و (b): یک زیرلایه شیشه ای بالای mc-Si به ضخامت ۵۰۰ nm



جذب نوری SiNWها بر روی زیرلایه شیشه ای و روی mc-Si که بر شیشه قرار گرفته است در مقایسه با جذب یک ویفر سیلیکونی به ضخامت ۳۷۵ um



نمودار جریان بر حسب ولتاژ محاسبه یک سلول خورشیدی با SiNWهای آلاییده شده نوع n که بر روی یک ویفر سیلیکونی نوع p رشد داده شده است، (a) با یک پوشش طلا بر روی نانوسیم ها (b) پس از برداشتن پوشش Au بوسیله حک کردن

نتیجه گیری و جمع بندی

- معرفی و خواص نانو میله ها
- سنتز نانومیله‌ها با سه روش مختلف امکان‌پذیر است که این امر راه را برای طراحی ساختارهایی با ابعاد، اشکال و جنس‌های مختلف فراهم می‌سازد.
- ساختار پیوندها در نانومیله ها
- کاربرد نانومیله ها در سلول های خورشیدی
- در انتها دیدیم که نانوسیم ها از خود پهنای باند جذب نوری قوی نشان می دهند، که آنها را به یک نامزد خوب به عنوان جذب کننده در سلول های خورشیدی تبدیل کرده است.

با تشکر فراوان از استاد و شما دانشجویان عزیز