

## فصل: سلول‌های خورشیدی

### بخش ۴: انواع سلول‌های خورشیدی و آنالیزهای آنها

نویسنده: محمد فرهادپور

#### مقدمه

مواد گوناگونی تاکنون در ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده شده‌اند که بازده و هزینه‌های ساخت متفاوتی دارند. در واقع این سلول‌ها باید طوری طراحی شوند که بتوانند طول موج‌های نور خورشید را که به سطح زمین می‌رسد با بازده بالا به انرژی مفید تبدیل کنند. در منابع مختلف انواع گوناگونی از تقسیم‌بندی‌ها در زمینه سلول‌های خورشیدی انجام می‌شود. بر حسب موادی که برای ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شوند سلول‌های خورشیدی در چهار نسل قرار می‌گیرند که در ذیل به آنها اشاره شده است:

۱- ویفرهای سیلیکون تک بلوری

۲- سیلیکون بی‌شکل، سیلیکون چندبلوری، کادمیوم تلوراید، آلیاژ مس-ایندیوم-گالیم-دی سلناید

۳- سلول‌های نانوبلور، سلول‌های فوتوالکتروشیمیایی، سلول‌های پلیمری، سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ

۴- بلورهای معدنی هیبرید شده داخل ماتریکس پلیمری

همچنین سلول‌های خورشیدی را از نظر فناوری ساخت می‌توان به سه دسته تقسیم کرد، که سلول‌های خورشیدی آلی یکی از این موارد است که جزو نسل سوم سلول‌های خورشیدی هستند:

#### ۱- سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی

سلول‌های خورشیدی ساخته شده از مواد آلی در مقایسه با همتایان دیگر خود بازده بسیار کم‌تری دارند. اما به دلیل هزینه ساخت پایین و همچنین قابلیت‌هایی مانند انعطاف‌پذیری برای مصارف غیرصنعتی مناسب هستند. به صورت کلی این نوع از سلول‌های خورشیدی مزیت‌های متعددی از قبیل فراوری آسان، انعطاف‌پذیری، سبک وزنی و هزینه ساخت کم را دارا هستند. انواعی از سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی شامل سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ، سلول‌های خورشیدی پلیمری و سلول‌های خورشیدی مبتنی بر کریستال‌های مایع (Liquid Crystals) هستند.

## ۱-۱ سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ (Dye-sensitized Solar Cell, DSSC)

امروزه، بیش‌ترین سلول‌های خورشیدی تجاری از سیلیکون (بیش از ۸۶ درصد) ساخته شده‌اند، در حالیکه استفاده از سیلیکون در دستگاه فوتوولتائیک ممکن است به دلیل قیمت بالای تولید محدود شود. به طور کلی، از ویژگی‌های سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ در مقایسه با سلول‌های خورشیدی معدنی می‌توان به هزینه‌ی پایین تولید، تنوع رنگ و شکل، انعطاف‌پذیری و سبک وزنی اشاره کرد (شکل ۱). این در حالی است که سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ نسبت به سلول‌های خورشیدی معدنی بازده پایین‌تری نشان می‌دهند که لازم است به طور قابل توجهی بهبود داده شود. سلول خورشیدی حساس شده با رنگ از دسته سلول‌های لایه نازک به شمار می‌آید و تنها نمونه‌ای از فناوری نسل سوم سلول‌های خورشیدی است که تاکنون به مرحله‌ی تجاری سازی رسیده است.

