

کاربرد فناوری نانو در سامانه‌های تبدیل مستقیم انرژی

محمد حسن مقدس	پرویز هاشمی	سجاد براتی بنی	هومن قلمی*
استادیار دانشکده مهندسی مکانیک	کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک	کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک	کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی
دانشگاه صنعتی مالک اشتر	دانشگاه صنعتی مالک اشتر	دانشگاه صنعتی مالک اشتر	دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
mhmogh@yahoo.com	p.hashemi@mut-es.ac.ir	sa.baraty@mut-es.ac.ir	h.ghalami@srbiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۴

چکیده

سوخت‌های فسیلی منابعی روبه زوال‌اند که جامعه و توسعه انسانی را در آینده‌ای نه‌چندان دور دچار کمبود سوخت خواهند ساخت. بنابراین روی آوردن به انرژی‌های نو امری ضروری می‌نماید. سامانه‌های تبدیل مستقیم انرژی مانند فتوولتائیک، پیل سوختی و ترموالکتریک جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی می‌باشند. این سامانه‌ها به ترتیب انرژی‌های خورشیدی، شیمیایی و حرارتی را به‌طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. در همین راستا، با توجه به مزایای زیادی که در استفاده از این سامانه‌ها وجود دارد، همواره چالش‌هایی نیز بر سر راه تولید و استفاده از آنها خودنمایی کرده است. با استفاده از فناوری نانو می‌توان این سامانه‌ها را با بازده بالاتر و قیمت کمتر تولید نمود و استفاده از آنها را گسترش داد.

واژگان کلیدی: فتوولتائیک، پیل سوختی، ترموالکتریک

۱. مقدمه

سامانه‌ها، سامانه‌های تبدیل مستقیم انرژی نامیده می‌شوند. سلول‌های فتوولتائیک می‌توانند تابش خورشید را مستقیماً به الکترسیته تبدیل کنند. پیل سوختی یک مبدل انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی است. سامانه‌هایی که مستقیماً گرما را به الکترسیته تبدیل می‌کنند، سامانه‌های ترموالکتریک نامیده می‌شوند. سامانه‌های تبدیل مستقیم انرژی در حال حاضر بازدهی پایین و قیمت بالایی دارند که مانع استفاده گسترده از آنها می‌شود. با استفاده از فناوری نانو می‌توان این سامانه‌ها را با قیمت پایین‌تر و بازده بالاتر تولید نمود

در حال حاضر مصرف انرژی جهان ۱۰ تراوات در سال است و تصور می‌شود تا سال ۲۰۵۰ م این مقدار به حدود ۳۰ تراوات برسد. با استفاده از انرژی‌های نو همچون سامانه‌های فتوولتائیک، پیل‌های سوختی، سامانه‌های ترموالکتریک، توربین‌های بادی و آبی، سامانه‌های زمین گرمایی و جز این‌ها می‌توان مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش داد. سامانه‌های فتوولتائیک، ترموالکتریک و پیل‌های سوختی، انرژی‌های خورشیدی، حرارتی و شیمیایی را به‌طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. این



[۱]. در این مقاله به کاربرد فناوری نانو در سامانه‌های تبدیل مستقیم انرژی شامل سامانه‌های فتوولتائیک، ترموالکترونیک و پیل‌های سوختی پرداخته شده است.

۲. فناوری نانو

با کمک فناوری نانو ساختارهایی می‌توان تولید کرد که خصوصیات آنها با ساختارهای میکروسکوپی همان مواد متفاوت است. وقتی مواد در مقیاس نانو مطالعه و بررسی می‌شوند، واکنش‌های و رفتار آنها در مقیاسه با حالتی که مطالعه در سطح ملکولی انجام می‌شوند کاملاً متفاوت است؛ زیرا در این قلمرو خصوصیات فیزیکی مواد تغییر می‌کند. از ویژگی‌های نانوساختارها نسبت سطح به حجم بالا می‌باشد. اولین اثر افزایش نسبت سطح به حجم نانوذرات بر خواص فیزیکی ذرات است. افزایش سطح ذرات، فشار سطحی را تغییر داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا فاصله بین اتم‌ها می‌شود. فاصله بین اتم‌های ذرات با کاهش اندازه آنها کاهش می‌یابد. اگر اندازه دانه باز هم بیشتر کاهش یابد، تغییرات شدید دیگری نیز رخ می‌دهد. تغییر فاصله بین اتم‌های ذرات و نسبت سطح به حجم زیاد در نانوذرات، تأثیر متقابلی در خواص ماده دارد. وقتی ابعاد نانوکریستال کاهش می‌یابد، انرژی سطح زیاد می‌شود و این امر در خواص ترمودینامیکی ماده تأثیرگذار است [۲].

