

# فزاسوک مواد

انجمن علمی دانشکده مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه تهران

تابستان ۱۳۹۹ ■



# شعر

## مسابقات



انجمن علمی دانشکده مهندسی مواد دانشگاه تهران



### مدیرمسئول

ابوالفضل انوری

### مدیر ویرایش

مسعود خلیلی

### نیم نهمین فصلی مه‌اد

آرین شاهوردی، میرعلیرضا فغانی تولون، ساجده عنابستانی، ندا عسکرزاده، سارا سرورپور، کیانا رهنما، زهرا فراهانی، مبین زربو، فاطمه محمودی، امید رضایی، محمد صالح محمودی، محمدرضا خانی پور، بهرام علی پور، متین یارقلی، طاها زارعی.

### نیم هفتمین فصلی و ادبی



دکتر محمد رضا گل و بوستان فرد



دکتر ویدا ونداد



علیرضا رضانی



ساجده مقدس

با تشکر ویژه از پروفسور عبدی زاده و دکتر گل و بوستان فرد

## فهرست

### بخش اول

مقدمه‌ای بر سلول خورشیدی

### بخش دوم

تازه‌های سلول خورشیدی

### بخش سوم

... تا بازار جهانی انرژی خورشیدی

### بخش چهارم

چند و چون اپلای

### بخش پنجم

بخش معرفی استاد و آزمایشگاه

### بخش ششم

مقالات و پژوهش‌های جدید در دانشکده

## فصل مدیرمسئول

به نام حق

اینجا قرار بود حرف‌های پشت پرده و سرگذشت و کم و کاست نشیبه را بنویسیم که الان نه آنقدر معمم است و نه آنقدر حسن و حال نظریه پردازی و توجیه رادارم که بگویم ما کار بسیار خوبی کردیم نشیبه را راه انداختیم و کلی حرف‌های حوصله سبر دیگر.

توضیح، همین اندازه که در قرنطینه و کنسل شدن پروژه و کار و کلاس، چند نفر دور هم جمع شدیم و نشیبه‌ای علمی را بر حسب استانداردهای دی‌اگ‌رام الینگ‌ام در قبال آکسید کردن وقت و فکرم‌ان احیا کردیم، کافیس.

امیدوارم ارتباط خوبی با نشیبه شکل بگیرد و کار هم ادامه دار باشد که لازمه ادامه داشتن، مخاطب داشتن و لازمه مخاطب داشتن ارضاء (راضی کردن) مخاطب است. یک حلقه که از خودمان به خودمان ختم می‌شود اگر خوب یا بد باشد از خودمان است. ما تیم نشیبه مسئولیت‌هایی داریم، شما هم به عنوان مخاطب مسئولیت‌هایی دارید ما را نقد کنید، به راحتی کندن پوست نارنگی انتقاد کنید.

و حتی پا در میدان گذاشته و کنار ما قرار بگیرید تا کم و کاستی‌هایمان به مرور زمان رفع شود.

در پایان زیاده‌گویی‌هایم هم در باب ترم منحوس اخیر که هنوز هم تمام نشده و قرار است تا مدتی‌ها ترکش‌های جبران ناپذیرش را تحمل کنیم و تازه خبر مجازی شدن ترم بعد هم شده یک‌گونی نمک روی زخم‌هایمان، قطعه شعری از یکی از دوستان می‌آورم که نمیدانم قالبش چیست، از شعر هم سردر نمی‌آورم (آخر متالورژی را چه به شعر) ولی چه خوب حرف‌هایم را با گره خوردگی عاطفه و تخیل در زبان آهنگین شکل داده است.

فقط می‌توان دعا و آرزو کرد و در کوره بلند انداخته شاید به گوش کسی برسد.

ز روی آرزو ده یک شبه صد تکلیف

نهد به پای این جوان بیچاره زنجیر

کند فکر که اوسه بنده‌ی من

به پای یک دو واحد چو شمع میسوزد

شب دوخته به صبح و صبح وصله به شب

عاقبت دهد تلاش یک عمر از کف

به پای فیلترینگ و الگوریتم مجهول دلار

نقد فغان که ای هیعات

شد این هیعات صدایی خفته

که نرود در گوش آن استاد

که نشود سعل در تانیه‌ای حل الگوریتم مجهول دلار

چشم پر هم زدیم و نگذشت این ایام

تغاشد چشم گنگون تحفه این ایام

تا به امروز که هیچ

همه را ما باختیم

شوق درس و پراید را، همه را به نمودار صعودی کرونا ما باختیم



# بخش اول

## مقدمه‌ای بر سلول خورشیدی



ندا عسکرزاده

کارشناسی ارشد الکتروسر امیک دانشگاه شیراز

ساجده عنابستانی

کارشناسی مهندسی مواد دانشگاه فردوسی مشهد



آرین شاهوردی

کارشناسی مهندسی مواد دانشگاه تهران

میرعلیرضا فغانی تولون

کارشناسی مهندسی مکانیک و مهندسی مواد دانشگاه تهران



## کلیت و تعریف سلول خورشیدی

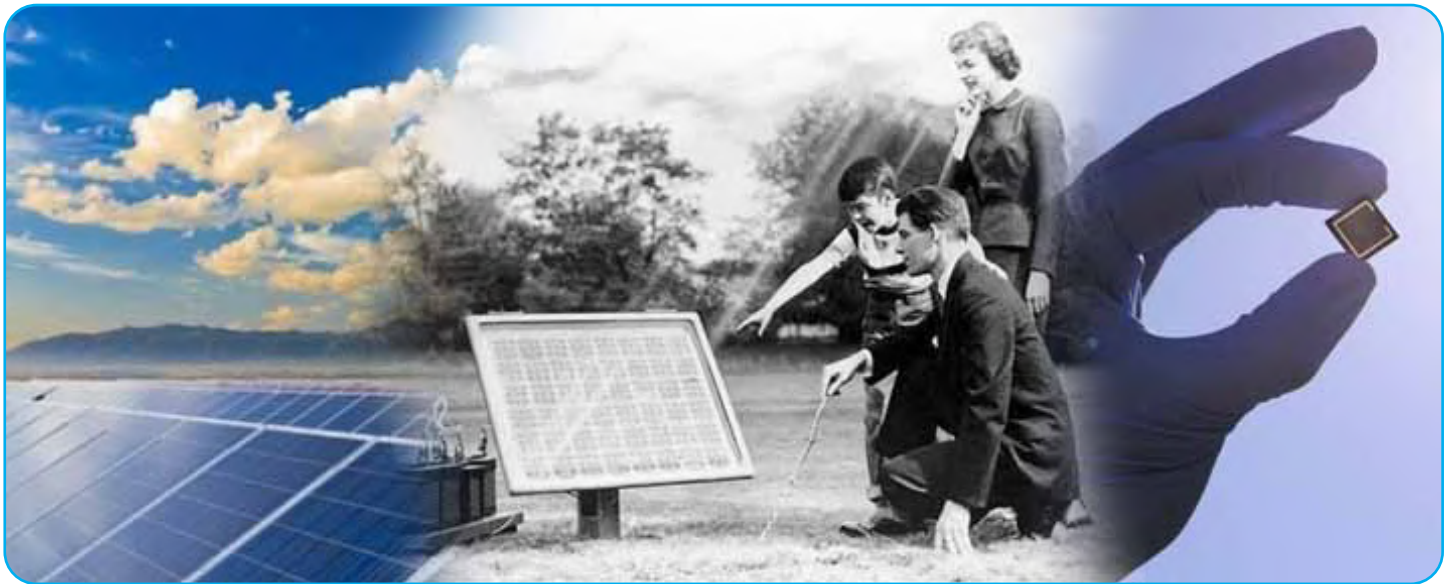
در این قسمت تاریخچه زمانی و پیشرفت‌های علمی در زمینه تکنولوژی سلول‌های خورشیدی از سال ۱۹۵۴ تا کنون مورد بررسی قرار می‌گیرد. دانشمندان و محققان علم مواد برخی نیمه هادی‌های III-V، نانوتکنولوژی و مواد آلی را شناسایی کرده‌اند که می‌توانند در طراحی و توسعه سلول‌های خورشیدی، که به عنوان سلول‌های فوتوولتائیک<sup>۱</sup> شناخته می‌شوند، به کار برده شوند. همچنین لازم است به این نکته اشاره کرد این سلول‌های PV نه تنها با محیط زیست سازگار می‌باشند بلکه کارآمدتر، قابل اطمینان‌تر و یک منبع نامحدود انرژی الکتریکی نیز به حساب می‌آیند، زیرا بر مبنای نور خورشید کار می‌کنند. حال سوالی که مطرح می‌شود این است که چرا در حال حاضر نیاز به تکنولوژی خورشید بسیار مهم شده است؟

۱ Photovoltaic Cells (PV)

افزایش قیمت نفت، حملات تروریستی به تاسیسات نفتی کشورها، هزینه‌های بالای انرژی، سیاست‌های نادرست کشورها، شرایط نامساعد آب و هوایی و همچنین اثر گلخانه‌ای، برنامه‌ریزان حوزه انرژی را مجبور کرده است که به دنبال منابع جایگزین انرژی بگردند؛ تا بدین منظور تکیه بر سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز کاهش یافته و این سوخت‌ها جای خود را به انرژی‌های پاک موجود در طبیعت بدهند و نهایتاً بتوانیم از سیاره‌ی خود محافظت کنیم. توجه داشته باشید که در اثر تولید الکتریسیته به کمک سوزاندن زغال سنگ، گاز و چوب، مقدار زیادی کربن دی اکسید منتشر می‌شود. علاوه بر این‌ها، زغال سنگ استخراج شده از معادن زغال سنگ باید پس از استخراج به نیروگاه‌های زغال سنگ منتقل شود که این امر مستلزم اعمال هزینه‌های زیاد حمل و نقل و افزایش احتمال تاخیر در رسیدن زغال سنگ تحت شرایط نامساعد آب و هوایی می‌باشد. از طرفی نیروگاه‌های هسته‌ای نیز بسیار هزینه بر بوده و مدت زمان ساخت آن‌ها بسیار طولانی است.

بنابر دلایل ذکر شده علاقه‌ی دانشمندان حوزه‌ی انرژی به منابع انرژی جایگزین مانند توربین‌های بادی، توربین‌های آبی و سلول‌های خورشیدی افزایش یافته است. ذکر این مسئله بسیار مهم است که تکنولوژی فوتوولتائیک (PV) مستقیم‌ترین روش برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی، بدون انتشار کربن دی اکسید و سایر گازهای گلخانه‌ای، می‌باشد.

انرژی خورشیدی براساس اثر فوتوولتائیک اولین بار در سال ۱۸۳۹ مشاهده شد. یک دستگاه PV شامل اتصال p-n مواد نیمه رسانا بوده که ولتاژ آن از طریق پرتوهای خورشیدی تامین می‌شود. ولتاژ تولیدی در محل برخورد پرتوی نور، به خواص نیمه رساناهای p و n و ثابت نفوذ<sup>۱</sup> آن ماده بستگی دارد؛ به عبارتی جذب نور خورشید از طریق نیمه رسانا صورت می‌گیرد. نیمه رساناهای مورد استفاده برای توسعه‌ی سلول‌های PV باید بتوانند بخش اعظمی از طیف خورشیدی را که به سطح سلول می‌رسد جذب کرده و در نتیجه‌ی آن راندمان مجموعه را افزایش دهند.



### تاریخچه توسعه

سلول‌های خورشیدی اولین بار به منظور تولید انرژی الکتریکی سفینه‌های فضایی و سیستم‌های ارتباطی ماهواره‌ای در اواخر دهه ۱۹۵۰ مورد استفاده قرار گرفتند؛ زیرا این دستگاه‌ها برای مدت زمان طولانی (حدوداً ۵ تا ۱۰ سال) به تعمیر و نگهداری نیازی نداشتند و علاوه بر آن بیشترین قابلیت اطمینان را بدون تغییر در میزان بازدهی در طول این مدت ارائه می‌دادند. اولین بار از سلول‌های خورشیدی سیلیکونی به منظور تولید انرژی الکتریکی در ماهواره‌ی ونگارد<sup>۱</sup> که در سال ۱۹۵۸ در مدار خود قرار گرفت استفاده شد. بعد از آن مکرراً در ماهواره‌ها از این سلول‌ها استفاده شد و بدین ترتیب کاربردهای فضایی برای بیش از دو دهه بازار اصلی این دسته از مواد قرار گرفت.

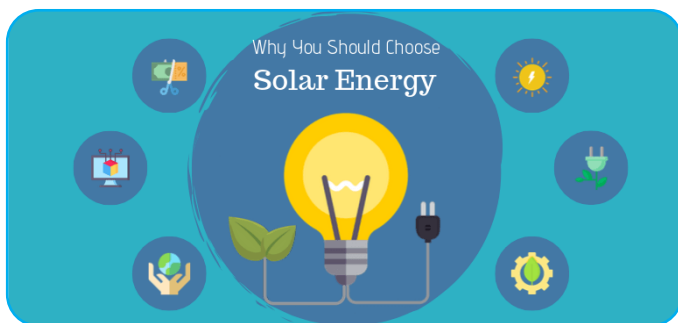
در سال ۱۹۷۳ دانشمندان حوزه انرژی دریافتند که اثر فوتولتائیک می‌تواند در آینده‌ای نزدیک گزینه‌ی مناسبی به عنوان انرژی غیرفسیلی باشد.

فعالیت‌های تحقیقاتی بر روی سلول‌های PV نشان داد که اگر قرار است تکنولوژی سلول‌های خورشیدی به صورت بومی و یا تجاری گسترش پیدا کند باید هزینه‌های ناشی از توسعه و اجزاء سیستم کاهش یابد. در حال حاضر هزینه‌های سیستم‌های نیرو در ایالات متحده، ژاپن و کشورهای اروپایی حدود ۱۰۰ برابر کاهش یافته است.

۱ Vanguard Satellite

### چرا انرژی خورشیدی؟!

همواره تقاضای انرژی، نیروی محرکه‌ی اولیه برای توسعه توانایی‌های صنعتی بوده است. اختراع ماشین بخار موجب انقلاب صنعتی در جهان شد که نتیجه‌ی تکامل اقتصادی انرژی مبتنی بر چوب و زغال سنگ بود. بعد از آن رشد اقتصادی انرژی، با تمرکز بر منابع مختلف انرژی مانند انرژی هسته‌ای، باد، آب، نفت و گاز ادامه پیدا کرد. در این میان، انرژی هسته‌ای بسیار گران بوده و تشعشعات هسته‌ای و پسماندهای آن از مشکلات پیش‌رو می‌باشد. انرژی الکتریکی که به وسیله‌ی سوزاندن زغال سنگ، چوب، گاز و نفت ایجاد می‌شود نیز مقادیر زیادی آلودگی به همراه داشته و کربن دی‌اکسید منتشر می‌کند، لذا موجب به خطر افتادن سلامتی انسان‌ها می‌شود.





تمامی این منابع انرژی به سرمایه گذاری‌های کلان و همچنین تعمیر و نگهداری برنامه ریزی شده و مرتب نیاز دارند. به عنوان مثال در مورد نیروگاه‌های زغال سنگ، سرمایه گذاری کلان اولیه، هزینه‌های حمل و نقل زغال سنگ و احتمال با تاخیر رسیدن زغال سنگ تحت شرایط نامساعد آب و هوایی می‌تواند مشکلات جدی ایجاد کند.

از سوی دیگر منبع انرژی خورشیدی عاری از آلودگی و قابل اطمینان بوده، به صورت رایگان در دسترس است، بدون سرو صدا است، قابل استفاده در دراز مدت می‌باشد، تعمیر و نگهداری آن رایگان است و در طول سال، عملکردی مداوم و نامحدود با اعمال هزینه‌های متوسط دارد.

اما با وجود تمام مزایای بیان شده برای سلول‌های خورشیدی و گذشت نزدیک به ۵۵ سال از اختراع آن‌ها، سلول‌های خورشیدی PV تنها ۰,۰۴ درصد از انرژی الکتریکی جهان را تامین می‌کنند و علت آن هزینه‌های فراتر از حد توان مصرف کننده می‌باشد. براساس بررسی‌های آماری مصرف جهانی انرژی در سال ۲۰۰۷، ۳۰ درصد انرژی الکتریکی تولیدی به وسیله‌ی زغال سنگ، ۱۶ درصد آن به کمک گاز طبیعی، ۱۵ درصد آن به وسیله‌ی ژنراتورهای آبی، ۹ درصد آن به کمک نفت، ۴ درصد آن به کمک انرژی هسته‌ای و تنها ۱ درصد آن از طریق سلول‌های خورشیدی تامین می‌شود. در ایالات متحده انرژی خورشیدی از هر نوع آن، کمتر از ۰,۱ درصد از تقاضای انرژی الکتریکی را برآورده می‌کند. با این حال تمامی کشورهای صنعتی مانند ایالات متحده، آلمان، ژاپن، برزیل، ایتالیا، اسپانیا و سایر کشورهای اروپایی در حال گسترش تولید انرژی الکتریکی به کمک سلول‌های خورشیدی می‌باشند. که در آمارهای اخیر سال ۲۰۱۹ ایالات متحده، ۱,۸ درصد از کل مصرف انرژی الکتریکی از منبع خورشیدی بوده است.

## خلاصه‌ای از فیزیک پایه سلول خورشیدی

الکترونی در آن سطوح انرژی وجود ندارد). به این سطوح انرژی، شکاف انرژی<sup>۳</sup> گفته می‌شود.

یک ماده می‌تواند شکاف‌های انرژی بسیاری داشته باشد، اما مهم‌ترین شکاف، شکاف نزدیک انرژی فرمی است که در آن تعداد حالت‌هایی که از الکترون اشغال شده اند، با توجه به تابع فرمی، به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. در واقع مهم‌ترین شکاف انرژی شکافی است که در دمای اتاق ترازهای انرژی پایین آن "تقریباً" پر از الکترون و ترازهای انرژی بالای آن "تقریباً" خالی از الکترون هستند.

به بالاترین تراز یا نوار انرژی تقریباً پر نوار ظرفیت<sup>۴</sup> و به پایین‌ترین نوار انرژی تقریباً خالی نوار رسانش یا هدایت<sup>۵</sup> گفته می‌شود.

### شکاف نوار

استفاده از مکانیک کوانتومی در فیزیک حالت جامد منجر به مدل فیزیکی شده است که شامل یک زنجیره از حالت‌هایی است که توسط الکترون‌ها قابل اشغال است. هر حالت دارای انرژی و بردار معین  $k$  (مومنتم کریستالی) است و به آن‌ها تراز انرژی گفته می‌شود. از آنجا که الکترون‌ها فرمیون<sup>۱</sup> هستند، هر یک از این حالت‌ها تنها با یک الکترون اشغال می‌شود. در دماهای بسیار کم، الکترون‌ها سطوحی با کمترین سطح انرژی ممکن را اشغال می‌کنند. در دمای کم (دمای اتاق، به عنوان مثال) توزیع الکترون‌ها در حالت‌های الکترونیکی بایک تابع فرمی<sup>۲</sup> شرح داده می‌شود که با افزایش انرژی، تعداد الکترون‌های موجود در آن سطح انرژی کاهش می‌یابد.