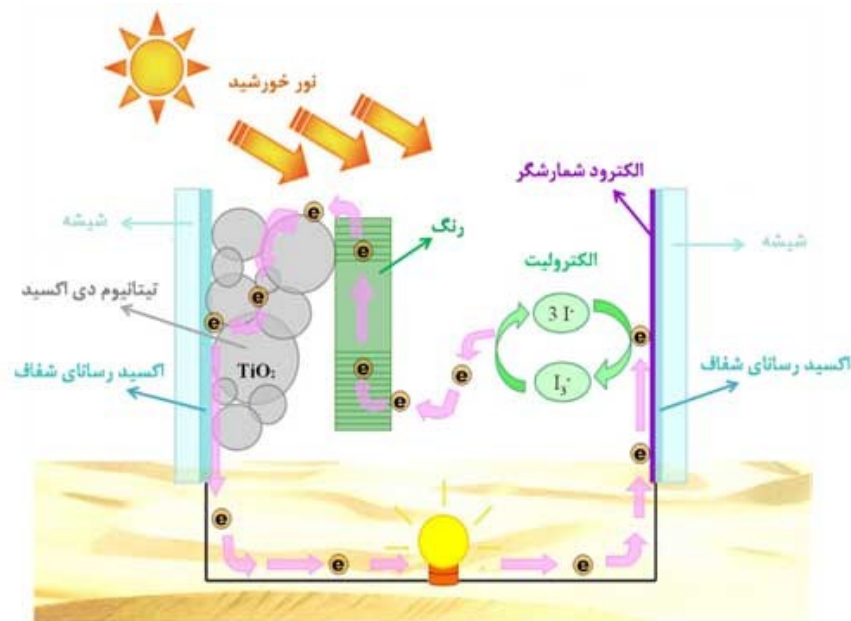


شکل ۱: سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ

ساختار پایه یک DSSC وارد کردن بهینه یک نیمه هادی نوع n شفاف (با شکاف انرژی پهن) در یک شبکه‌ای از ستون‌ها در ابعاد نانو در تماس با نانوذره‌ها یا برآمدگی‌های مرجانی شکل است. سطح شبکه بزرگ طراحی می‌شود و هر قسمت آن با یک تک لایه‌ای از یک رنگ یا پوششی از نقاط کوانتومی، که به عنوان رنگ عمل می‌کنند، پوشانده می‌شود. سپس یک الکترولیت برای نفوذ ساختار شبکه پوشش داده شده حاصل، مورد استفاده قرار می‌گیرد تا یک کانال یا مجرای بین رنگ و آند ایجاد کند. رنگ نور را جذب می‌کند و تولید اکسیژن (الکترون-حفره) می‌کند، که در سطح مشترک رنگ - نیمه هادی تفکیک می‌شود و

منجر به ایجاد الکترون‌ها توسط فوتون برای نیمه هادی و مولکول‌های رنگ اکسید شده به وسیله الکتروولیت (که باید کاهش یابند و دوباره تولید شوند) می‌شود.

اجزای تشکیل دهنده سلول خورشیدی حساس شده با رنگ شامل بخش‌های مهمی همچون شیشه‌ی پوشیده شده با اکسید رسانای شفاف، نانوذرات تیتانیوم دی اکسید (Titanium dioxide,  $TiO_2$ )، رنگ‌های حساس به نور، الکتروولیت اکسایش-کاهش، الکتروود شمارشگر (کاتد) و مواد ضد نشت (شکل ۲) است.



شکل ۲: اجزا و عملکرد کلی سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ

به طور کلی با نگاه اجمالی در ساختار سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ، باید این سلول‌ها را مشابه با یک باتری قلیایی تجاری دانست که در آن یک آند و یک کاتد در دو طرف الکتروولیت مایع قرار می‌گیرند. به این ترتیب که نور خورشید از طریق الکتروود شفاف وارد لایه‌ی رنگ شده و الکترون‌های آن را برانگیخته می‌کند. سپس این الکترون‌ها به نانوذرات تیتانیوم دی اکسید رسانا منتقل خواهد شد. با جذب الکترون‌ها در این نوار ممنوعه، میدان الکتریکی و سپس جریان ایجاد می‌شود. این جریان وارد مدار شده و به کاتد انتقال می‌یابد. کاتد همچنین نقش یک کاتالیزور را دارد و الکترون‌ها را وارد محلول الکتروولیت (یدید/تری یدید) می‌کند تا از طریق واکنش شیمیایی در الکتروولیت، الکترون‌ها دوباره وارد مولکول رنگ شوند.

## ۱-۲- سلول‌های خورشیدی پلیمری

از ویژگی‌های بارز سلول‌های خورشیدی پلیمری می‌توان به مواردی مانند: هزینه کم، وزن سبک و ساخت راحت اشاره نمود. اما آنچه بر اهمیت آنها می‌افزاید، قابلیت حل شدن مواد مورد استفاده در حلال‌های آلی است که تهیه سلول‌های خورشیدی انعطاف‌پذیری را امکان‌پذیر می‌سازد.