در این مدل سطوحی از انرژی وجود دارد که هیچ حالت الکترونیکی برای آنها وجود ندارد (یعنی هیچ Fermions<sup>۱</sup>  
Fermi Function<sup>۲</sup>

Band Gaps<sup>۳</sup>  
Valence Band<sup>۴</sup>  
Conduction Band<sup>۵</sup>

می‌توانند سطح انرژی و مومنتوم خود را عوض کنند یا در واقع می‌توانند به راحتی در این نوار انرژی حرکت کنند و باعث رسانش شوند. دلیل مات بودن رساناها نیز همین است به این صورت که هر فوتونی در ناحیه مری می‌تواند جذب شود و الکترون را به یکی از سطوح انرژی بالاتر ببرد حتی اگر انرژی آن خیلی کم باشد (طول موج آن بلند باشد).

### پرسشگاه: نیمه رساناها موادی با خواصی

بینابین دو گروه قبلی هستند. در نیمه رساناها نوار ظرفیت تقریباً پر و نوار رسانش تقریباً خالی است، زیرا شکاف انرژی دارای عرضی به اندازه تنها چند الکترون ولت (کمتر از شکاف انرژی در عایق‌ها) یا حتی کمتر از ۱ الکترون ولت است. اولین پیامد شکاف انرژی باریک، مقداری هدایت الکتریکی است، زیرا برانگیختگی حرارتی در دمای اتاق نیز باعث انتقال تعداد کمی الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش می‌شود و جمعیتی متناسب از حفره‌ها را در نوار ظرفیت به جای می‌گذارد (حفره به خاطر عدم وجود الکترون، در نوار ظرفیت، به وجود می‌آید). یک میدان الکتریکی اعمالی منجر به تنظیم مجدد جمعیت الکترون‌ها و حفره‌ها در نیمه رسانا می‌شود که جریان الکتریکی را در میدان خارجی به وجود می‌آورد. با این حال توجه داشته باشید که میزان جریان تولیدی توسط نیمه رساناهای مختلف تفاوت زیادی دارد، که عمدتاً به دلیل تفاوت در پهنای شکاف انرژی و تفاوت متعاقب آن در جمعیت الکترون‌ها در نوار رسانش و حفره‌ها در نوار ظرفیت است. نتیجه دیگر این است که فوتون‌ها با انرژی متوسط (به عنوان مثال در ناحیه طیفی قابل مشاهده) می‌توانند باعث انتقال الکترون بین نوارها شوند.

بنابراین، نیمه هادی‌ها (حداقل آنهایی که شکاف نوار انرژی باریکی دارند) مات و تیره به نظر می‌رسند و فقط می‌توانند نور مادون قرمز را عبور دهند. یکی دیگر از نکات تعیین کننده میزان جذب نور در نیمه رسانا و میزان تولید الکترون-حفره نوار مستقیم یا غیرمستقیم بودن شکاف انرژی است.

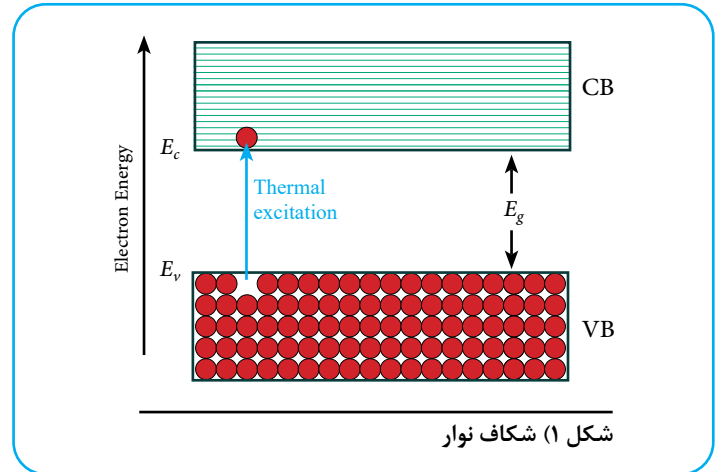
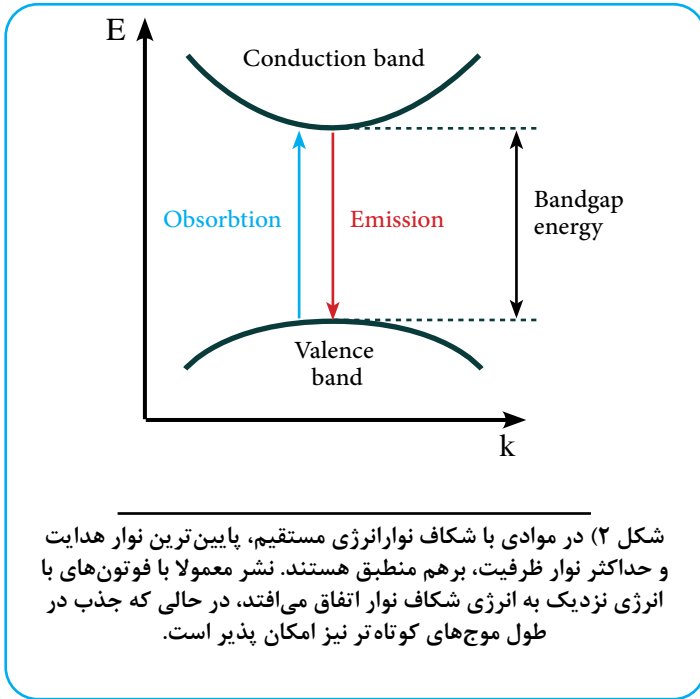
الکترون‌ها می‌توانند با جذب انرژی به صورت نور یا گرما از نوار ظرفیت وارد نوار رسانش شوند. به همین دلیل است که در دمای اتاق نوارهای رسانش و ظرفیت، به ترتیب، "تقریباً" خالی و "تقریباً" پر هستند. البته تعداد الکترون‌هایی که از نوار ظرفیت وارد نوار رسانش می‌شوند به پهنای شکاف انرژی نیز بستگی دارد، بدین صورت که در یک دمای ثابت هر چه پهنای شکاف انرژی افزایش یابد، الکترون‌های کمتری می‌توانند از آن عبور کنند و از نوار ظرفیت وارد نوار رسانش شوند.

### مواد با ساختارهای الکترونیکی متفاوت

خواص الکتریکی و نوری یک ماده وابستگی شدیدی به ساختار الکترونیکی آن دارد:

**هی الکترونیک‌ها:** در بعضی مواد، شکاف انرژی بسیار بزرگ است (با پهنای مثلاً بالاتر از ۴ الکترون ولت)، به طوری که در دمای اتاق تمام نوارها (ترازهای انرژی) زیر شکاف انرژی کاملاً پر و تمام نوارهای انرژی بالاتر از آن کاملاً خالی هستند. اینگونه مواد، دی الکتریک‌ها یا عایق نامیده می‌شوند. آنها عایق هستند، اساساً به این دلیل است که الکترون‌ها انرژی کافی برای عبور از شکاف انرژی و رفتن از نوار ظرفیت به نوار رسانش را ندارند. علاوه بر این، دی الکتریک‌ها به طور کلی نمی‌توانند نور مرئی یا مادون قرمز را جذب کنند، زیرا انرژی این فوتون‌ها برای انتقال الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش کافی نیست. در این مواد، فقط در ناحیه ماوراء بنفش و طول موج‌های کمتر، انرژی فوتون‌های نور برای انتقال‌های بین نوارهای کافی است که باعث جذب فوتون‌ها و انتقال الکترون‌ها از نوار ظرفیت به نوار رسانش می‌شود.

**پرسشگاه:** نقطه‌ی مقابل دی الکتریک‌ها، رساناها هستند. در این مواد بین نوار رسانش و نوار ظرفیت شکاف انرژی وجود ندارد و این دو نوار در هم تنیده هستند. در واقع در این مواد، بالاترین نوار انرژی به صورت کامل از الکترون پر نشده است، بنابراین الکترون‌ها با کمترین انرژی (نوری، حرارتی و غیره)



**شکاف انرژی مستقیم**  
 مستقیم، شکاف انرژی است که بردار  $k$  (نه تنها بزرگی آن، بلکه جهت آن) در بالاترین نقطه نوار ظرفیت همانند پایین‌ترین نقطه در نوار هدایت است. این مطلب مرتبط با انتقال نوری می‌باشد. اینها فقط تغییر جزئی از مقدار بردار  $k$  را شامل می‌شود، زیرا طول موج نوری بسیار طولانی‌تر از مسافت‌های میان اتمی یا دوره شبکه است. در صورت وجود شکاف نوار مستقیم، انتقال نوری به محض اینکه انرژی فوتون از انرژی شکاف نوار فراتر رود امکان پذیر است. چنین فرآیندی یک الکترون را از نوار ظرفیت به نوار رسانش برانگیخته می‌کند در حالی که حفره‌ای (جای خالی الکترون) در نوار ظرفیت به جای می‌گذارد. چگالی حالت‌های اولیه و نهایی به طور معمول فقط در انرژی شکاف نوار بسیار کم است، اما ضریب جذب به سبب افزایش انرژی فوتون به سرعت افزایش می‌یابد. جایی بالاتر از انرژی شکاف نوار، طول جذب می‌تواند به مقیاس میکرومتر کاهش یابد.

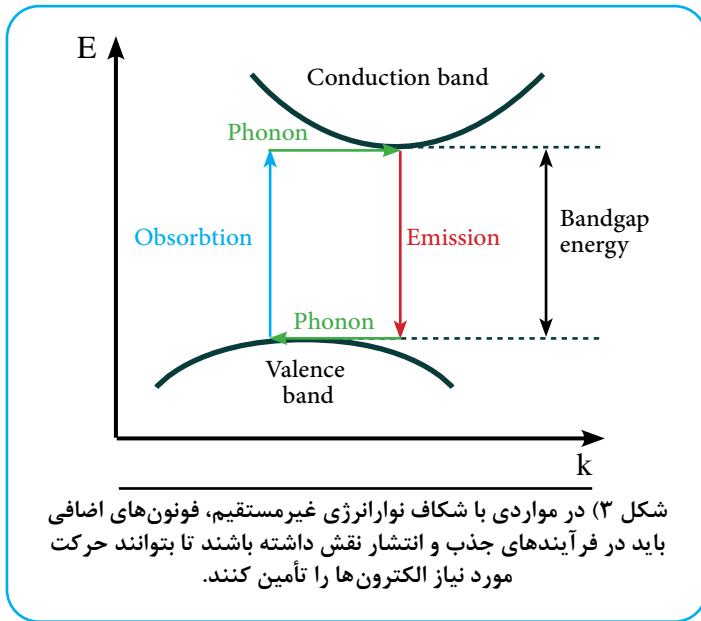
بنابراین، طول نفوذ حامل بار (مسافت متوسطی که هر الکترون و یا هر حفره قبل از باز ترکیب بایکدیگر یعنی بازگشت آن الکترون به آن حفره می‌پیمایند) و زمان آن (زمان نفوذ حامل بار) معمولاً کم است، به عنوان مثال در حدود چند نانوثانیه، حتی اگر ساختار بلوری از کیفیت بالایی برخوردار باشد (با چگالی نقص کم).

نمونه‌هایی از مواد نیمه رسانای با شکاف مستقیم عبارتند از: گالیم آرسنید ( $\text{GaAs}$ )، گالیم آرسنید ایندیم ( $\text{InGaAs}$ )، نیتريد گالیم ( $\text{GaN}$ )، نیتريد آلومینیوم ( $\text{AlN}$ )، سولفید کادمیوم ( $\text{CdS}$ )، سلنید کادمیوم ( $\text{CdSe}$ )، تلورید کادمیوم ( $\text{CdTe}$ )، سولفید روی ( $\text{ZnS}$ )، سولفید سرب ( $\text{PbS}$ ) و سلنید سرب ( $\text{PbSe}$ ).

به طور مشابه، فرایندهای انتشار مربوط به انتقال از نوار هدایت به نوار ظرفیت به راحتی امکان پذیر است، زیرا هر الکترون موجود در نوار هدایت (که معمولاً یکی از پایین‌ترین سطوح آنجا را اشغال می‌کند) می‌تواند حفره‌ای در نوار ظرفیت پیدا کند که دارای  $k$  بسیار مشابه باشد زیرا حفره‌ها به طور طبیعی در بالای نوار ظرفیت ایجاد می‌شوند.

**شکاف انرژی غیرمستقیم**  
 نوار انرژی غیرمستقیم، بردار  $k$  در پایین‌ترین نقطه نوار هدایت تفاوت قابل ملاحظه‌ای با بردار  $k$  در بالاترین نقطه در نوار ظرفیت دارد. در نتیجه، مانع از انجام فرایندهای جذب نوار توسط فوتون تنها می‌شود زیرا فوتون مومنتوم ( $k$ ) ناچیزی دارد که نمی‌تواند الکترون را به پایین‌ترین نقطه نوار هدایت برساند. به عبارت دیگر، نمی‌توان به طور همزمان اصل





سلول‌های خورشیدی همچنین می‌توانند تنها نور با انرژی فوتون بالای شکاف نوار را استفاده کنند. بنابراین، از نور خورشید با طول موج بلند (انرژی پایین) نمی‌توان استفاده کرد. در حالی که این مشکل با استفاده از یک ماده با شکاف نوار انرژی بسیار کم قابل حل است، اما نتیجه آن یک ولتاژ عملی کم، یعنی خروجی انرژی کم خواهد بود. بنابراین شکاف نوار انرژی باید براساس تعادل بین جذب کارآمد نور خورشید (مطلوبیت بالاتر شکاف انرژی باریک‌تر) نوار و خروجی ولتاژ بالا (مطلوبیت بالاتر شکاف انرژی پهن‌تر) انتخاب شود.

بقای انرژی و اصل بقای مومنتوم را تنها توسط یک فوتون تحقق بخشید. بنابراین برای انتقال الکترون در نیمه‌رساناهای با شکاف انرژی غیرمستقیم، علاوه بر فوتون به فونون هم نیاز است که اصل بقای مومنتوم را ارضا نماید (فونون دارای انرژی ناچیز و مومنتوم زیاد است). چنین فرآیندهایی امکان پذیر هستند، اما با سرعت بسیار کمتری اتفاق می‌افتند. بنابراین، ضریب جذب نور بسیار کاهش می‌یابد.

همچنین، وابستگی ضریب جذب به طول موج در نزدیکی شکاف نوار، ضعیف‌تر است. ضریب جذب نور در این حالت نیز به میزان قابل توجهی وابسته به دما است، زیرا درجه حرارت بر جمعیت فونون‌ها نیز تأثیر می‌گذارد. با این حال، با افزایش انرژی فوتون‌ها، انتقال الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش بدون کمک فونون‌ها امکان پذیر می‌شود. در این حالت، ضریب جذب نور شدیداً افزایش می‌یابد.

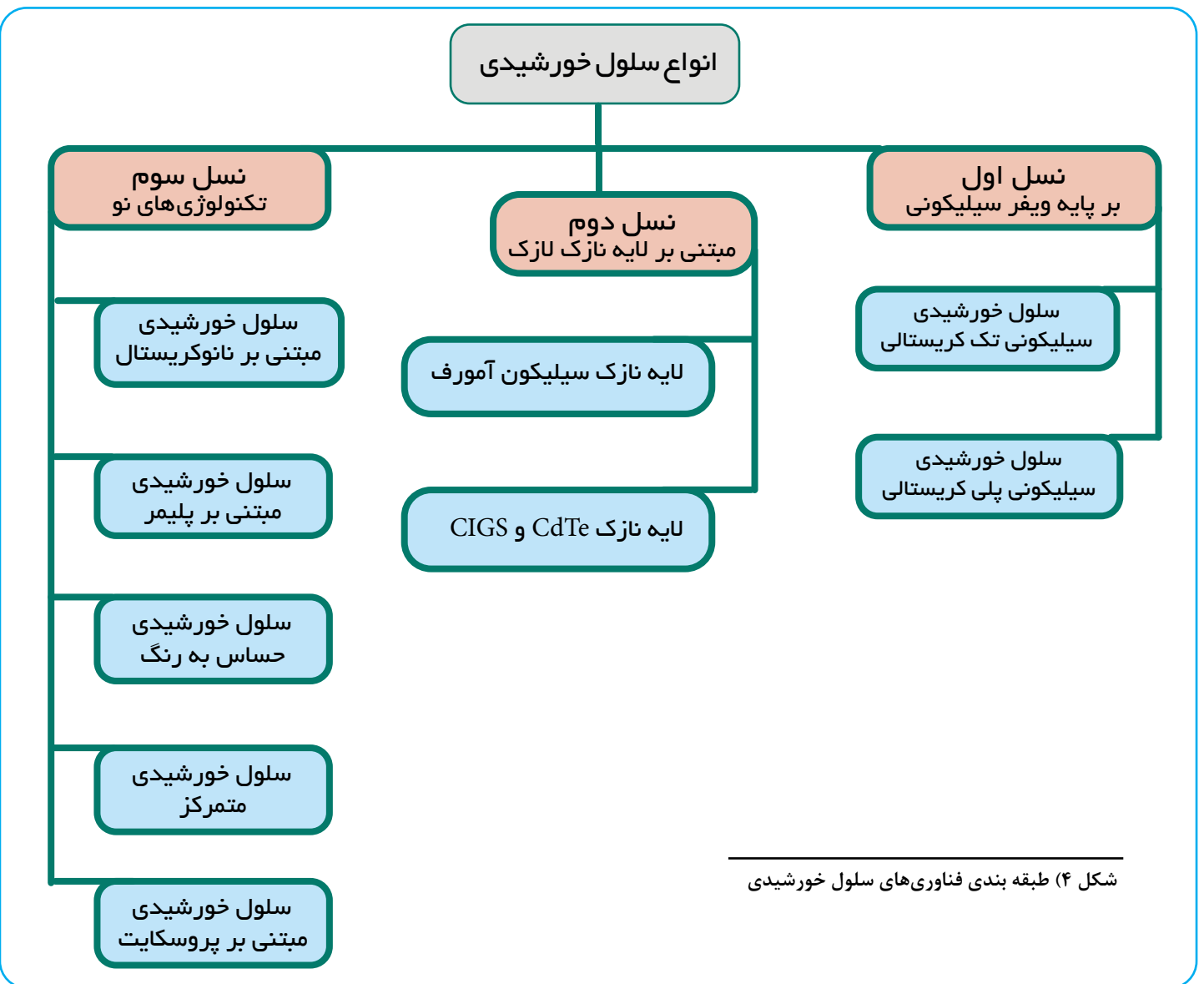
به همین ترتیب، فرآیندهای مربوط به باز ترکیب الکترون-حفره سخت‌تر می‌شوند، مطابق با این واقعیت که یک حامل در نوار هدایت به سختی می‌تواند حفره‌ی با بردار  $k$  مناسب پیدا کند. بنابراین، فرآیندهای نشر فقط با درگیر شدن نشر فونون امکان پذیر است.

نمونه‌هایی از مواد نیمه رسانا شکاف نوار غیرمستقیم عبارتند از سیلیکون (Si)، ژرمانیوم (Ge)، آرسنید آلومینیوم (AlAs) و فسفید گالیم (GaP).

به عنوان مثال، به دلیل کاهش ضرایب جذب، لایه‌های سیلیکون در فوتودودها و سلول‌های خورشیدی نیاز به ضخیم‌تر شدن دارند (غالباً صدها میکرومتر به جای چند میکرومتر). برای سلول‌های خورشیدی لایه نازک، باید از مواد شکاف مستقیم نوار استفاده شود (مثلاً تلورید کادمیوم). همچنین، سیلیکون برای دیودهای ساطع کننده نور<sup>۲</sup> اساساً نامناسب است. به طور کلی، شکاف نوار غیرمستقیم اغلب یک چالش برای ادوات نوری مبتنی بر سیلیکون است.