سلول‌های خورشیدی پلیمری دارای ویژگی‌های خاصی هستند. چون مواد اکتیو استفاده شده برای ساخت قطعات قابل حل شدن در حلال‌های آلی بسیاری هستند، بنابراین سلول‌های خورشیدی پلیمری دارای پتانسیل لازم برای انعطاف‌پذیری و قابلیت ساخت در یک فرآیند چاپ پیوسته همانند چاپ روزنامه را دارند. اخیراً بازده تبدیل توان حدود ۶ درصد گزارش شده است ولی این مقدار با مقادیر لازم برای کاربردهای معمول فاصله دارد.

## ۱-۳- سلول‌های خورشیدی مبتنی بر کریستال‌های مایع

در نمونه‌ای از سلول‌های خورشیدی از این نوع، از کریستال‌های مایع ستونی برای ساخت سلول استفاده می‌شود. گروهی از کریستال‌های مایع می‌توانند به حالت ستونی وجود داشته باشند. حالت ستونی حالتی است که مولکول‌های تشکیل‌دهنده کریستال‌های مایع که می‌توان آنها را به دیسکی تشبیه کرد روی هم قرار گرفته و ستون‌هایی را تشکیل می‌دهند. در ابتدا این گروه از کریستال‌های مایع، کریستال‌های مایع دیسکی نامیده می‌شدند. زیرا هر ستون از روی هم چیده شدن صفحات دیسک مانند مولکول‌ها روی هم درست می‌شود. تحقیقات اخیر نشان داده است که بعضی از کریستال‌های مایع ستونی از واحدهای غیردیسکی ساخته می‌شوند در نتیجه بهتر است به این گروه از مواد کریستال‌های مایع ستونی گفته شود.

## ۲- سلول‌های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون کریستالی

رایج‌ترین ماده توده برای سلول خورشیدی، سیلیکون کریستالی (c-Si) است. ماده توده سیلیکون با توجه به نوع کریستال و اندازه کریستال به چندین بخش تقسیم می‌شود:

• سیلیکون تک کریستالی (c-Si)

• سیلیکون پلی کریستالی (poly-Si) یا چند کریستالی (mc-Si)

### ۳- سلول‌های خورشیدی مبتنی بر سیلیکون لایه نازک غیر کریستالی (آمورف)

هزینه پایین یکی از مزایای سلول‌های خورشیدی بر پایه سیلیکون آمورف (a-Si) است. دو جزء اصلی آلیاژ a-Si، سیلیکون و هیدروژن است. علاوه بر این، مشخصه یک آلیاژ a-Si داشتن ضریب جذب بالاست. تنها یک لایه نازک برای جذب نور نیاز است و این باعث کاهش هزینه مواد می‌شود.

### ۴- سلول‌های خورشیدی لایه نازک GaAs

اولین لازمه موادی که باید در یک قطعه مبدل انرژی فتوولتائیک خورشیدی به کار برود، تطبیق گاف انرژی با طیف خورشیدی و نیز داشتن قابلیت تحرک بالا و طول عمر حامل‌های زیاد هستند. این شرایط توسط سیلیسیم برآورده می‌شوند. مواد گروه III – V علی‌رغم هزینه‌های بالای استحصال و ساخت این نیمه هادی‌ها، با موفقیت زیاد در کاربردهای فضایی که در آنها هزینه، فاکتور مهمی نیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در سال ۱۹۶۱، Shockley و Queisser با در نظر گرفتن یک سلول خورشیدی پیوندی به شکل یک جسم سیاه با دمای ۳۰۰ کلوین نشان دادند که بیش‌ترین بازدهی یک سلول خورشیدی صرف نظر از نوع فناوری بکار رفته در آن، ۳۰ درصد است که برای سلولی با گاف انرژی ماده برابر  $1.39 \text{ eV}$  بدست می‌آید. با توجه به اینکه انرژی شکاف گالیم آرسناید برابر  $1.424 \text{ eV}$  است می‌تواند ماده مناسبی برای طراحی سلول‌های خورشیدی باشد. سلول‌های خورشیدی ساخته شده بر پایه لایه نازک GaAs به عنوان نسل دوم سلول‌های خورشیدی نام‌گذاری می‌شوند.