## انواع سلول خورشیدی

انواع مختلفی از سلول‌های خورشیدی وجود دارد. سلول‌های سیلیکونی مبتنی بر Wafer، ۹۰٪ از سلول‌های خورشیدی را تشکیل می‌دهند. ضخامت سلول‌های خورشیدی سیلیکونی مبتنی بر Wafer تقریباً ۱۸۰-۲۰۰ میکرومتر است. انواع عمده‌ای از مواد سیلیکونی مورد نیاز برای تولید سلول‌های خورشیدی تک کریستالی، چند کریستالی و آمورف سیلیکون، کادمیوم - تلورید، مس-ایندیوم-گالیم-سلنید و مس-ایندیوم-گالیم-سولفید است. طبقه بندی فناوری‌های سلول خورشیدی در زیر نشان داده شده است.



شکل ۴) طبقه بندی فناوری‌های سلول خورشیدی

## سلول های خورشیدی نسل اول

ویفر سیلیکون برای تولید سلول خورشیدی نسل اول مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به راندمان بالای انرژی این فناوری قدیمی ترین اما محبوب ترین فناوری است. سلول های خورشیدی نسل اول بیشتر به ۲ زیر گروه طبقه بندی می شوند:

۱. سلول خورشیدی سیلیکونی منفرد / تک کریستالی.

### سلول خورشیدی سیلیکونی منفرد/تک کریستالی

#### Monocrystalline



Solar panel



Solar cell

۲. سلول خورشیدی سیلیکونی پلی / چند کریستالی.

فرآیند Czochralski برای ساخت سلول خورشیدی تک کریستالی استفاده می شود. در طی این فرآیند، بلورهای Si از شمش های اندازه بزرگ بریده می شوند. هزینه تولید تک کریستال بزرگ که به آن فرآیند "تبلور مجدد" می گویند، بیشتر

است. اگرچه کارآیی سلول های خورشیدی یکپارچه سیلیکونی بین ۱۴ تا ۱۸ درصد است، اما شرکت پیشرو SunPower Corporation (۲۰۱۵) مازول هایی با بازده ۲۰.۴ درصد تولید کرده است که توسط NREL (۲۰۱۵) اندازه گیری شده است.

### سلول خورشیدی سیلیکونی پله کریستالی

#### Polycrystalline



Solar panel



Solar cell

بر خلاف سلول های سیلیکونی تک کریستال که از یک کریستال با جهت گیری مشخص و بدون مرز دانه تشکیل شده اند، سلول های پلی کریستال از تعداد زیادی دانه در جهات مختلف کریستالی که توسط مرز دانه از هم متمایز می شوند، تشکیل شده اند. فرآیند ساخت این نوع سلول خورشیدی با خنک کردن قالب پر از گرافیت انجام می شود که آن را اقتصادی تر می کند. این سلول ها در حال حاضر محبوب ترین نوع سلول های خورشیدی هستند. اگرچه این سلول ها ارزان تر هستند، اما بازدهی آنها به حدود ۱۲ تا ۱۴ درصد رسیده است. تأثیر دما بر کارآیی سلول خورشیدی پلی کریستالی در جدول ۱ نشان داده شده است.

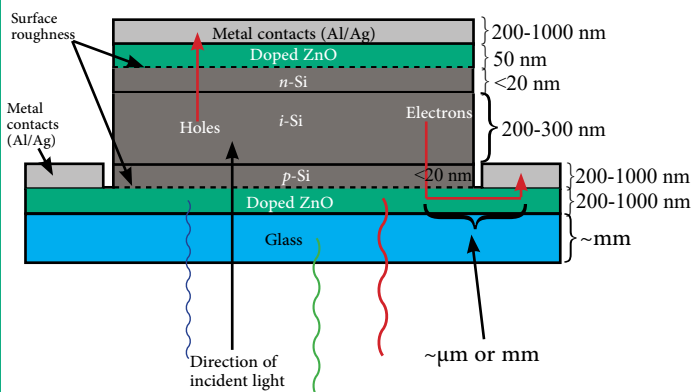
بازده (درصد)	دما (درجه سلسیوس)
۱۴	۸۱
۱۹	۸۳
۲۷	۸۵
۲۱	۸۷
۱۵	۸۹

جدول ۱) تأثیر افزایش دما در بازده سلول های خورشیدی کریستالی Si

## سلول های خورشیدی نسل دوم

این دسته بر اساس فناوری های لایه نازک PV ساخته شده اند و شامل سه خانواده اصلی است: سیلیکون آمورف (a-Si) و میکروآمورف (a-Si /  $\mu\text{c-Si}$ )، کادمیوم-تلورید (CdTe)، مس - ایندیوم - گالیم - سلنید CIGS. سلول های خورشیدی نسل دوم نسبت به سلول های خورشیدی Wafer سیلیکون نسل اول اقتصادی تر هستند. لایه های جاذب نور سلول های خورشیدی نسل اول و سلول های خورشیدی لایه نازک به ترتیب دارای ۳۵۰ میکرومتر و ضخامت ۱ میکرومتر هستند. این نوع سلول خورشیدی دارای شکاف نوار ۱,۴۵ ولت است که توسط بارنت و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. (۲۰۰۱) در صورت وجود سلول های خورشیدی سیلیکونی پلی کریستالی لایه نازک به دلیل به دام افتادن نور و غیرفعال شدن سطح پشت، می توان بازده تبدیل انرژی را بیش از ۱۹٪ بدست آورد. بسیاری از فناوری های PV لایه نازک موجود توسط Powalla و Dimmler (۲۰۰۱) به ویژه فناوری مبتنی بر (CIGS)  $\text{Cu (In,Ga) Se}_2$  مورد بررسی قرار گرفت.

### سلول خورشیدی لایه نازک سیلیکون آمورف (a-Si)



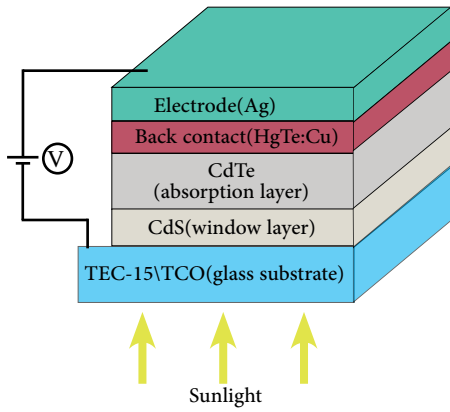
شکل ۵) شماتیکی از سلول خورشیدی سیلیکون آمورف

این سلول ها می توانند در دمای کم تهیه شوند. بنابراین از پلیمر کم هزینه و سایر زیرلایه های انعطاف پذیر استفاده می کنند. در طول فرآیند ساخت قسمت پشتی زیرلایه توسط سیلیکون دوپ شده پوشانده می شود. این نوع سلول های خورشیدی دارای رنگ قهوه ای تیره در سمت بازتاب هستند و رنگ نقره ای آن در طرف رسانا است. بازدهی ناپایدار محدودیت اصلی این سلول ها است. شکل ۵ شماتیک سلول خورشیدی آمورف سیلیکون را نشان می دهد. بیشتر شرکت ها در حال تولید این نوع ماژول ها از محدوده ۵,۹-۹٪ هستند اما شرکت Stion of USA ماژول های a-Si را با بالاترین بازده ۱۳,۸٪ تولید می کند.

### سلول خورشیدی فیلم نازک کادمیوم تلورید (CdTe)

از نظر اقتصادی، تلورید کادمیوم (CdTe) یکی از انواع مهم در بین سلول های خورشیدی لایه نازک است که ارزان تر است و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه است. اتصال p-n دیود بین لایه های سولفید کادمیوم تشکیل می شود.

فرآیند تولید به این شرح است: اولاً سلول های خورشیدی مبتنی بر CdTe از مواد پلی کریستالی ساخته می شوند و شیشه به عنوان زیرلایه انتخاب می شود. دوماً، رسوب با استفاده از روش های مختلف اقتصادی انجام می شود و چندین لایه ی متعدد سلول خورشیدی CdTe روی زیرلایه پوشانده می شود. راندمان آن معمولاً بین ۹/۵ تا ۱۱ درصد است. اما به دلیل سمی بودن کادمیوم که می تواند در بدن انسان، حیوانات و گیاهان جمع شود، مشکلات زیست محیطی زیادی ایجاد می کند. بازیافت بیشتر و دفع Cd سمی نیز به محیط زیست آسیب می رساند.

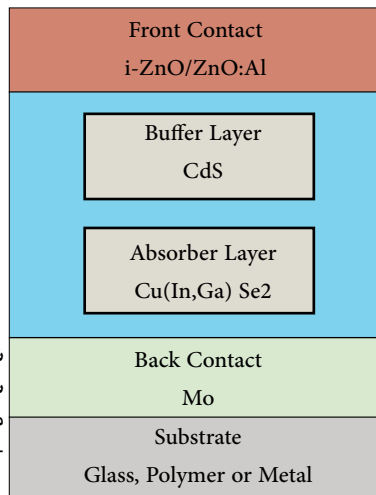


شکل ۶ شماتیک سلول خورشیدی کادمیوم تلورید

برت و فریدیدز (۱۹۹۳)، آراموتو و همکاران. (۱۹۹۷) و وو و همکاران. (۲۰۰۱) راندمان سلول‌های خورشیدی CdTe را حدود ۱۵٪ تا ۱۶٪ بدست آوردند.

بالاترین راندمان سلول خورشیدی CdTe با ۱۷٫۳٪ توسط شرکت First Solar (۲۰۱۱) حاصل می‌شود که توسط NREL تأیید شد. شماتیک سلول خورشیدی کادمیوم تلورید در شکل ۶ نشان داده شده است.

### سلول خورشیدی فیلم نازک کادمیوم تلورید (CdTe)



شکل ۷ شماتیک سلول خورشیدی مس - ایندیوم - گالیم - سلنید - CIGS

این نیمه هادی از چهار عنصر مس، ایندیوم، گالیم و سلنیوم تشکیل شده است. بازدهی CIGS به بازه حدود ۱۰-۱۲ درصد دست یافته است. فناوری مبتنی بر سلول خورشیدی CIGS به دلیل کارایی بالایی از فناوری‌های لایه نازک را تشکیل می‌دهد. لایه نشانی CIGS با روش‌های زیر انجام می‌شود: کندوپاش<sup>۱</sup>، تبخیر، تکنیک پوشش الکتروشیمیایی، چاپ و رسوب پرتو الکترونی. مضر نبودن برای طبیعت و طولانی بودن عمر از مزایای مهم فناوری سلول‌های خورشیدی CIGS است. تأثیر افزایش دما بر کارایی سلول‌های خورشیدی CIGS در جدول ۳ نشان داده شده است. شکل ۷ سلول خورشیدی CIGS را نشان می‌دهد.

بازده (درصد)	دما (درجه سلسیوس)
۱۹٫۷۱	۲۵
۱۹٫۳۰	۳۰
۱۸٫۹۰	۳۵
۱۸٫۵۱	۴۰
۱۸٫۲۱	۴۵
۱۷٫۷۴	۵۰
۱۷٫۳۶	۵۵
۱۶٫۹۸	۶۰
۱۶٫۶۰	۶۵
۱۶٫۲۲	۷۰

جدول ۲) تأثیر افزایش دما بر راندمان سلول‌های خورشیدی مس - ایندیوم - گالیم - سلنید - CIGS

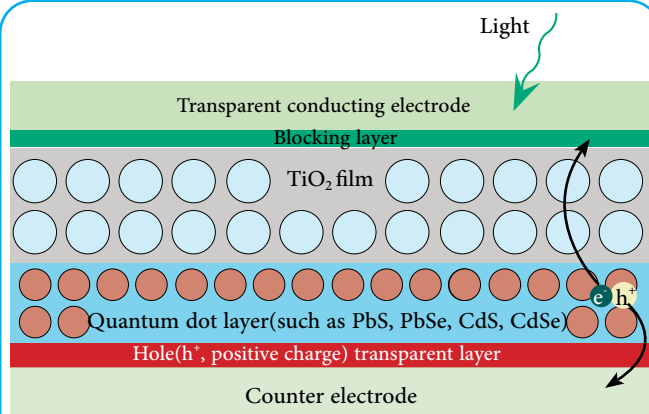
<sup>۱</sup> sputtering

## سلول‌های خورشیدی نسل سوم

این دسته شامل فناوری‌هایی هستند که به دلیل پتانسیل‌هایشان هنوز هم به تحقیقات زیادی نیاز دارند. انواع سلول‌های خورشیدی نسل ۳ توسعه یافته عبارتند از:

۱. سلول‌های خورشیدی مبتنی بر نانو کریستال
۲. سلول‌های خورشیدی مبتنی بر پلیمر
۳. سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ
۴. سلول‌های خورشیدی متمرکز

### سلول‌های خورشیدی مبتنی بر نانو کریستال



شکل ۸) یک طرح کلی از عملکرد Quantum Dots

این سلول‌های خورشیدی به سلول‌های خورشیدی نقاط کوانتومی (Quantum Dots (QD)) هم معروف هستند. نقاط کوانتومی نانوذرات نیمه هادی با اندازه کمتر از ۱۰ نانومتر هستند که در آنها کوانتیزه شدن خواص با اندازه اتفاق می‌افتد. ترکیب عمده سلول‌های خورشیدی QD نیمه رسانا از گروه انتقالی (برای مثال III-V) است. اندازه نانوکریستال‌ها در حدود چند نانومتر متغیر است. شکل ۸ ساختار سلول‌های خورشیدی QD را نشان می‌دهد.

### سلول‌های خورشیدی مبتنی بر پلیمر



این سلول‌ها به دلیل زیرلایه پلیمری که دارند از انواع انعطاف پذیر سلول‌های خورشیدی هستند. سلول‌های خورشیدی پلیمری از لایه‌های عملکردی نازک پی‌درپی پلیمری تشکیل شده است.

محققان به بازدهی بیش از ۷ الی ۱۰ درصد برای سلول‌های خورشیدی پلیمری دست یافته‌اند.

## سلول های خورشیدی حساس به رنگ

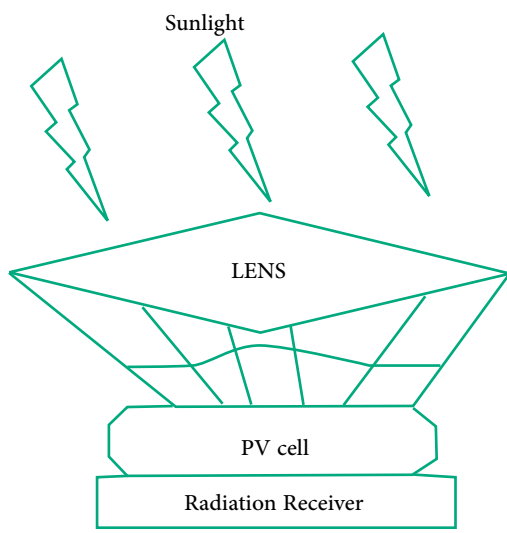
بازده (درصد)	دما (درجه سلسیوس)
۸۰-۷۵	۳۰
۷۱-۶۷	۴۰
۶۷-۶۵	۵۰
۶۷-۶۳	۶۰
۶۳-۵۹	۷۰
۵۹-۵۸	۸۰

جدول ۳) تأثیر افزایش دما بر بازده سلول های خورشیدی حساس به رنگ

اولین سلول های حساس به رنگ یا DSSC<sup>۱</sup> در موسسه پلی تکنیک فدرال لوزان سوئیس معرفی شده است. این سلول ها از چهار مؤلفه تشکیل شده است: الکتروود نیمه هادی، جاذب رنگ دانه، الکترولیت و الکتروود مخالف<sup>۲</sup> (کربن یا پلاتین). روش های ساده فرآیند مانند تکنیک های چاپ، انعطاف پذیری، شفافیت و هزینه کم، DSSC را جذاب می کند. مسائل مربوط به پایداری DSSC از چالش های این نوع سلول ها است. تأثیر افزایش دما بر کارایی سلول های خورشیدی DSSC در جدول ۳ نشان داده شده است.

۱ Dye-sensitized solar cell  
۲ Counter electrode

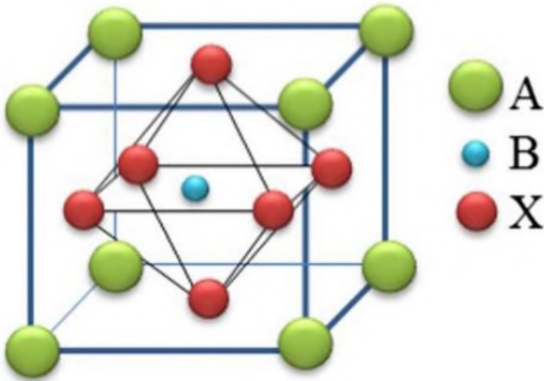
## سلول های خورشیدی متمرکز



شکل ۹) شماتیک سلول خورشیدی متمرکز

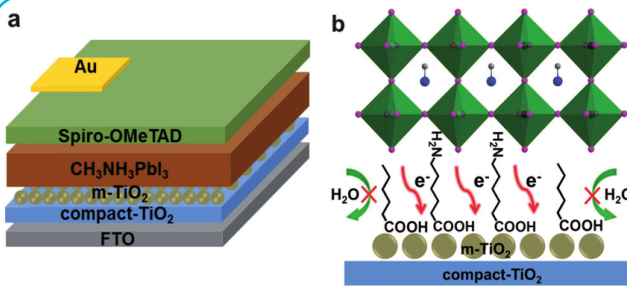
سلول های خورشیدی متمرکز نوع جدیدی از فناوری توسعه یافته هستند. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، جمع آوری مقدار زیادی انرژی خورشیدی و متمرکز کردن این انرژی بر روی ناحیه کوچک، اصل سلول های خورشیدی متمرکز است. از این رو این فناوری توسعه یافته از آینه ها و لنزهای بزرگ برای تمرکز انرژی خورشیدی استفاده می کند. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، تمرکز مقدار زیادی از نور خورشید، مقدار زیادی از انرژی گرما را تولید می کند.

## فن آوري در حال ظهور: سلول خورشیدی مبتنی بر پروسکات



شکل ۱۰ ساختار کریستالی پروسکایت اورتوگونال

سلول های خورشیدی پروسکایت (Perovskite) یک گروه از سلول های خورشیدی هستند که به تازگی توسعه یافته اند و در مقایسه با سلول های خورشیدی فیلم نازک و سیلیکون دارای چندین مزیت هستند. پروسکایت طبقه ای از ترکیبات با فرمول شیمیایی  $ABX_3$  است که در آن X یک آنیون (در سلول های خورشیدی پروسکایت یک هالوژن مانند Cl, Br, I) و A و B کاتیون هایی با اندازه های مختلف را نشان می دهد. شکل ۱۰ ساختار کریستالی مواد پروسکایت را نشان می دهد. در سال (۲۰۱۵) سلول های خورشیدی پروسکایتی که دارای بازده تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی ۹/۹ درصد هستند گزارش شد. در سال (۲۰۱۶) تجزیه و نتایج تحقیقاتی نشان داد که هنگامی که درجه حرارت از ۸۰- درجه سانتیگراد به ۸۰ درجه سانتیگراد افزایش می یابد عملکرد تا ۲۵٪ کاهش می یابد. با توجه به تخریب مواد مورد استفاده در این سلول، راندمان کاهش می یابد. تأثیر افزایش دما در بازده این نوع سلول خورشیدی در جدول ۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۱ شماتیکی از ساختار (a) و عملکرد (b) سلول های خورشیدی پروسکایتی

بازده (درصد)	دما (درجه سلسیوس)
۱۰-۹	۳۰
۱۰-۹	۳۵
۹-۸	۴۰
۹-۸	۴۵
۹-۸	۵۰
۸-۷	۵۵
۹-۸	۶۰
۸-۷	۶۵
۷-۶	۷۰
۶-۵	۸۰

جدول ۵ تأثیرگذاری دما بر راندمان سلول های خورشیدی Perovskite





در این بخش تلاش شد تا مقدمه‌ای بر سلول خورشیدی، صفحات خورشیدی و همچنین لزوم توجه به تامین انرژی پاک بیان شود. همچنین تاریخچه‌ای مختصر از سلول خورشیدی نیز ارائه گردید. در ادامه نیز سعی شد مبانی و اصول فیزیکی سلول خورشیدی به زبان ساده بیان شود و در نهایت انواع سلول خورشیدی و نسل‌های سه‌گانه آن معرفی گردید. ضمن تشکر از شما برای مطالعه مطالب، از شما دعوت می‌کنیم نظرات، انتقادات و پیشنهادات خود را با ما در میان بذارید.

 @FarasoyeMavadUT

 [WWW.FarasoyeMavadsj.ut.ac.ir](http://WWW.FarasoyeMavadsj.ut.ac.ir)

# بخش دوم



## تازه‌های سلول خورشیدی



سارا سرورپور

کارشناسی مهندسی مواد دانشگاه تهران



کیانا رهنما

کارشناسی مهندسی مواد دانشگاه تهران

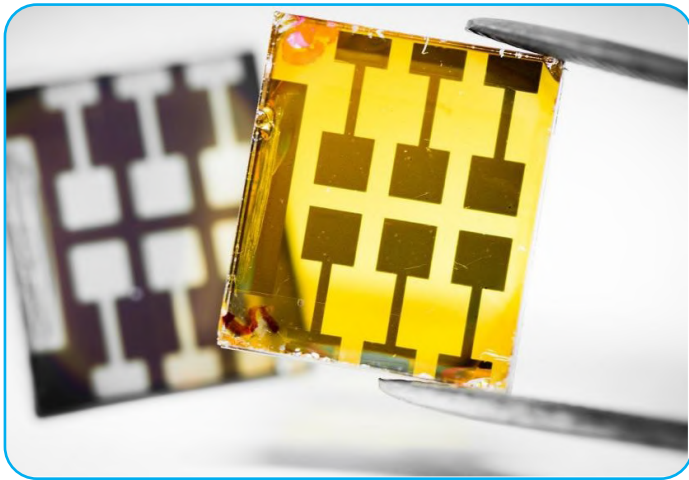


امید رضایی

کارشناسی مهندسی مواد دانشگاه تهران



## سلول های خورشیدی پروسکایت پایدار و غیر سمی



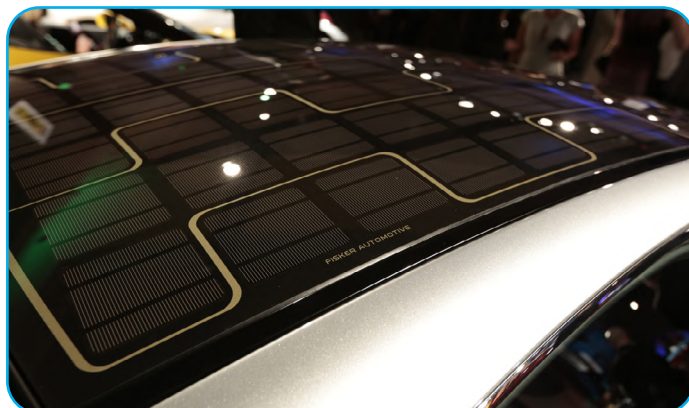
بهترین مواد پروسکایتی شامل سرب سمی هستند که یک خطر برای محیط زیست محسوب می شود. جایگزینی سرب با عناصر با سمیت کمتر، به آسانی ممکن نیست زیرا پروسکایت فاقد سرب، پایداری کمتر و راندمان ضعیفتری دارد. یکی از بهترین جایگزین ها قلع است. پروسکایت هالوژنید حاوی قلع باید ویژگی های نوری خوبی را نشان دهند اما به علت واکنش سریع کاتیون های قلع موجود در ساختار پروسکایت با اکسیژن محیط، بازده آنها در عمل کاهش می یابد.

دانشگاه Soochow چین، مسیری را برای سلول های خورشیدی غیر سمی پروسکایت ایجاد کرده که عملکرد پایداری را در یک دوره طولانی فراهم می کند. آنها به جای سرب از قلع استفاده می کنند و با قرار دادن گروه های آلی در داخل مواد، ساختاری دو بعدی ایجاد کرده اند. همچنین از فنیل اتیل آمونیوم کلرید (PEACI) به عنوان ماده افزودنی لایه های پروسکایت استفاده می شود. در نتیجه عملیات حرارتی، مولکول های PEACI بین لایه های پروسکایت کریستالی جمع شده و از اکسیداسیون کاتیون های قلع جلوگیری می کنند.

## آئودی در حال کاربری قرار دادن سلول های خورشیدی روی سقف ماشین است



این سلول ها از انرژی خورشیدی برای سیستم تهویه مطبوع، سایر کارکردهای الکتریکی و افزایش مسافت پیموده شده استفاده می کند. این شرکت قصد دارند تا پایان سال یک نمونه اولیه خودرو از آئودی با سقف خورشیدی ارائه دهند. در نهایت این شرکت قصد دارند از انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی اولیه استفاده کنند. این شرکت آلمانی تا سال ۲۰۲۵ قصد دارد یک سوم اتوموبیل های خود را با موتورهای کاملاً برقی تولید کند.



## اولین خط راه آهن جهان بانرژی خورشیدی در انگلستان افتتاح می شود

نخستین خط راه آهن جهان که مستقیماً با انرژی خورشیدی کار می کند، امروزه در همپشایر انگلستان راه اندازی شده است. در این طرح انرژی چراغها با واحدی متشکل از حدود ۱۰۰ پنل خورشیدی تأمین می شود؛ همچنین مقدار کمی انرژی برای مسیر نیز فراهم می شود.



## نیروگاه های خورشیدی برای پیش بینی پوشش ابری از ماهواره ها کمک می گیرند

پوشش ابری اغلب به صورت ابری، نیمه ابری یا صاف مشخص می شود. این اطلاعات دقیقی برای برآورد میزان نور خورشید در اختیار نیروگاه های خورشیدی ارائه نمی دهد. یک روش جدید برای تخمین با استفاده از داده های ماهواره ای اخیراً راه اندازی شده است. این تکنیک جدید به عنوان تخمین خاصیت نوری ابر (SCOPE)<sup>۱</sup> شناخته می شود. این ماهواره ها هر یک به چندین ابزار پیشرفته مجهز شده اند که می توانند در طول موج های خاص، تابش پرتوی ناشی از زمین را تشخیص دهند.



روش SCOPE سه خاصیت ابرها را تخمین می زند که میزان نور خورشیدی که به سطح زمین می رسد را تعیین می کند. ابرها توده های شناور از آب تغلیظ شده هستند و اشکال مختلف آب نور را در مقادیر مختلف جذب می کنند و بر عمق نوری ابر تأثیر می گذارند. میزان جذب نور همچنین به طول موج نور نیز بستگی دارد.

در نتیجه با کمک این ماهواره ها می توان میزان نوری که به سلول خورشیدی تابیده می شود و همچنین زاویه تابش نور خورشید را به طور دقیق اندازه گیری کرد که عامل بسیار مهمی در میزان جذب نور توسط سلول خورشیدی و بازدهی آن است. زیرا می توان سلول خورشیدی را به گونه ای تنظیم کرد که بیشترین میزان نور ممکن را جذب کند و بازدهی بالاتر رود.

<sup>۱</sup> Spectral Cloud Optical Property Estimation

## سلول های ضد خورشیدی، سلول فتوولتائیک که در شب کار می کند



یک سلول فتوولتائیک با طراحی خاص می تواند در شرایط ایده آل در شب حداکثر ۵۰ وات انرژی در هر متر مربع تولید کند، حدود یک چهارم میزانی که یک پنل خورشیدی در روز تولید می کند. محققان امیدوارند که توان مصرفی و کارایی این دستگاه ها را بهبود ببخشند.

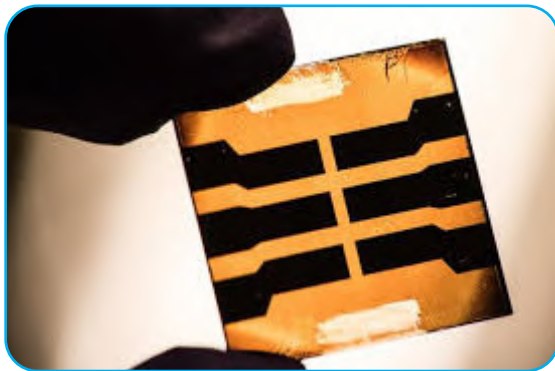
این روند شبیه به روشی است که یک سلول خورشیدی معمولی کار می کند، اما برعکس. جسمی

که نسبت به محیط اطرافش گرم باشد، گرما را به صورت نور مادون قرمز تابش می کند. یک سلول خورشیدی معمولی در مقایسه با خورشید سردتر است، بنابراین نور را جذب می کند.

دستگاه دیگری به نام thermoradiate cell وجود دارد که با تابش گرما به محیط اطراف خود نیرو تولید می کند. این سلول نور مادون قرمز ساطع می کند زیرا از فضای بیرونی گرمتر است.

از آن جا که این نوع جدید از سلول خورشیدی می تواند در طول شبانه روز کار کند، گزینه ای جالب برای تعادل شبکه برق در چرخه شبانه روز است.

## سلول های خورشیدی کارآمد نقاط کوانتومی غیرسمی از نقایص استفاده می کنند



نقاط کوانتومی، نوید یک نوع جدید از سلول های خورشیدی بدون عنصر سمی، ارزان و مقاوم را می دهند که تحمل نقص قابل ملاحظه ای را نشان می دهد. سلول های خورشیدی نقاط کوانتومی جدید، کارایی مشابه دستگاه های مبتنی بر نقاط کوانتومی دارند، اما بدون سرب یا سایر عناصر سمی هستند.

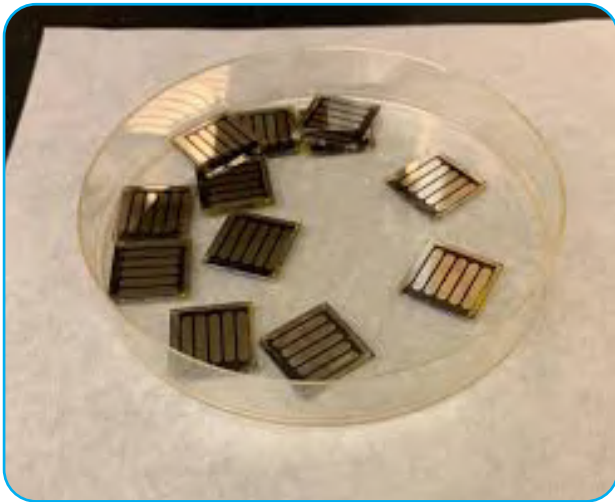
این نقاط کوانتومی علی رغم تأثیر عمیق بر پویایی تابش نور، تغییرات شگفت آوری بر عملکرد فتوولتائیک نشان می دهند که نقص شکاف داخلی مانع آن نمی شود. این حالات شکاف داخلی، به عنوان تله های الکترون سطحی و نقایص به دام افتادن یون مس  $Cu^{+1}$  شناخته می شوند. استفاده از این نقاط کوانتومی سبب کمک به دستیابی به عملکرد فتوولتائیک با بازده ۸۵ درصد تبدیل فوتون به الکترون می شود.

نقاط کوانتومی از دیگر مواد تابش نور متمایز هستند؛ زیرا رنگ آنها ثابت نیست و با تنظیم اندازهی نقاط کوانتومی می توان آن را تنظیم کرد.

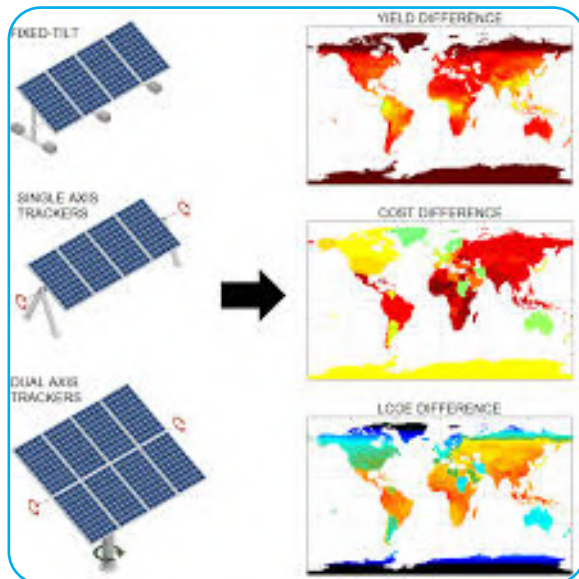


## کافئین باعث افزایش انرژی سلول های خورشیدی می شود

کافئین موجود در قهوه ترکیبی از آلکالوئید است که شامل ساختارهای مولکولی است که می تواند با پیش سازهای مواد پروسکایت تعامل داشته باشد. تلاش های قبلی برای بهبود پایداری حرارتی سلول های خورشیدی شامل افزودن لایه های پروسکایت به وسیله ترکیباتی مانند دی متیل سولفوکسید بود؛ اما محققان برای تقویت بازدهی سلول ها و پایداری آنها در تلاش بودند؛ ولی هیچ کس کافئین را امتحان نکرده بود.



## مقرون به صرفه ترین سیستم های انرژی خورشیدی



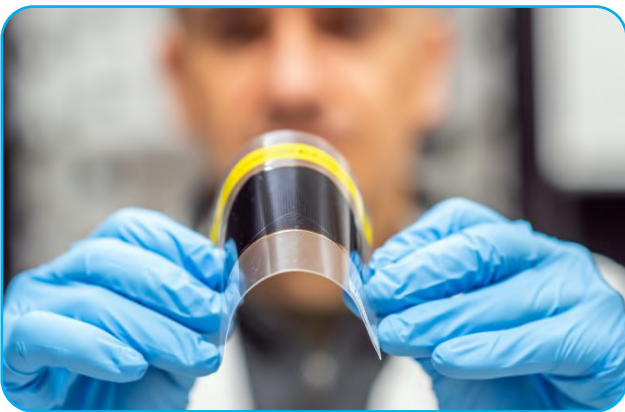
سیستم های خورشیدی با پنل های خورشیدی دو طرفه که نور خورشید را از دو طرف جمع می کنند و فناوری ردیابی تک محورهای که پنل ها را می چرخاند تا بتوانند خورشید را دنبال کنند، تا به امروز مقرون به صرفه ترین سیستم ها بوده اند. این ترکیب فناوریها به طور متوسط حدود ۳۵ درصد انرژی بیشتری نسبت به سیستم های فتوولتائیک تکی غیر متحرک تولید می کنند، در حالی که هزینه برق را بطور متوسط ۱۶ درصد کاهش می دهند.

## سلول های خورشید کارآمدتر زیر آب با مواد بهینه



ممکن است بسیاری از مواد آبی و معدنی وجود داشته باشند که بتوان از آنها برای تحت کنترل درآوردن نور خورشید در زیر آب و ساخت وسایل نقلیه کارآمد استفاده کرد. تحقیقات نشان می دهد که استفاده از انواع نیمه هادی های شکاف پهن باند به جای نیمه هادی های باریک باند در سلول های خورشیدی سنتی سیلیکونی بهترین تجهیزات برای زیر آب هستند.

## سلول های خورشیدی انعطاف پذیر و نازک تر از کاغذ برای ماهواره های آینده



نمونه های اولیه سلول خورشیدی با ضخامت تقریباً ۰,۰۲ میلی متر (نازکتر از موی انسان) ساخته شده اند. این سلول های خورشیدی نازکتر از کاغذ می توانند برای ماهواره های آینده ESA یا دیگر ماهواره های با ارتفاع بالا (HAPS)، هواپیماها یا بالن هایی که برای انجام کارهای ماهواره ای هستند، استفاده شوند.

سلول های خورشیدی سه طرفه و چهار لایه ساخته شده اند. این به این معناست که از سه یا چهار لایه مختلف که بهینه سازی شده اند، تشکیل شده تا از طول موج های مختلفی که طیف نور خورشید وجود دارد، استفاده شود.

# بخش سوم



## ... تا بازار جهانی انرژی خورشیدی

مصاحبه آنلاین با دکتر محمود زنده دل  
مدیر عامل شرکت کیمیا سولار



فاطمه محمودی

کارشناسی مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی همدان



ابوالفضل انوری

کارشناسی مهندسی مواد و کهاد بیوتکنولوژی دانشگاه تهران



با احاطه کامل به مطالب علمی و با موفقیت طی کردن راه آکادمیک، باز هم وقتی صحبت از بازار کار و فناوری پیش می‌آید، دست و فکر از عمل باز می‌ماند و پای مسائل بسیار مهم‌تر و سخت‌تری به میان می‌آید. در این نقطه است که بسیاری از استارت‌آپ‌های تازه فارغ التحصیلان، به شکست منتهی می‌شود و خیلی‌ها در ورود به بازار کار به مشکل برمیخورند.

در اینجا کمی مکث لازم است، کمی تأمل و و جستجو، آموختن توانایی‌های جدید تا بتوان از واژه بازار سر در آورد. به قول استفان کاوی در کتاب ۷ عادت مردمان موثر، آره را تیز کن! در اینجا آره شاید همان تلاش‌های چندین ساله درس خواندن باشد که قصد دارید با آن درخت‌های زیادی را ببرید اما تیغه آن بسیار کند شده است. کمی استراحت کردن و پای تجارب رهروان سابق نشستن، آره شما را تیز میکند. در مطلب پیش رو مصاحبه‌ای داشتیم با دکتر محمود زنده دل مدیرعامل شرکت کیمیا سولار تا از بازار سلول‌های خورشیدی بشنویم. کیمیا سولار یکی از شرکت‌های مطرح و رو به رشد سلول‌های نسل جدید است و در بسیاری از پروژه‌های خارجی و داخلی و لبه علم این فناوری فعالیت دارد.



با عرض سلام آقای دکتر، ممنون

از شما که با وجود اختلاف زمانی چند ساعته‌ای که وجود داشت، زمانی رو در اختیار ما قرار دادید تا بتوانیم از این فرصت استفاده کنیم و کمی با بازار سلول‌های خورشیدی آشنایی پیدا کنیم. هدف ما از این مصاحبه اینست که مخاطبان را با اکوسیستم استارت‌آپی و به طور کلی بازار کار زمینه‌ی انرژی خورشیدی بیشتر آشنا کنیم. ضمن عرض پوزش از عدم مصاحبه حضوری در شرکت به دلیل شرایط حاضر، از این که ما را همراهی می‌کنید سپاس گزاریم.