### ۵- سلول‌های خورشیدی مبتنی بر نقاط کوانتومی

یک فاکتور محدود کننده برای بازده تبدیل انرژی در سلول‌های خورشیدی با یک شکاف انرژی این است که انرژی فوتون جذب شده بالای شکاف انرژی نیمه هادی در اثر اندرکنش الکترون – فوتون به صورت گرما تلف می‌شود تا حامل‌ها به لبه شکاف باند انرژی رسیده و به اصطلاح به آرامش برسند. در سال‌های اخیر روش‌هایی برای کاهش این تلفات با استفاده از ساختارهای کوانتومی از جمله چاه‌های کوانتومی و نقاط کوانتومی ارائه شده است. در این ساختارها هنگامی که حامل‌ها در نیمه هادی به وسیله سدهای پتانسیل به نواحی خاصی که کوچک‌تر یا قابل مقایسه با شعاع بوهر اکسیتون‌ها در نیمه هادی توده است محدود می‌شوند، دینامیک آرامش کاملاً متفاوت خواهد بود.

## ۶- برخی از آنالیزهای مربوط به سلول‌های خورشیدی

### ۶-۱- آنالیز جریان-ولتاژ سلول خورشیدی (Solar Cell J-V Analysis)

تست I-V اولین و پایه‌ای‌ترین آنالیز سلول خورشیدی است. در این آنالیز بازده سلول و همچنین ولتاژ مدار باز، جریان مدار کوتاه و فاکتور پر کنندگی سلول تعیین می‌شود. علاوه بر این، از شکل منحنی جریان-ولتاژ اطلاعاتی نیز در مورد مقاومت‌های سری و موازی سلول بدست می‌آید. به طور کلی در این تست با تابش نور سفید و بستن یک ولت متر و یک آمپر سنج به کمک یک رئوستا مقاومت افزایش می‌یابد و در نتیجه با افزایش مقاومت تا بی‌نهایت شدت جریان به صفر می‌رسد و در این زمان می‌شود رابطه‌ی بین ولتاژ و آمپر را مقایسه کرد و توان ماکزیموم را حساب نمود و طبق فرمولی با داشتن مساحت سلول و همچنین شدت نور سفید تابانده شده به راندمان سلول دست یافت.



شکل 3: دستگاه تست I-V

### ۹-۲- اندازه‌گیری بازده طیفی سلول خورشیدی (Incident Photon to Current Conversion Efficiency)

اندازه‌گیری بازده طیفی سلول خورشیدی یا بازده کوانتومی خارجی سلول با تاباندن نور با طول موج مشخص به سلول و اندازه‌گیری جریان سلول انجام می‌شود. با مقایسه جریان سلول با جریان یک فوتودیود کالیبره شده در هر طول موج می‌توان بازده طیفی را اندازه گرفت.

### ۹-۳- اندازه‌گیری سطح فرمی و بار تجمع یافته (Fermi level and accumulated charge)

این آنالیز عمدتاً برای سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای انجام می‌شود. با استفاده از این آنالیز چند پارامتر مهم سلول خورشیدی رنگدانه‌ای به شرح زیر قابل اندازه‌گیری است:

اندازه‌گیری تراز فرمی در حالت مدار باز در شدت‌های مختلف نور

اندازه‌گیری جریان اتصال کوتاه در شدت‌های مختلف نور

اندازه‌گیری تراز فرمی الکتروود در حالت اتصال کوتاه

اندازه‌گیری عمق و چگالی ترازهای انرژی در الکترودهای نانوساختاری در حالت مدار باز

اندازه‌گیری چگالی بار تجمع یافته در حالت اتصال کوتاه

#### ۹-۴- طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (Electrochemical Impedance Spectroscopy)

طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی یکی از مهم‌ترین روش‌های مشخصه‌یابی سیستم‌های الکتروشیمیایی و از جمله‌ی آن سلول‌های خورشیدی فوتوالکتروشیمیایی رنگدانه‌ای است. امپدانس به صورت نسبت ولتاژ به جریان سیگنال تعریف می‌شود.

منابع:

مقالات سایت آموزش ستاد نانو

کتاب سلول‌های خورشیدی نانو ساختار، نوشته دکتر صلواتی نیاسری، محمدثابت

جزوه آموزشی کلاس سلول‌های خورشیدی دکتر تقوی نیا

سایت [www.iust.ac.ir](http://www.iust.ac.ir)