لطفاً در حد مقدمه‌ای کوتاه از نقطه‌ی آغاز شرکت کیمیا سولار بگویید. شرکت از چه سالی و از کجا شروع به کار کرد؟ آیا شروع شرکت با ایده‌ی استارت‌آپی بوده و یا از مراکز رشد و یا سایر مراکز و اشخاص وابسته به دانشگاه شروع به کار کرده است؟



با عرض سلام مجدد، از سال ۹۳

شرکت راه‌اندازی شد و ایده استارت‌آپی بود. آن زمان دانشجوی سال آخر دکترا بودیم و عملاً وارد مقطع پسادکتر شده بودیم. چهار نفر از دانش‌آموختگان رشته‌های مختلف شیمی گروهی تشکیل دادیم تا کاری که در دوران دکترا توسعه داده بودیم را صنعتی کنیم و موضوع این کار هم سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ بود.



اکنون کیمیا سولار در کجای کار قرار دارد؟ کمی در مورد فعالیت‌های داخلی و خارجی شرکت توضیح دهید.



از زمان تاسیس شرکت، تقریباً ۹ سال

پیش، با فراز و نشیب‌های بسیاری روبه‌رو بوده‌ایم. افراد زیادی به تیم ما وارد شدند و رفتند، سرمایه‌گذاری‌ها و پروژه‌های مختلفی داشتیم و الان می‌توان به اصطلاح گفت جا افتاده‌ایم و نمودار کلیت کار روندی صعودی داشته است. البته هنوز راه درازی در پیش داریم؛ قراردادهای جدیدی امضا کردیم و در حال انجام کارهای تازه‌ای هستیم. در ابتدای کار شرکت، در بهترین گروه‌های اروپا یک سری تکنولوژی جدید در نسل سوم سلول‌های خورشیدی کار کرده بودیم و اصطلاحاً به دانش فنی رسیده بودیم. در ایران باز هم به توسعه‌ی بیشتر کار پرداختیم؛ حتی می‌توان گفت ایده نسبت به اروپا هم توسعه‌ی بیشتری یافت. ایده‌ای که در آغاز کار وارد سیستم ما شد، آمادگی محصول برای ورود به بازار به عنوان یک فناوری خیلی نوظهور بود. برای ورود یک فناوری نوظهور به بازار، اصطلاحاً به سرمایه‌گذاری ریسک‌پذیر نیاز است، چون هیچ سرمایه‌گذاری تا خط تولید محصولی را نبیند و به عبارتی چیزی را لمس



برای راه اندازی کسب و کار در ایران، اصطلاحی وجود دارد که کاملاً هم صادق است برای ایران، اینکه باید کفش آهنی پوشید و شروع کرد. خلاء قانونی و مشکلات زیادی وجود دارد و دوندگی بسیاری دارد، مخصوصاً برای کسانی که به تازگی از دانشگاه فارغ التحصیل شده‌اند و تجربه‌ای ندارند. خود ما هم در آغاز چنین مشکلاتی را داشتیم. اما در طی زمان تجربه کسب می‌شود و اگر افراد باتجربه، جوانانی که ایده‌های خلاقانه دارند را همراهی کنند، می‌توان در زمان کمتر به اهداف رسید. نکته‌ی دیگر اهمیت هدف‌گذاری بالاست. برای مثال، ورود ایده به بازار ایران و امثال این اهداف، کوچک هستند و ناکافی و باید اهداف بزرگ‌تری در نظر گرفته شوند و دید وسیع‌تری داشت.



اگر شما در زمینه‌ی تولید به مشکلات تخصصی برخورد کنید و یا قصد نوآوری و یا ایجاد تغییرات مهندسی داشته باشید، آیا برای رفع مشکل و یا اجرای ایده‌هایتان به دانشگاه مراجعه و از نظرات اساتید و دانشجویان استفاده خواهید کرد؟ و تا چه میزان به اجرای ایده‌های دانشجویان در خط تولید اعتماد دارید و روی آن‌ها سرمایه‌گذاری می‌کنید؟ اگر نمونه‌هایی از این دست وجود داشته است لطفاً ذکر کنید.



حدوداً ۴ سال است که هدف‌گذاری ما روی محصول به صورت دانش فنی است. دانش فنی با سرمایه‌گذاری خود شرکت به مرحله‌ای می‌رسد که سرمایه‌گذار جذب شود. آنگاه سرمایه‌گذار می‌تواند دانش فنی را در اختیار خود گیرد و یا با شرکت ما مشارکت کند و بحث دانش فنی عملاً وابسته به دانشگاه است: وقتی سطح تکنولوژی به مقیاس صنعتی نرسیده باشد، ۸۰ درصد تجربیات دانشگاهی نیاز است و حدوداً ۲۰ درصد با صنعت سروکار داریم. اعضای شرکت ما، خوشبختانه، همه اساتید دانشگاه هستند و همین‌طور همکاری‌های مختلفی با

نکند، سرمایه‌گذاری نمی‌کند؛ حتی به مقدار کم. ما محصولات گوناگونی را تولید کردیم؛ برای ورود به بازار در ایران انعطاف‌پذیری زیادی نیاز است. ابتدا خط تولید پنل‌های خورشیدی حساس به رنگ‌ها، در شکل‌های مختلف و بعد پنل‌های پروسکایتی را راه‌اندازی کردیم. برای بقای کسب و کار احتیاج به درآمدزاییست؛ از همین رو کارهای مختلفی انجام دادیم. ما همکاری‌های مختلفی بصورت پروژه‌ای داشتیم، از شرکت‌ها و هولدینگ‌های نفت و گاز گرفته تا پروژه‌های اپتیک و فوتونیک با صنایع اپتیک و صنایع نظامی ایران.

هر کشوری نهادی دارد برای سرمایه‌گذاری ریسک‌پذیر، یعنی این چنین سرمایه‌گذاری‌ها معمولاً توسط نهادهای دولتی انجام می‌گیرند. اما موانع و قوانین سختی سد راه‌اند و عملاً چنین اتفاقی امکان‌پذیر نیست. به همین خاطر بار سرمایه‌ی اولیه بر دوش خودمان بود و این هزینه‌ها باید از جایی تامین می‌شد. در این مواقع شرکت‌ها باید انعطاف‌پذیری بالایی داشته باشند و از دانشی که دارند بهره‌ی مناسب ببرند. ما پروژه‌های مختلفی که به صورت researched base بودند، فناوری‌های با سطوح مختلف آمادگی فناوری<sup>۱</sup> از TRL<sup>۳</sup> تا TRL<sup>۷</sup> داشتیم و توانستیم از آن‌ها کسب درآمد کنیم. همچنین کارگاهی راه‌اندازی کردیم که بتوانیم دستگاه‌ها و مواد اولیه موردنیازمان را خودمان تامین کنیم؛ و گاهی هم دستگاه و مواد اولیه و محصولات high-tech را به شرکت‌های دیگری که سفارش می‌دادند می‌فروختیم.

Technology Readiness Level ۱



اگر فردی روحیه‌ی کارآفرینی و استارت‌آپی داشته باشد این مسیر برای او چگونه خواهد بود؟ آیا باید دنبال جلب نظر دولت و یا سایر ارگان‌ها برای سرمایه‌گذاری باشد یا از طرف سرمایه‌گذاران خصوصی به اندازه کافی اعتماد برای ورود تازه‌کارها وجود دارد؟ هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه برای ورود به این صنعت چه مقدار می‌باشد؟

احاطه داشته باشد. از طرفی تجربه‌ی عملی در مقاطعی که در لبه‌ی فناوری هستند، می‌تواند تاثیرگذار و اصطلاحاً **bottleneck** سیستم باشد. بنابراین برای ورود به یک تکنولوژی خیلی جدید و بالتبع راه خیلی طولانی و پرفراز و نشیب، نیاز به احاطه‌ی کامل به میحث است؛ زیرا قرار است منجر به ایده‌پردازی از تفکرات و رفع نیاز از سیستم با استفاده از آن دانش شود.



آیا رشته‌های مختلف که به این زمینه مربوط می‌شوند، اولییتی در بازار کار این حوزه دارند؟ مثلاً افرادی که در رشته‌های مهندسی برق یا مواد یا شیمی یا فیزیک تحصیل کرده‌اند، از نظر اولویت تفاوتی دارند؟ افراد متخصص در این زمینه در حال حاضر بیشتر از چه رشته‌هایی هستند؟



فناوری سلول‌های خورشیدی زمینه‌های متفاوت دارد؛ زمینه‌ای مثل سیلیکونی، هم اکنون به حالت پایدار فناوری (اصطلاحاً ماتور فناوری) رسیده است. شرکت‌ها در این مقطع تنها در حال تولید هستند و در رده‌ی اول به فارغ‌التحصیلان مارکتینگ و برندینگ و در رده‌ی بعدی به دانش‌آموختگان رشته‌های فیزیک و مواد نیاز دارند. اما زمینه‌هایی مثل نسل سوم سلول‌های خورشیدی، لایه نازک و... بسیار میان‌رشته‌ای هستند، چرا که محصولات در این فناوری‌ها هنوز به مرحله‌ی تولید انبوه نرسیده‌اند. همچنین در طی زمان کاربردهای مختلف و جدیدی به وجود می‌آید که نیاز به رشته‌های متفاوت خواهد داشت. مثلاً ما در پروژه‌های مختلفی که هم اکنون در اروپا در حال انجام هستند، در کنار تیم باتجره‌ی مارکتینگ، از رشته‌های مختلفی استفاده می‌کنیم؛ از شیمی، فیزیک، مهندسی مواد و صنایع و مهندسی برق گرفته تا رشته‌های مربوط به IOT و کامپیوتر و حتی بایوتکنولوژی که به تازگی خیلی استفاده می‌شود.

دانشگاه‌های اروپایی داریم. مثلاً همین روزها با یکی از بزرگ‌ترین مراکز تولیدکننده‌ی ماژول‌های خورشیدی نسل جدید در رم همکاری داریم. در سوئیس با دانشگاه EPFL، با اساتیدی در آلمان، با دو دانشگاه در اسپانیا، یک دانشگاه در پرتغال و دانشگاه کالج لندن نیز ارتباط داریم و با هم کار می‌کنیم. اکثر این ارتباطات هم با افرادی است که یا از قبل در ایران با هم آشنا بودیم یا از ملیت‌های مختلف هستند. مشهود است که عملاً ۸۰ درصد کار ما با دانشگاه سروکار دارد، ما حتی از امکانات دانشگاهی استفاده‌های زیادی داریم. برای مثال طبق یک قرارداد، توسعه‌ی دانش فنی سلول‌های خورشیدی پروسکایت را با دانشگاه رم انجام دادیم و از امکانات دانشگاهی آن‌ها استفاده کردیم. در واقع سرمایه‌گذاری هوشمندانه‌ای کردیم؛ به جای راه‌اندازی دستگاه و خط تولید و رسیدن به یک دانش مشابه، از بستر موجود در دانشگاه استفاده کردیم. در دانشگاه‌های ایران هم امکانات خوبی وجود دارد که برای پایان‌نامه‌هایی استفاده می‌شوند که درباره‌ی راه‌یابی‌شان به صنعت، تدبیری اندیشیه نشده است. متأسفانه خیلی از صنایع از وجود این امکانات در دانشگاه‌ها مطلع نیستند و به علاوه نمی‌دانند ایده‌های نوین دانشگاهیان می‌تواند موجب تحولات مثبت شود.



اگر فردی در زمینه‌ی سلول‌های خورشیدی یا زمینه‌های مربوط به آن فارغ‌التحصیل شود، آیا بازار کاری برای او وجود خواهد داشت؟ افراد چه خصوصیات و مهارت‌هایی باید داشته باشند تا وارد این بازار شود؟ و بطور کلی شما به چه افرادی توصیه ورود به این بازار را می‌کنید؟



یک سری تکنولوژی‌ها جاافتاده و کاملاً صنعتی هستند؛ افراد برای ورود به آن‌ها زیاد نیاز به تحصیلات دانشگاهی ندارند و ای‌کیو (EQ) بالا اهمیت بیشتری دارد. ولی درباره‌ی تکنولوژی‌های جدید علاوه بر EQ بالا، نیاز به دانش تئوری و دانشگاهی خیلی خوبی است، به طوری که فرد به زیر و بم سیستم



به صورت کلی بحث انرژی خورشیدی هنوز در ایران توسعه نیافته است؛ چه سیستم‌های قدیمی نسل اول و چه نسل‌های جدید و حتی پلنت‌های خورشیدی. در واقع ایران یک ناحیه‌ی بکر در کره‌ی زمین است که بحث انرژی‌های تجدیدپذیر به اون شکل بهش وارد نشده است. ناگفته نماند که طی این سال‌ها روی پلنت‌های خورشیدی کار شده است، اما با هدفگذاری‌هایی که در وزارت و کمیته راهبردی تعیین کرده‌ایم خیلی فاصله داریم. دلیل هم ذخایر نفت و گاز در کشورمان است، ما در ایران انرژی تقریباً مجانی داریم. بنابر همین همه چیز از قبل تر نصب و setup شده است و مدیران هنوز به فکر انرژی تجدیدپذیر برای آینده نیستند. در نتیجه این بحث بیشتر مربوط به سیاست‌گذاریست، در واقع این روندیست که باید از بالا به پایین طی شود و به طور مثال دانشگاه نمی‌تواند تاثیر چندانی بگذارد. در همچنین سیستم‌هایی اگر از بالا بسترهاش ایجاد بشه توی فناوری حتی تمام بچه‌ها و رشته‌هایی که گفتیم، می‌توانند جذب بازار شوند و حتی بازهم نیاز هست که کار بیشتری صورت بگیره و پتانسیلش هست که توسط بچه‌های دانشجو گرفته تا محققین دانش افزوده بشه به سیستم.

مشکل دیگر وضعیت فعلی پژوهش در ایران است؛ پژوهش در ایران خیلی مقاله‌محور است و نهایت رشد یک ایده معمولاً، مقاله شدن آن است و با صنعت فاصله دارد. حتی مقالاتی هم که هدف‌گذاری می‌کنند، هدف‌گذاری بالا ندارند. البته خود ما هم در شرکت روی مقالات کار می‌کنیم، ولی مقاله‌های کم‌ارزش نداریم. یعنی روی مباحثی انرژی می‌گذاریم که پتانسیل ورود به بازار را دارند و اصطلاحاً **open access** هستند. در اروپا پلنی (**plan dissemination and exploitation**) وجود دارد تحت عنوان **exploitation**، و دانشگاه‌های ما در این زمینه که چگونه یک دانش را وارد این پلن کنند، بی‌تجربه‌اند. از نظر من نیاز است که روی این زمینه، توسط محققان و اساتید کار انجام گیرد.



اگر امکانش هست درباره‌ی بحث بایوتکنولوژی کمی بیشتر توضیح دهید.



بعد از تبدیل انرژی خورشیدی، این انرژی باید ذخیره شود. بحث امروز دنیا ذخیره‌ی انرژی به بهترین نحو یعنی به صورتی‌ست که پایدار باشد. بحث ذخیره‌ی شیمیایی مطرح است که به روش‌های الکتروکاتالیستی یا روش‌های بایوتکنولوژی قابل انجام است و ما در پروژه‌ها از هر دو استفاده می‌کنیم. ذخیره در باتری عملاً پرهزینه و با افت انرژی همراه است و بنابراین روش‌های بایوتکنولوژی بهترین شکل ذخیره‌اند که می‌توان گفت ایران هنوز وارد این زمینه نشده است. حدود یکسال است که در چند پروژه‌ی اروپایی کویپل کردیم کارهامون رو (همکاری داریم) و این پروژه‌ها در واقع بین‌رشته‌ای هستند. سرمایه‌گذار اتحادیه‌ی اروپاست و ایده‌های نوینی دادیم؛ به این شرح که انرژی خورشید از طریق سلول‌های نسل جدید تبدیل و بعد منتقل می‌شود به یک سیستم بایوتکنولوژی، و ما سیستم‌های بایوفیلم توسعه داده شده‌ای داریم که کار ذخیره‌ی این انرژی را انجام می‌دهند.



سوال دیگر در رابطه با متخصصانی‌ست که در این زمینه فعالیت می‌کنند؛ آیا در ایران افراد متخصص کافی داریم؟ آیا دانش لازم برای کار در این زمینه را دارند؟ و این که این فضا برای جذب افراد بیشتر هنوز اشباع نشده است یا هستند متخصصان کاربلدی که شغل ندارند؟ در حوزه‌ی فعالیت شما کدام درست‌تر است؟



تا آن جایی که من به یاد دارم، در ششمین دوره مجمع اقتصاد نانو، پنل گفت‌وگویی بود با موضوع نقش نانوفناوری در بازار انرژی خورشیدی و در آن به این موضوع اشاره شد که کشوری مثل ایران نیز پتانسیل ورود به بازار رقابتی نسل سوم سلول‌های خورشیدی را دارد و حتی می‌تواند در سطح جهانی حرفی برای گفتن داشته باشد. در حالی که می‌دانیم بازار سلول‌های نسل اول در دست چین است و حتی اروپا و آمریکا هم قدرت رقابت با چین را ندارند. کمی این موضوع را شرح می‌دهید که چگونه ایران می‌تواند در نسل جدیدتر یک فناوری توانایی ورود و رقابت در چنین بازاری را داشته باشد؟



را خود به دست آورد: مواد اولیه را کامل تهیه و زنجیره‌ی ارزشش را ایجاد کند؛ آن زمان است که در بازار می‌تواند حرفی برای گفتن داشته باشد. نسل سوم بازارهایی خاصی دارد که نسل سیلیکونی اصلاً امکان ورود به آن را ندارد. این روزها اروپا برای توسعه‌ی نسل سوم، با تاندم‌های پروسکات سیلیکون و از این دست موارد، تلاش دارد سرمایه‌گذارهای سیلیکونی را جذب کند که سیلیکونی کم‌کم به نسل سوم منتقل شود. اشاره شد که فناوری‌هایی مانند سیلیکونی یا باید مثلاً تا سال‌های ۲۰۲۵ یا ۲۰۳۰ کامل کنار گذاشته شده و یا با نسل‌های دیگر همراه شوند. در اروپا نقشه راهی (road map) برای پروسکات تهیه شده است که کشورها بر اساس آن پیش می‌روند و این نقشه راه نشان می‌دهد در طی سالیان باید به چه مرحله‌ای برسند، مثلاً در سال ۲۰۲۵ پروسکات را به مرحله‌ی ورود به بازار برسانند و... ولی در ایران اگر بتوانیم ریسک‌پذیری در مدیران و سرمایه‌گذاران را بالا ببریم و به طور جدی به این فناوری بپردازیم و سرمایه‌گذاری کنیم، می‌توانیم این زمان را بخریم و در واقع از راه میان‌بر استفاده کنیم. داستان فناوری نانو در ایران نیز همین میان‌بر است؛ در سال ۲۰۰۰ نتیجه‌گیری شد که ایران برای ورود یک سری از فناوری‌ها حرفی برای گفتن ندارد، بنابراین روی فناوری نانو که عملاً لبه‌ی فناوری بود، سرمایه‌گذاری شد (هر چند در سطح جهانی سرمایه‌گذاری چشم‌گیری نبود اما در ایران جواب داد). و امروز می‌بینیم، حداقل از لحاظ اسمی، ایران در فناوری نانو در مقام چهارم دنیا است. در نتیجه ایران چون هنوز فناوری را توسعه نداده است، بهتر است از راه میان‌بر وارد شود و روی بالاترین سطح فناوری سرمایه‌گذاری کند.

بله همان طور که اشاره کردید با وجود آمدن تکنولوژی سلول‌های خورشیدی، کشورهای اروپایی (آلمان، ایتالیا و...) و آمریکا تولیداتی داشتند؛ بعد چین وارد بازار شد و عملاً کل بازار را در اختیار گرفت. اما با دقت بیشتر روی نمودارهای فناوری می‌توان متوجه شد که شرکت‌هایی که صاحب آن تکنولوژی بودند، آن را به چین فروختند. در واقع آمریکا و اروپا منفعت بردند. به طور مثال آمریکا بر این موضوع واقف بود که تکنولوژی سیلیکون به حالت پایدار یا ماتور فناوری رسیده است، یا باید تغییر کند تا نزول نداشته باشد و یا باید به سمت نسل‌های آینده حرکت کند و در همان زمان بود که سرمایه‌گذاری هنگفتی روی شرکت First Solar در نسل دوم کرد. هیچ‌کس در آن زمان جرئت نداشت روی نسلی که عناصر بسیار کمیاب استفاده می‌کند و بحث‌های زیست محیطی مطرح است بپردازد و سرمایه‌گذاری کند؛ اما می‌بینید که شرکت First Solar سالیانه تولیدی در حدود ۲,۵ گیگاوات دارد و با قیمت بالاتر در بازار می‌فروشد.

همان طور که پیش‌تر گفتم ایران هنوز وارد بحث فناوری انرژی خورشیدی نشده است. البته جدیداً شنیده‌ام یک واحد تولید سیلیکونی، که خط تولیدش کامل از چین خریداری شده است، به تازگی برای تولید پنل راه اندازی شده است. وقتی شما فعالیت و تولید در زمینه‌ی نسلی که به حالت ماتور رسیده است را از صفر شروع کنید، باید تابع پیش‌گامان باشید و از لایسنس آن‌ها استفاده کنید و فقط حق لایسنس بدید، یعنی عملاً نیروی کارگر باشید و سود کمی بدست آورید.



اما اگر هم آن فناوری هنوز جای توسعه یافتن دارد، کشور در حال توسعه‌ای مثل ایران می‌تواند صاحب آن فناوری شود اگر از صفر تا صد فناوری




به عنوان سوال آخر، چه توصیه‌ای برای دانشجویان به خصوص دانشجویان مهندسی مواد دارید برای ورود به بازار کار؟ (با توجه به اینکه واحدهای کارشناسی اطلاعات چندانی در این زمینه نمی‌دهد و دانشجویان از طریق پروژه کارشناسی و یا در مقاطع بالاتر می‌توانند به این مبحث ورود کنند.)



در مورد دانشجویان رشته‌های مختلف، حالا رشته مهندسی مواد که خیلی میتونه جاهای مختلفی زمینه کاری داشته باشه و همینطور در مقاطع مختلف. به نظر من موفقیت دانشجو قبل هر چیزی بستگی داره به اینکه در رشته‌ای که داره تحصیل میکنه، ورودش آیا با علاقه بوده یا خیر این خیلی نکته مهمی ست. مورد دوم؛ سیستم مغز انسان ارتقاع پیدا می‌کنه، یعنی شما امروزتون با فرداتون فرق میکنه گره‌های جدیدی در مغز ایجاد میشه. ممکنه شما الان یک چیزی رو علاقه‌مند باشید که ۵ سال پیش اصلا بهش علاقه نداشتید باشید. درباره‌ی دانشجویان کارشناسی می‌تونم بگویم، اگر به واحدی درسی یا مبحثی در آن علاقه‌مند می‌شوند، وارد آن مسیر شوند و اطلاعات کسب کنند و فعال باشند؛ اگر جست‌وجو، مطالعه، کار آزمایشگاهی و هر فعالیتی در آن زمینه، حس خشنودی و ارضا و بیشتر خواستن را درونشان به وجود می‌آورد، بدانند در آن مسیر خوش حال خواهند بود. ولی باید توجه کرد که نمی‌توان سریعاً به درآمدزایی و حالت پایدار رسید. و این نکته نیز مهم است که جوانان خیلی وقت‌ها نمی‌دانند چه کارهایی را باید انجام ندهند، همیشه باید از متخصصانی که قبلاً مسیر را طی کرده‌اند و افراد باتجربه، در هر زمینه‌ای، مشاوره گرفت. و در آخر می‌گویم دنبال خواسته‌هایتان بروید، اگر علاقه وجود داشته باشد و ذهنتان راضی باشد، می‌توانید سختی‌ها را تحمل کنید.



شرکت کیمیا سولار اسپادانا با مشارکت جمعی از فارغ التحصیلان دکتری تخصصی و اعضای هیئت علمی دانشگاه در رشته‌های شیمی، مهندسی الکترونیک، مهندسی مواد و مدیریت استراتژیک انرژی در اواخر سال ۱۳۹۳ آغاز به فعالیت نموده است. از جمله اهداف ترسیم‌شده در آغاز شکل‌گیری این شرکت تولید علم و فناوری‌های نوین در زمینه انرژی‌های تجدید پذیر و تجهیزات هوشمند فوتوالکتروشیمیایی و فوتونیک‌ی نظیر: سلول‌های خورشیدی، OLEDها و سلول‌های الکتروکرومیک آغاز نموده است. در این بخش قصد داشتیم با دکتر محمود زنده‌دل مدیر عامل محترم شرکت کیمیا سولار مصاحبه‌ای درمورد بازار کار سلول خورشیدی و چگونگی شکل‌گیری این استارت‌آپ داشته باشیم.



   @FarasoyeMavadUT

 [WWW.FarasoyeMavadsj.ut.ac.ir](http://WWW.FarasoyeMavadsj.ut.ac.ir)

# بخش چهارم

## چند و چون ایلا



مبین زربو

کارشناسی مهندسی مواد دانشگاه تهران





این روزها حتی اگر دانشجویی به فکر اپلای نباشد، اسمش حتماً به گوشش خورده است! با این وجود می‌توان گفت جنبه‌های خوب و بد تحصیل و زندگی در خارج از کشور، آن‌چنان که باید، بررسی نمی‌شوند و معمولاً افراد از شنیده‌های پراکنده‌شان، اطلاعات پراکنده‌ای دارند؛ با صرف کمی وقت و حوصله و خواندن این بخش و بخش‌هایی دیگر از این شماره‌ی نشریه، اطلاعاتی جامع و دسته‌بندی‌شده را راجع به این مستحب تحصیلی (بر وزن واجب شرعی!) کسب می‌کنید.

▣ **انگیزه‌نامه (SOP):** مهم‌ترین مدارک شماست؛ چون امکان مصاحبه‌ی حضوری نیست، انگیزه‌نامه معرف شما خواهد بود. در SOP باید انگیزه‌تان از پذیرفته شدن در دانشگاه و رشته‌ی موردنظر را با دلایلی محکم بیان کنید. متن را دقیق و در عین حال دوستانه بنویسید؛ سعی کنید روایتتان به شکل داستان بیان شود، فعالیت‌های مرتبطتان را پررنگ‌تر و از اعداد و ارقام استفاده کنید. بزرگ‌نمایی می‌تواند ایده‌ی خوبی باشد، ولی در چهارچوب منطق و نه بیش از حد.

▣ **توصیه‌نامه:** توصیه‌نامه مدرکی است که مهارت‌های شما را تایید می‌کند و معمولاً توسط اساتید برای دانشجویان تهیه می‌شود. متن توصیه‌نامه و نگارنده‌ی آن حائز اهمیت‌اند.

▣ **ریزنمرات:** علاوه بر معدل کل، نمرات دروس تخصصی و معدل سال آخر بسیار موردتوجه قرار می‌گیرند.

▣ **مدرک زبان:** آیلتس یا تافل؟ مسئله این است! برخی دانشگاه‌ها یکی از این دو و برخی هر دو را معتبر می‌دانند، که در این صورت با مطالعه و بررسی تفاوت‌های این دو آزمون و توانایی‌های شخصی‌تان، باید یکی را انتخاب کنید. به علاوه آزمونی تحت عنوان GRE هم وجود دارد که برای گرفتن پذیرش از برخی دانشگاه‌ها، مانند دانشگاه‌های

به طور خلاصه شرایط مالی، رزومه تحصیلی، علاقه و... انتخاب‌های شما را ابتدا بین کشورها و سپس دانشگاه‌ها محدود می‌کنند. در واقع پس از انتخاب کشور (و یا کشورهای) مقصد، با توجه به مدارک و شرایط موردنیاز هر دانشگاه، که در سایت آن‌ها قابل دسترسی است، دانشگاه و یا دانشگاه‌های مقصد را نیز انتخاب می‌کنید. در ادامه با جزئیات بیشتری از این فرآیند آشنا خواهید شد.

▣ **پیشنهاد می‌کنیم قبل از شروع به قسمت واژگان مرتبط با فرآیند اپلای رجوع کنید.**

## مدارک موردنیاز برای اپلای

▶ **آپلای** یک فرآیند رسمی و قانونی هست که با توجه به دانشگاه و کشور مقصد پروسه متفاوتی رو در پیش خواهید داشت.

مدارک موردنیاز شما بسته به دانشگاه مقصد متفاوت خواهند بود، در این قسمت این مدارک به طور کلی معرفی می‌شوند:

▣ **CV** یا رزومه: **CV** اطلاعات شخصی شماست با جزئیات، که غالباً به عنوان معرفی‌نامه تحصیلی مناسب است. اما رزومه گلچینی از CV با موضوعی خاص و محدودتر است. مثلاً برای کار در شرکت الکترونیکی، شما یک رزومه مرتبط با تجارب و مهارت‌های الکترونیکی خود ارائه می‌دهید.



و چرا شما فردی مناسب برای آنها هستید؛ عنوان ایمیلتان نیز باید جذاب باشد تا جلب توجه کند و حتما رزومه خود را ضمیمه کنید.

□ در کانادا معدل مهم‌تر از دانشگاه است و حتی محصولای گل دانشگاه آزاد هم دیده شده که فاند کامل گرفتن. تحصیل در کانادا با ویزای تحصیلی ۱۶-۲۵ هزار دلار هزینه دارد و هزینه‌های زندگی هم برای ۱ نفر بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ دلار آب میخورد، حتی اگر اقامت آنجا (PR) داشته باشید ارزان‌تر میشود اما رایگان نه.

□ تحصیل در کانادا با ویزای تحصیلی، ۱۶ تا ۲۵ هزار دلار هزینه دارد و هزینه‌های ماهیانه‌ی زندگی هم برای یک نفر بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ دلار است، اگر اقامت (PR) داشته باشید، این هزینه‌ها کمتر می‌شود اما رایگان نه. به این نکته نیز توجه کنید که برای دانشگاه‌های کانادا معمولاً معدل مهم‌تر از دانشگاه مبدا است.

□ هزینه‌های تحصیلی در آمریکا ربطی به شهر نداشته و با توجه به دانشگاه موردنظر متغیر است، تفاوتی برای دانشجویان داخلی یا خارجی ندارد و به طور میانگین ۲۰۰۰۰ دلار خواهد بود. اما هزینه‌های زندگی به شهر محل زندگی وابسته است، شهرهای معروف مثل نیویورک و ماساچوست نسبت به شهرهای جنوبی مانند تگزاس و می‌سی‌سی‌پی گران‌ترند. هزینه‌های ماهیانه‌ی زندگی در نیویورک برای یک نفر حداقل ۲۰۰۰ دلار ولی در شهرهای دیگر حدود ۱۰۰۰ دلار است.

□ پذیرش در استرالیا به نسبت سخت‌تر است ولی شانس خود را امتحان کنید، نمره‌ی آیلتس ۷ به بالا تاثیر خوبی خواهد گذاشت.



آمریکا، ملزم به ارائه نتیجه آن هستید. برای بررسی مدارک ارسالی، باید هزینه‌ای به دانشگاه مقصد پرداخت شود؛ برای صرفه‌جویی در هزینه‌هایتان در انتخاب دانشگاه (با توجه به مدارک و شرایط موردنیاز) دقت کنید.

□ توجه کنید که آپلای یک فرآیند رسمی و قانونی‌ست، بنابراین با توجه به دانشگاه و کشور مقصد پروسه‌های متفاوتی را پیش رو خواهید داشت. در ادامه به تفکیک کشور این فرآیند بررسی شده است.



## آپلای برای کشورهای مختلف

### آمریکا، کانادا و استرالیا

□ از آن جایی که این کشورها استادمحور هستند، (یعنی قبل از اقدام برای گرفتن پذیرش از دانشگاه بهتر است استاد موردنظرتان را پیدا و با او مکاتبه کنید) ابتدا به روش‌های پیدا کردن اساتید و سپس نکات مکاتبه با آنها می‌پردازیم:

**روش اول:** از قسمت هیات علمی (Faculty Members) سایت دانشگاه موردنظرتان، استادی که زمینه تحقیقاتش را دوست دارید و مرتبط با شماست را پیدا و با او (معمولاً از طریق ایمیل) ارتباط برقرار کنید.

**روش دوم:** با وارد کردن کلیدواژه‌های پژوهش‌هایتان در Google Scholar، به جدیدترین مقالات مرتبط دسترسی خواهید داشت؛ وارد صفحه شخصی نویسندگان آنها (که معمولاً اساتید دانشگاه و دانشجویان هستند) شوید و استاد موردنظرتان را پیدا کنید.

□ در ارسال ایمیل باید دقت ویژه‌ای خرج کنید چون شانس شما از اینجا شکل می‌گیرد، به هر استاد وقت کافی اختصاص دهید و متنی خاص بنویسید، به آنها بفهمانید که مقاله‌شان را خوانده‌اید



دارند. به علاوه بسیاری از رشته‌ها در مقطع کارشناسی ارشد یک ساله و بدون پایان‌نامه به اتمام می‌رسند که این ادامه راه را سخت می‌کند.



**سوئیس، هلند، دانمارک، انگلیس، سوئد، فنلاند**

برای تحصیل در این کشورها شهریه‌های سنگینی را متحمل می‌شوید. البته که با داشتن معدل مناسب (مثلاً بالای ۱۷) فاند قابل توجهی به شما تعلق می‌گیرد. شایان ذکر است که دانشگاه‌ها در این کشورها بودجه مالی بالایی دارند و اگر پرتلاش باشید می‌توانید با بورسیه، هزینه‌های خود را پوشش دهید؛ در باب مقایسه گرفتن بورسیه در انگلستان از بقیه‌ی کشورها مشکل‌تر است. در ارشد با رزومه متوسط می‌توان به دانشگاه‌های خوب اپلای کرد اما باید توان مالی متناسب را هم در نظر گرفت.

## نکات که باید توجه کنید

❑ در همه دانشگاه‌ها جدا از کار پاره وقت، می‌توانید به عنوان TA یا RA فعالیت کنید و درآمد خوبی کسب کنید.

❑ دانشگاه‌های خارج از کشور هم دو ترم تابستان (شروع از March / اسفند) و زمستان (شروع از Oc- / tober / مهر) دارند و شانس پذیرش دانشجوی در ترم زمستان بیشتر از تابستان است.

❑ زمان‌بندی خود را طوری تنظیم کنید که یک سال زودتر از شروع تحصیل، دانشگاه مورد نظرتان را پیدا و مکاتبه با استاد را هم آغاز کرده باشید. مدرک زبان را نیز فراموش نکنید، نتیجه‌ی آزمونتان باید نهایتاً تا مهر یا آبان سال قبل از پذیرش آماده باشد.

❑ معدل پایین می‌تواند با مقاله و نمره‌ی خوب زبان جبران شود.

❑ برای اطلاعات دقیق‌تر به این سایت رجوع کنید:

[scorize.com](http://scorize.com)

❑ دقت داشته باشید که "هیچ جای دنیا کشور خود آدم نمی‌شه!" در مقاله‌های بعدی نشریه به چالش‌های اپلای می‌پردازیم، مطالعه‌ی آن‌ها خالی از لطف نیست.

## آلمان

تحصیل در آلمان رایگان است و تنها هزینه‌های شما در این کشور فعال اقتصادی، مربوط به زندگی‌تان می‌باشد. حداقل این هزینه‌ها ۴۵۰ یورو در ماه است که می‌توان با گرفتن شغل پاره‌وقت، بخشی از آن را جبران کرد. یادگیری زبان آلمانی برای ماندن در این کشور و تحصیل در بسیاری از رشته‌ها ضروری‌ست.



## ایتالیا

اگر معدل پایینی دارید این کشور گزینه‌ی مناسبی برای شما خواهد بود. دانشگاه‌های این کشور شهریه‌ای بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ یورو در سال دارند اما هزینه‌های زندگی در ایتالیا از آلمان کمتر است. برای پیدا کردن پروگرام‌های انگلیسی در ایتالیا به سایت **Universitaly** مراجعه کرده و گزینه‌ی **Course in English** را بزنید.

## نروژ

دانشگاه‌های نروژ به ندرت شهریه دارند و هزینه‌های اپلای هم در این کشور به نسبت کمتر است. حداقل معدل برای گرفتن پذیرش از دانشگاه‌های نروژ ۱۵ می‌باشد.

## اتریش

شرایط مشابه آلمان را داراست و برای افراد با وقفه تحصیلی مناسب‌تر است، چون اتریش برای ویزا به وقفه تحصیلی حساس نیست. اما برنامه‌های انگلیسی کمتری نسبت به آلمان وجود خواهد داشت.

## فرانسه

فرانسه گزینه‌های رایگان انگلیسی زیادی ندارد و اکثر فرصت‌های تحصیلی در این کشور شهریه



# بخش بنجم

## بخش معرفی استاد و آزمایشگاه

آزمایشگاه مواد و کامپوزیت های نانو ساختار



سارا سرورپور

کارشناسی مهندسی مواد دانشگاه تهران





دانشکده مهندسی مواد دانشگاه تهران، مهد آزمایشگاه‌های بزرگ و پیشرفته در زمینه مهندسی مواد و متالورژی در ایران است. یکی از این آزمایشگاه‌ها، آزمایشگاه مواد و کامپوزیت‌های نانوساختار است. سرپرست این آزمایشگاه پروفسور حسین عبدی‌زاده می‌باشد و دکتر محمدرضا گل وبستان فرد بعنوان مسئول آزمایشگاه و پژوهشگر ارشد پسا دکتری در این آزمایشگاه فعالیت دارند.

زمینه‌های فعالیت این آزمایشگاه بر روی سلول‌های خورشیدی نانوساختار، سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ، سلول‌های خورشیدی نقاط کوانتومی، سلول‌های خورشیدی کالکوپیریت، سلول‌های خورشیدی پروسکایتی، ابرخازن‌ها، تجزیه فوتوشیمیایی آب، پیزوالکتریک‌ها و فروالکتریک‌ها و فوتوکاتالیست‌ها می‌باشد.



اگر چشم خریدار دارید و می‌خواهید از خدمات این آزمایشگاه استفاده کنید، خدماتی که این آزمایشگاه ارائه می‌کند شامل: مشخصه‌یابی و آنالیزهای سلول خورشیدی (Solar cell char-acterW و آنالیزهای چرخشی و غوطه‌وری (Spin, Dip, and Electrophoretic deposition) و اسپکتروسکوپی UV-Vis می‌باشد.

سایر تجهیزات که در این آزمایشگاه مشغول به کار هستند: کوره ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، کوره تیوبی ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، سانترفیوژ ۱۴۰۰۰ rpm، حمام التراسونیک ۳۰۰ وات، طیف سنجی UV-Vis، لایه نشانی غوطه‌وری و چرخشی، اسپاترینگ، راکتور هیدروترمال، Solar simulator & I-V test.

**پروفسور حسین عبدی‌زاده** سرپرست این آزمایشگاه هستند گرایش ایشان در حوزه شناسایی و انتخاب مواد مهندسی و استخراج فلزات می‌باشد. مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۶۴ از دانشگاه تهران اخذ نموده و در سال ۱۳۷۲ از مدرسه عالی علوم سرامیک‌های صنعتی لیموژ فارغ التحصیل شدند. ایشان در سال ۱۳۷۶ دکترای خود را در انستیتوملی علوم کاربردی لیون دریافت کردند. از سال ۱۳۹۵ معاونت مالی و اداری پردیس دانشکده‌های فنی را عهده دار بودند و در دانشکده در آزمایشگاه مواد و کامپوزیت‌های نانوساختار فعالیت دارند.

**دکتر محمدرضا گل وبستان فرد**، پژوهشگر ارشد پسا دکتری با سابقه فعالیت در زمینه‌های لایه‌های نازک، سلول‌های خورشیدی نانوساختار، نانومواد، طیف سنجی، ترکیبات کالکوپیریت، فیلم‌های پیزو و فروالکتریک، فوتوکاتالیست و ابر رساناها در دانشگاه تهران می‌باشند. در ادامه به جدیدترین مقالات و حوزه‌های کاری این اساتید پرداخته می‌شود.



# بخش سسّم

مقالات و پژوهش‌های جدید در دانشکده



ساجده عنابستانی

کارشناسی مهندسی مواد دانشگاه فردوسی مشهد



ابوالفضل انوری

کارشناسی مهندسی مواد و کهاد بیوتکتولوژی دانشگاه تهران

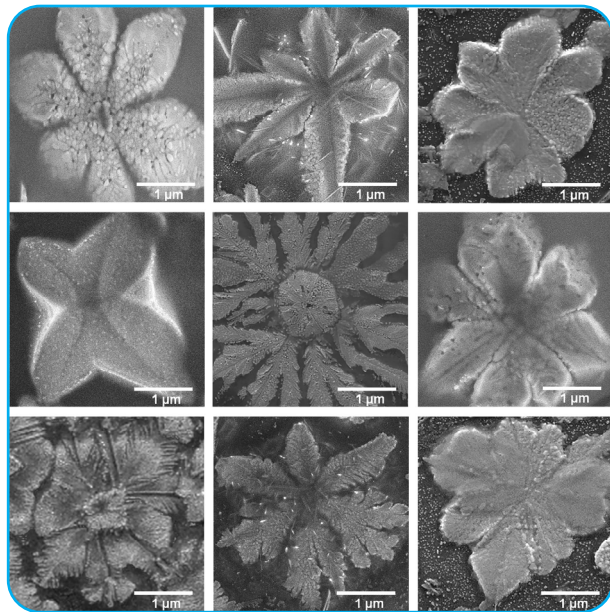


Development of a triple-cation Ruddlesden–Popper perovskite structure with various morphologies for solar cell applications

M. Mirhosseini, A. M. Bakhshayesh, R. Khosroshahi, N. Taghavinia & H. Abdizadeh  
*Journal of Materials Science: Materials in Electronics* volume 31, pages 2766–2776 (2020)  
 January 2020

توسعه ساختار سه کاتیونی پروسکایتی رادلسدن-پاپر با مورفولوژی های مختلف برای کاربردهای سلول خورشیدی

ظهور شگفت انگیز سلول های خورشیدی پروسکایتی<sup>۱</sup> (PSCs) در سال های اخیر، مسیری جدید در تولید پنل های خورشیدی باز کرده است. هرچند ساختارهای سه بعدی سرب-هالید پروسکایتی بالاترین راندمان تبدیل انرژی خورشیدی را دارند، (۲، ۲۵ درصد) هنوز نقطه ضعف های بسیاری برای پایداری در شرایط محیط دارند تا بتوانند مسیر تجاری سازی را طی کنند. برای غلبه بر این چالش، ساختاری پروسکایتی دو بعدی بر پایه فازهای رادلستون-پوپر<sup>۲</sup> با فرمول عمومی  $(A)_x(B)_{n-1}Pb_nX_{3n+1}$  توجه زیادی را امروزه به خود جلب کرده اند. در این فرمول عمومی، A بعنوان درشت ملکول فاصله انداز<sup>۳</sup> نقش تبدیل چارچوب های سه بعدی به ورقه های دوبعدی بسیار نازک در ضخامت های مختلف در ابعاد نانو را دارد که این ضخامت وابسته به مقادیر مختلف n می باشد. این جزء فاصله انداز می تواند از کاتیون هایی مانند آمونیوم<sup>۴</sup>، آمیدینیوم<sup>۵</sup>، ایمیدازولیوم<sup>۶</sup> و... باشد. B نیز کاتیونی کوچکتر از A می باشد که عمدتاً فورمادینیوم<sup>۷</sup> (AF) یا متیل آمونیوم<sup>۸</sup> (MA) است و X نیز می تواند از آنیون هالیدها انتخاب شود. این ساختارهای ورقه ای چاه های پتانسیلی بین لایه های فاصله انداز ساندویچ شده اند، که این فاصله اندازها مانند موانعی<sup>۹</sup> رفتار می کنند و چاه های کوانتومی را بوجود می آورند. اکسایتون های<sup>۱۰</sup> پایداری در ساختار دو بعدی پروسکایت نسبت به سه بعدی مشاهده و گزارش شده است.



شکل ۱) تصاویر FESEM لایه های پروسکایت رادلسدن - پاپر در شرایط سنتز مختلف.

در مقاله پیش رو به بررسی و ساخت ساختار سه-کاتیونی شبه-دو-بعدی از خانواده پروسکایت پرداخته می شود. فرمول عمومی پیچیده این ترکیب  $S_{1-x}S'_x)_2[Cs_{0.5}(FA_{1-x}MA_x)_{0.95}]Pb_4(I_{1-x}Br_x)_{13}$  می باشد. در این ساختار مانند فرمول ذکر شده در بالا، دو فاصله انداز، ۵-آمونیوم والریک یوداید<sup>۱۱</sup> (S)، و تترا-n-اوکتاآمونیوم بروماید<sup>۱۲</sup> (S') می باشند. در این مقاله، مورفولوژی، ساختار کریستالی، خواص نوری، کارایی فوتوولتاییک و مقاومت داخلی این ترکیب بررسی شده است.

- Perovskite Solar Cells ۱
- (Ruddlesden–Popper (RP spacer ammonium amidinium imidazolium formamidinium methylammonium barriers excitons ۱۰ ammonium valeric acid iodide-۵ ۱۱ tetra-n-octylammonium bromide ۱۲

## Fabrication of porous titania sheet via tape casting: Microstructure and water permeability study

Saber Ghannadi, Hossein Abdizadeh, Alireza Babaei

Journal of Ceramics International, Volume 46, Issue 7, May 2020, Pages 8689-8694

May 2020

### ساخت ورقه‌های متخلخل تیتانیا با روش ریخته‌گری نواری، مطالعه میکروساختار و تراوایی

سرامیک‌های متخلخل از پایداری شیمیایی، حرارتی و ساختاری بسیار بالایی برخوردارند که می‌توان از آن‌ها برای کاربردهای صنعتی از کاتالیست‌ها گرفته تا اجزای سبک سازه‌ای استفاده کرد. کاربردهای سرامیک‌ها وابستگی شدیدی به پارامترهای ساختاری مواد دارد و همین امر دانشمندان را به تحقیق در مورد مقدار، بزرگی، شکل و توزیع تخلخل‌ها جلب نموده است. یکی از کاربردهای مهم سرامیک‌های متخلخل، در فیلتراسیون می‌باشد. اندازه تخلخل‌ها و تخلخل‌های باز، دو فاکتور مهم تعیین کننده در بازدهی فیلترهای سرامیکی می‌باشند.

در این مقاله تاثیر فرمولاسیون و ترکیب دوغاب و شرایط زینترینگ بر روی میکروساختار و تراوایی ورقه تیتانیای متخلخل با روش ریخته‌گری نواری<sup>۱</sup> گزارش شده است. همچنین تاثیر دما و زمان زینترینگ بر روی تخلخل‌های باز و ساختار کریستالی نهایی بررسی شد و مشاهده شد با افزایش دمای زینترینگ از ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰، اندازه تخلخل‌ها از ۱۷۰ تا ۲۶۴ نانومتر افزایش یافت و تخلخل‌های باز نیز کاهش یافتند. در نهایت نیز نفوذپذیری آب ورقه‌های تیتانیایی بررسی شد و مشاهده شد که تراوایی با افزایش تخلخل‌های باز و اندازه تخلخل‌ها، افزایش می‌یابد.

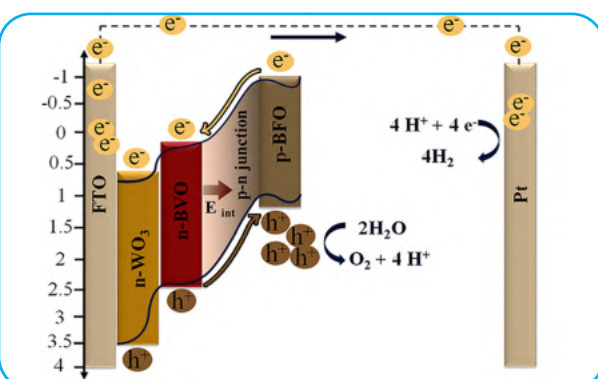
## Triple Layer Heterojunction WO<sub>3</sub>/BiVO<sub>4</sub>/BiFeO<sub>3</sub> Porous Photoanode for Efficient Photoelectrochemical Water Splitting

Sadaf Khoomortezaei, Hossein Abdizadeh, and Mohammad Reza Golobostanfard

Journal of ACS Applied Energy Materials 2019, 2, 9, 6428–6439

26 August 2019

### فوتوآند سه لایه WO<sub>3</sub>/BiVO<sub>4</sub>/BiFeO<sub>3</sub> متخلخل برای تجزیه فوتوالکتروشیمیایی آب

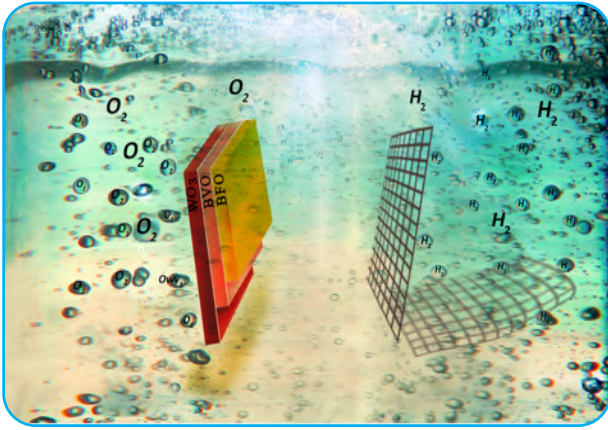


شکل ۲) شماتیک جهتگیری باندهای انرژی سه نیمه هادی پس از تابش

تجزیه فوتوالکتروشیمیایی آب (PEC) یکی از روش‌های با راندمان بالا برای تولید سوخت هیدروژن در یک سیستم سبز و پاک می‌باشد. در مواجهه با بحران زیست محیطی و افزایش نیاز جهانی به انرژی، به کار بردن منابع انرژی قابل جایگزینی و تجدید پذیر، وارد رویکردی جدید برای پیشرفت شده‌اند. بنابراین تبدیل انرژی خورشید به هیدروژن بعنوان سوختی پاک، تجدید پذیر، غیر فسیلی و با انرژی بالا توجه بسیاری از دانشمندان و محققان را در دو دهه اخیر به خود جلب کرده است.

ذخیره نور خورشید در پیوندهای شیمیایی توسط تجزیه فوتوالکتروشیمیایی آب، یکی از نویدبخش‌ترین روش‌های تولید انرژی پایان ناپذیر می‌باشد. در این مطالعه، یک فوتوآند سه لایه متخلخل ناهمگن





شکل ۳) شماتیک فوتوآند دو پیوندگاه غیرهمسان WO3/BVO/BFO

سل-ژل سنتز شد و خواص فوتوالکتروشیمیایی آن با نمونه‌های مشابه فوتوآندهای تک لایه و دو لایه مقایسه و بررسی شد. در حالت فوتوآند سه لایه بدلیل بروز خاصیت فروفوتوکاتالیستی ناشی از BFO و همچنین ایجاد پیوندگاه غیرهمسان n-p خواص تجزیه فوتوالکتروشیمیایی آب ارتقاء یافته مشاهده شد.

### Ag and Cu doped ZnO nanowires: A pH-Controlled synthesis via chemical bath deposition

ELSEVIER

Amir Hossein Rakhsha, Hossein Abdizadeh, Erfan Pourshaban,  
Mohammad Reza Goloboštanfard, Valmor Roberto Mastelaro, Maziar Montazeriane  
Journal of Materialia, Volume 5, March 2019, 100212  
March 2019

### نانوسیم‌های ZnO دوپ شده با مس و نقره: سنتز کنترل شده توسط Hp با روش لایه نشانی حمام شیمیایی<sup>۱</sup>

طی دهه اخیر خواص جالب اکسید روی مانند توانایی میزبانی بسیاری از عناصر دوپ شونده<sup>۲</sup>، توانایی رشد ساختار یک-بعدي و حساسیت زیاد به پارامترهای سنتزی که تغییر جزئی یک پارامتر، خواص منحصر به فردی را در آن به وجود می‌آورد، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این خواص، اکسید روی را برای کاربردهایی مانند سنسورهای گازی، ترانزیستورهای لایه نازک، دیودها و سنسورهای نوری گزینه مناسبی ساخته است.

سنتز نانوساختارهای اکسید روی توسط دو دسته کلی روش‌های فاز گاز و روش‌های تر<sup>۳</sup> انجام می‌پذیرد. از روش‌های فاز گاز می‌توان به رسوب گذاری لیزر پالسی<sup>۴</sup>، رسوب گذاری فاز گازی با کمک ابروسول<sup>۵</sup>، و رسوب گذاری لایه اتمی<sup>۶</sup> نام برد که روش‌هایی هستند که نیازمند تجهیزات گران قیمت می‌باشند. روش‌هایی مانند رسوب گذاری الکتروفورزی سل-ژل<sup>۷</sup>، هیدروترمال<sup>۸</sup> و لایه نشانی حمام شیمیایی (CBD) از زیرمجموعه روش‌های تر هستند. روش CBD یک روش دمای پایین است و در فشار اتمسفر انجام می‌شود و از لحاظ هزینه‌ای، فرایند ارزان می‌باشد. یکی از چالش‌های جدی در زمینه دوپ اکسید روی، ایجاد نانوساختارهای p-type می‌باشد که می‌تواند توسط عناصر مس و نقره صورت گیرد.

Chemical bath deposition ۱

Dopant ۲

Wet methods ۳

Pulsed laser deposition ۴

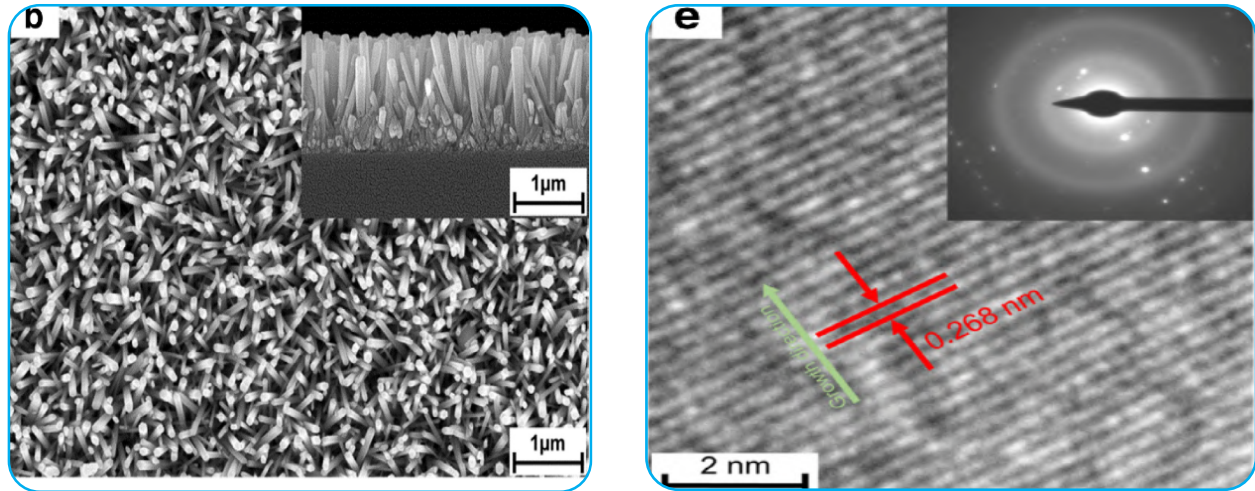
Aerosol-assisted chemical vapor deposition ۵

Atomic layer deposition ۶

Sol-gel electrophoretic deposition ۷

Hydrothermal ۸

سنتز و دوپ کردن آرایه نانوسیم‌های (NWAs) اکسید روی p-type دوپ شده با عناصر نقره و مس تا به امروز چالشی برای محققان بوده است. در این مطالعه، سنتز آرایه نانوسیم‌های اکسید روی دوپ شده در یک فرایند کنترل شده توسط pH در محیط آبی تحقیق و بررسی شد. نتیجه این تحقیق، رشد موفق آرایه نانوسیم‌های دوپ شده با عناصر مس و نقره بود.



شکل ۴) تصویر سمت چپ: تصویر FESEM آرایه نانوسیم‌های اکسید روی دوپ شده با نقره و تصویر سمت راست: تصویر HRTEM همان نمونه

## Sol-gel synthesis of PZT thin films on FTO glass substrates for electro-optic devices

Springer

Ali Shoghi, Hossein Abdizadeh, Amid Shakeri & Mohammad Reza Golobostanfard  
Journal of Sol-Gel Science and Technology volume 93, pages 623–632 (2020)  
September 2019

### سنتز فیلم‌های نازک TzP به روش سل-ژل بر روی زیرلایه OTF

با گسترش نیاز صنعت به تولید قطعات الکتریکی که توانایی ذخیره سازی بار الکتریکی را دارند، نظیر خازن‌ها و همچنین دستگاه‌هایی که این جریان الکتریکی را به گرما تبدیل می‌کنند؛ مانند دستگاه‌های میکروویو و سنسورها، توجه به سمت خواص پیزوالکتریک و قطبش پذیری مواد جلب شد. اهمیت تولید این قطعات در مقیاس‌های کوچک به منظور استفاده در تلفن‌های همراه و بردهای الکتریکی توجه محققان را به سمت لایه‌های نازک فروالکتریک نظیر، و معطوف کرد. از جمله مواد فروالکتریک شناخته شده در این زمینه موسوم به PZT<sup>۱</sup> می‌باشد که به دلیل ثابت دی الکتریک بسیار بزرگ، ضریب پیزوالکتریک خوب و ضریب الکتریکی-نوری<sup>۲</sup> خوب موجب شده است که در سال‌های اخیر مورد بررسی قرار گیرد.

در مقاله پیش رو، لایه‌های نازک PZT به روش سل-ژل<sup>۳</sup> بر روی شیشه‌های FTO<sup>۴</sup> تولید شده اند و به منظور حصول ساختار کریستالی مناسب و بدون ترک، شرایط عملیات حرارتی مختلف و پارامترهای روش سل-ژل مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است.

- ۱ Lead Zirconate Titanate
- ۲ Electro-Optic Coefficient
- ۳ Sol-gel Process
- ۴ glass fluorine doped tin oxide

## Hafnium diboride nonwoven mats with porosity/morphology tuned via different heat treatments

Raziyeh Ghelich, Mohammad Reza Jahannama, Hossein Abdizadeh, Fatemeh Sadat Torknik

Mohammad Reza Vaezi

Journal of Materials Chemistry and Physics, Volume 248, 1 July 2020, 122876

July 2020

## سنتز میکروساختارهای هافنیوم دی بوراید برای استفاده در صفحات خورشیدی و تاثیر عملیات حرارتی بر روی مورفولوژی و تخلخل

ایجاد ساختارهای سرامیکی مشتق شده از پلیمر<sup>۱</sup> یک تکنیک نسبتاً جدید و جذاب می باشد. در این روش با تجزیه حرارتی بعضی از ترکیبات پلیمری تحت شرایط خاص و مناسب (معمولاً در شرایط خلاء و یا اتمسفر فاقد اکسیژن)، این ترکیبات پلیمری به ترکیبات سرامیکی تبدیل می شوند. از مزایای این روش می توان به توانایی آن در تولید ساختارهای آمورف و کریستالی، ایجاد ساختار یکنواخت در سطح اتمی، دمای تجزیه پایین که به سرامیک اجازه می دهد در شرایط متعادل تر و در نتیجه هزینه کمتر ایجاد شود و همچنین توانایی تشکیل ترکیبات جدید با شکل های پیچیده ای نظیر فیبرها، پوسته ها و یا قطعات متراکم اشاره کرد. هافنیوم دی بوراید به واسطه دمای ذوب بالا، رسانایی گرمایی بالا، سختی بالا و مدول الاستیک خوب (۴۸۰ GPa) در مقایسه با سایر سرامیک های فوق دما بالا از ویژگی های بهتری برخوردار است. ساختار مزومتخلخل این سرامیک موجب شده است که بتوان از آن در کاربردهای جدید دما بالا مانند صفحات جذب خورشیدی استفاده کرد. با مشاهده بازتاب طیفی این دسته از مواد می توان نتیجه گرفت که پایین تر بودن میزان بازتاب آن ها در مقایسه با سیلیکون کاربیدها<sup>۲</sup> در دمای اتاق، دلیل مناسبی برای استفاده از آن ها در صفحات خورشیدی است.

لذا در مطالعات پیش رو با بهره گیری از اثر عملیات حرارتی بر روی مورفولوژی و میکروساختار صفحات، به تولید یک ساختار مناسب به منظور استفاده در صفحات خورشیدی پرداخته شد. عملیات حرارتی مناسب موجب بهینه سازی قطر نانوفایبرهای نیمه متخلخل<sup>۳</sup>، میزان کریستالی شدن و قطر متوسط تخلخل ها می شود.

<sup>۱</sup> (Polymer-Derived Ceramic (PDC<sup>۲</sup> (Silicon Carbide (SiC<sup>۳</sup> Mesoporous nanofibers

Flexible supercapacitor electrodes based on  $\text{TiO}_2/\text{rGO}/\text{TiO}_2$  sandwich type hybrids

Parasfio Agharezaei, Hossein Abdizadeh, Mohammad Reza Golobostanfard

Journal of Ceramics International, Volume 44, Issue 4, March 2018, Pages 4132-4141

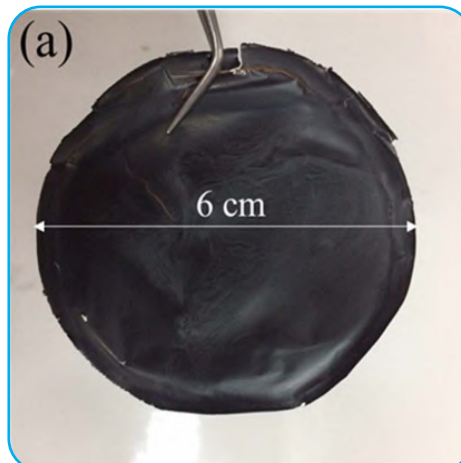
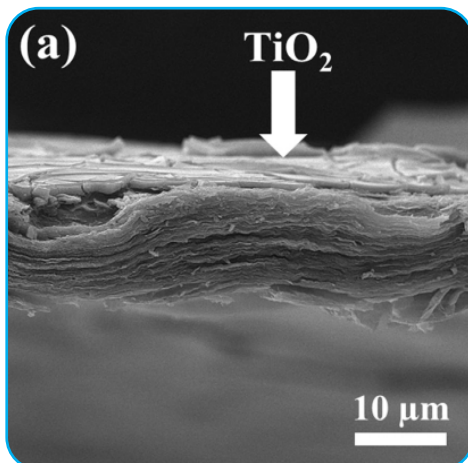
March 2018

الکترودهای ابرخازن انعطاف پذیر هیبریدی سه لایه بر پایه  $\text{TiO}_2/\text{rGO}/\text{TiO}_2$ 

دنیای مدرن امروز برای کاربردهایی مانند پوشش سنسورها و یا اعضا مصنوعی بدن به ابزارهایی منعطف که قابلیت چرخش و خمش را داشته باشند، نیازمند است و در همین راستا، تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت گرفته است. علاوه بر این دستگاه‌های انعطاف پذیر ذخیره کننده انرژی در سال‌های اخیر بخش عظیمی از مطالعات محققان را در کاربردهای مختلف الکترونیکی به خود اختصاص داده است. ابرخازن‌ها یکی از مهم‌ترین انواع دستگاه‌های ذخیره کننده انرژی بوده و با توجه به این خصوصیت که ذخیره سازی انرژی در سطح رخ می دهد و با فرآیند انتشار در باتری محدود نمی شود، به عنوان یک سیستم پرقدرت در نظر گرفته می شود. این گروه از ابزارها به طور معمول می توانند ۱۰-۱۰۰ برابر انرژی بیشتری را نسبت به خازن‌های الکترولیتی ذخیره کنند؛ شارژ و دشارژ شدن آن‌ها سریع تر اتفاق می افتاد و همچنین توانایی تحمل سیکل‌های شارژ و دشارژ شدن بیشتری را نسبت به باتری‌های قابل شارژ دارند.

در میان ابرخازن‌های بر پایه کربن، گرافن از ظرفیت ذاتی بالاتری برخوردار است. این آلوتروپ تک لایه کربن که در دو بعد گسترش یافته، به واسطه خواص الکترونیکی استثنائی، نوری، حرارتی و مکانیکی که دارد توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. این ماده به واسطه میزان بار قابل حمل بالا و سطح ویژه بالا، در کاربردهای الکترونیکی زیادی مانند سنسورها، کاتالیست‌ها و ابزارهای ذخیره کننده انرژی مورد استفاده قرار می گیرد؛ اما با تمام این اوصاف به دلیل ظرفیت بسیار پایینی که دارد برای استفاده در ابرخازن‌ها مناسب نمی باشد. لذا به منظور بهبود و افزایش ظرفیت، استفاده از یک ساختار ترکیبی متشکل از گرافن و یک اکسید فلزی مانند، و پیشنهاد شده است. به دلیل این که از نظر محیط زیستی کم خطرتر بوده، هزینه کمتری را اعمال می کند و همچنین در دسترس تر است، می تواند گزینه مناسبی برای این منظور باشد.

در مطالعه پیش رو با بهره گیری از لایه نشانی سل-ژل، که نسبت به سایر روش‌ها آسان تر و کم هزینه تر است، ساختار ساندویچی شامل لایه‌های مزومتخلخل یکنواخت / گرافن / مزومتخلخل یکنواخت ایجاد شد.



شکل ۵) تصویر سمت راست: تصویر ورقه گرافن و تصویر سمت چپ: تصویر FESEM از مقطع عرضی ابرخازن انعطاف پذیر  $\text{TiO}_2/\text{Graphene}/\text{TiO}_2$

## Hybrid 1D/2D Carbon Nanostructure-Incorporated Titania Photoanodes for Perovskite Solar Cells

ACS Publications  
Most Trusted. Most Cited. Most Read.

Aida Amini, Hossein Abdizadeh, and Mohammad Reza Golobostanfard

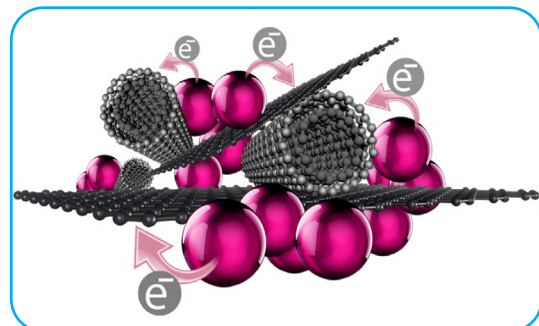
Journal of ACS Applied Energy Materials 2020, 3, 7, 6195–6204

June 2020

### نانوساختار هیبریدی کربنی اضافه شده به فوتوآند تیتانیا سلول های خورشیدی پروسکایتی

انرژی خورشیدی یکی از منابع قابل توجه انرژی تجدیدپذیر محسوب می شود و یک جایگزین مناسب برای سوخت های فسیلی، سوخت هایی که علاوه بر ایجاد مشکلات بی شمار محیط زیستی رو به اتمام است، می باشد. به همین جهت در سال های اخیر پژوهش ها جهت استفاده از این انرژی در دسترس با تولید سلول های خورشیدی گسترش پیدا کرده است. سلول های خورشیدی نقاط کوانتومی (QDSCs)<sup>۱</sup>، سلول های خورشیدی حساس به نور (DSSCs)<sup>۲</sup>، سلول های خورشیدی آلی (DSCs)<sup>۳</sup> و سلول های خورشیدی جدید پایه پروسکایت (PSCs)<sup>۴</sup> از جمله روش هایی می باشند که به منظور دستیابی به این هدف گسترش یافته اند. هرچه مطالعات به سمت جلو پیش می رود مواد پروسکایتی به واسطه توانایی جذب گسترده ی نور و همچنین حل شدن در دمای پایین با استفاده از مواد ارزان در طی پروسه ی تولید، مناسب تر و مرغوب تر به نظر می رسند. از اولین زمانی که ساختارهای پروسکایتی برای استفاده در سلول های خورشیدی معرفی شدند و سپس به عنوان صفحات جاذب در سلول ها مورد استفاده قرار گرفتند، بازده تبدیل نیرو (PCE)<sup>۵</sup> تنها در مدت زمان شش سال از ۱۴٫۱ درصد به ۲۵٫۲ درصد افزایش یافته است. این نرخ بالای پیشرفت موجب شد تا توجه محققان به سلول های خورشیدی پروسکایتی جلب شده و تحقیقات وسیعی را در این زمینه آغاز کردند.

در این سلول ها لایه انتقال الکترون (ETL)<sup>۶</sup> نقش اساسی را در افزایش PCE از طریق تسهیل جمع آوری بار الکتریکی ایفا می کند. از میان تمام اکسیدهای فلزی که می توان به عنوان ETL در سلول های خورشیدی پروسکایتی استفاده کرد، نیمه هادی اکسید تیتانیوم، به عنوان پرمخاطب ترین ماده pho-toanode به واسطه خواص نوری، الکتریکی و شیمیایی خوبی که دارد مورد مطالعه قرار گرفته است. در همین حال، نانوساختارهای مختلف کربن، مخصوصاً گرافن و نانولوله های کربنی (CNT)<sup>۷</sup> به صورت گسترده مورد بررسی قرار گرفته اند و به واسطه ساختار خاص و خواص نوری و الکتریکی آنها در سلول های خورشیدی بلکه در طیف وسیعی از تکنولوژی از جمله فوتوکاتالیزورها، سنسورها، ابرخازن ها و باتری ها مورد استفاده قرار گرفته اند. علاوه بر خواص ذکر شده برای نانوساختارهای کربنی، نانولوله های کربنی دارای رسانایی الکتریکی عالی و همچنین قابلیت ذخیره ی بار بالا می باشند. به همین جهت محققان به این باور رسیدند که تلفیق نانولوله های کربنی و، راندمان سلول های خورشیدی را افزایش می دهد. به طور مشابه تلفیق گرافن و نیز موجب افزایش بهره وری سلول های خورشیدی می شود.



شکل ۶) شماتیک فرایند انتقال بار در فوتوآند TiO<sub>2</sub>-CNT-graphene

در این پژوهش با افزودن به هر دو ساختار کربنی گرافن و نانولوله کربن و ایجاد یک نوار نازک مزومتخلخل به کمک سنتز حرارتی و استفاده از آن در سلول خورشیدی پروسکایتی، راندمان به طور موثری بهبود یافت.

Quantum Dot Solar Cells ۱

Dye Sensitized Solar Cells ۲

Organic Solar Cells ۳

Perovskite Based Solar Cells ۴

Power Conversion Efficiency ۵

Electron Transport Layer ۶

Carbon Nanotube ۷

## Tandem structured quantum dot/rod sensitized solar cell based on solvothermal synthesized CdSe quantum dots and rods

Mohammad Reza Goloboşanfard, Hossein Abdizadeh

Journal of Power Sources, Volume 256, 15 June 2014, Pages 102-109

June 2014

### ساخت سلول‌های خورشیدی بر پایه نقاط کوانتومی و میله‌های کوانتومی

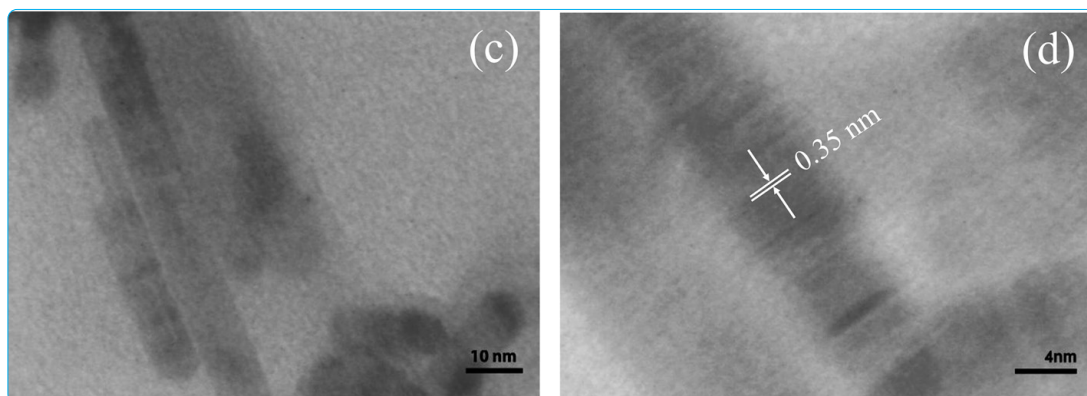
سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ (DSSC)<sup>۱</sup>، در سال‌های اخیر توجهات زیادی را به واسطه‌ی راندمان نسبتاً بالا، هزینه‌ی ساخت کم، توانایی عملکرد در هر دو نوع نور مستقیم و پخش شده و انعطاف پذیری در شکل، رنگ و میزان شفافیت، به خود جلب کرده است. با این حال افزایش راندمان و پایداری این سلول‌ها نیاز به فائق آمدن بر مشکلاتی از قبیل نوسانات الکتروولت و دامنه‌ی جذب تقریباً باریک می‌باشد.

سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ کوانتوم دات (QDSC)<sup>۲</sup> به واسطه‌ی راندمان بالای تبدیل انرژی که دارند توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. کوانتوم دات (QD)<sup>۳</sup> به عنوان برداشت کننده‌های نور در این سلول‌ها دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند:

- ضریب خاموشی مولی بالا
- اندازه‌ی باندگپ قابل تنظیم
- توانایی استفاده از الکترون داغ

با این حال بازدهی این سلول‌ها تا کنون به ۵٫۶ درصد رسیده است که به منظور افزایش قابلیت تجاری سازی آن‌ها باید افزایش یابد.

مشکل عمده این دستگاه‌ها مورفولوژی متخلخل آن‌ها است که به منظور نفوذ عمیق QD ها و ذرات میله‌ای (QR)<sup>۴</sup> که در مقایسه با مولکول‌های رنگ اندازه‌های بزرگی دارند باید بهینه سازی شود.

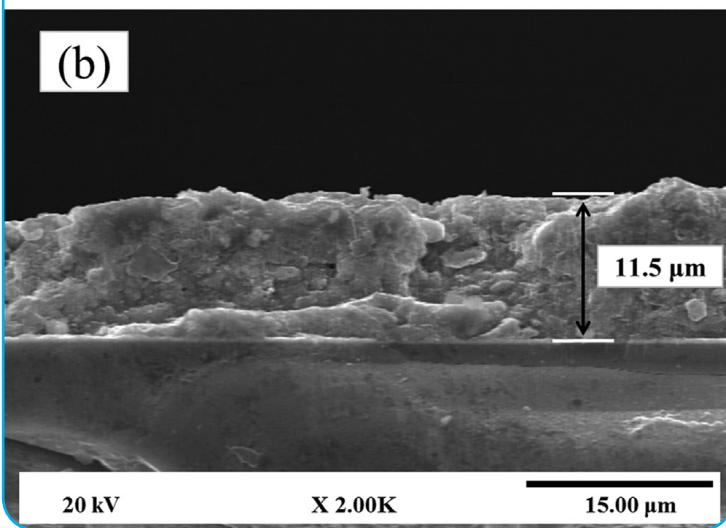
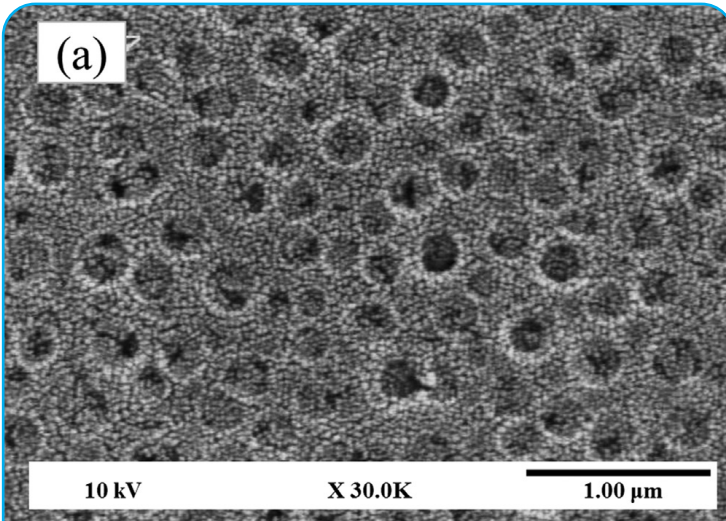


شکل ۷) تصویر HRTEM از QDs و QRs ترکیب CdSe در دو رزولوشن مختلف

- ۱ Dye Sensitized Solar Cells
- ۲ Quantum Dot Sensitized Solar Cells
- ۳ Quantum Dots
- ۴ Quantum Rods

در این مقاله به تولید QR و QD با اندازه، شکل و فازهای کریستالی مختلف از طریق روش سولوترمال<sup>۱</sup> پرداخته شد. در این روش شکل و فاز کریستالی ذرات تولید شده بسیار قابل کنترل تر از روش مرسوم تزریق گرم<sup>۲</sup> می باشد.

در این مقاله همچنین به نحوه تولید تیتانیای متخلخل به روش جداسازی فازی که دارای حفرات و کانال زیادی در سطح نمونه به منظور جذب QR و QD می باشد نیز پرداخته شد.







شکل ۸) تصاویر FESEM از فوتوآند تیتانیا. تصویر پایین مقطع عرضی



# نشریه فراسوی مواد

انجمن علمی دانشکده مهندسی مواد و متالورژی  
دانشگاه تهران

   @FarasoyeMavadUT

 [WWW.FarasoyeMavadsj.ut.ac.ir](http://WWW.FarasoyeMavadsj.ut.ac.ir)