۳. کاربرد فناوری نانو در سلول‌های خورشیدی

با توجه به هزینه بالای سلول‌های خورشیدی، استفاده از آنها به‌طور قابل توجهی فراگیر نشده است، با این‌وجود تحقیقات برای کاهش هزینه‌های ساخت و افزایش راندمان آنها همچنان ادامه دارد.

با اتصال یک نیمه‌هادی نوع p (پذیرنده) به یک نیمه‌هادی نوع n (دهنده)، میدان الکتریکی داخلی ایجاد می‌شود که جهت آن از ناحیه n به ناحیه p است. در این شرایط ترازهای فرمی دو ناحیه با یکدیگر هم‌سطح شده‌اند و یک

میدان الکتریکی داخلی نیز شکل گرفته است. اگر در چنین شرایطی، نور خورشید به پیوند بتابد، فوتون‌هایی که انرژی آنها از انرژی شکاف نیمه‌هادی بیشتر است، زوج الکترون - حفره تولید می‌کند، به این ترتیب تراکم بار منفی در ناحیه n و تراکم بار مثبت در ناحیه p زیاد می‌شود. این تراکم بار، به‌شکل ولتاژی در دو سر پیوند قابل اندازه‌گیری است. به این ترتیب انرژی فوتون‌های نور خورشید به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود [۲].

۱-۳. سلول‌های خورشیدی نسل اول و دوم

فناوری نسل اول بر پایهٔ ویفرهای سیلیکونی^۱ با ضخامت ۳۰۰ تا ۴۰۰ میکرومتر است که ساختار بلوری یا چندبلوری دارند. قیمت بالای مواد اولیه بر قیمت این سلول‌ها بسیار تأثیرگذار می‌باشد. از سلول‌های نسل اول می‌توان به سلول‌های سیلیکون تک‌کریستالی و چندکریستالی اشاره کرد. سلول‌های تک‌کریستالی در آزمایشگاه بازده ۲۴ درصد و در صنعت بازده ۱۵ درصد دارند. این در حالی است که سلول‌های چندکریستالی در نمونه‌های آزمایشگاهی بازده ۱۸ درصد و در صنعت بازده ۱۴ درصد دارند، اما هزینهٔ تولید آنها کمتر از سلول‌های تک‌کریستالی می‌باشد. طی ۱۵ سال گذشته فناوری نسل دوم یا فناوری لایه نازک سلول‌های خورشیدی مورد توجه قرار گرفته است. این سلول‌ها بر اساس لایه‌نشانی نیمه‌هادی روی بسترهای شیشه‌ای، فلزی یا پلیمری در ضخامت‌های ۳ تا ۵ میکرومتر ساخته می‌شوند. هزینهٔ مواد اولیه در سلول‌های نسل دوم پایین‌تر است و اندازهٔ سلول نیز تا ۱۰۰ برابر بزرگتر از اندازهٔ سلول ساخته شده با فناوری نسل اول است که مزیتی برای تولید انبوه آن محسوب می‌شود. بازدهی سلول‌های نسل اول به‌دلیل کیفیت بالاتر مواد از بازدهی سلول‌های نسل دوم بیشتر می‌باشد. از سلول‌های نسل دوم می‌توان به سلول‌های لایه‌نازک سیلیکون غیرکریستالی با بازده ۱۳ درصد اشاره نمود [۳].

۳-۲. محدودیت بازده فتوولتائیک سلول‌های نسل

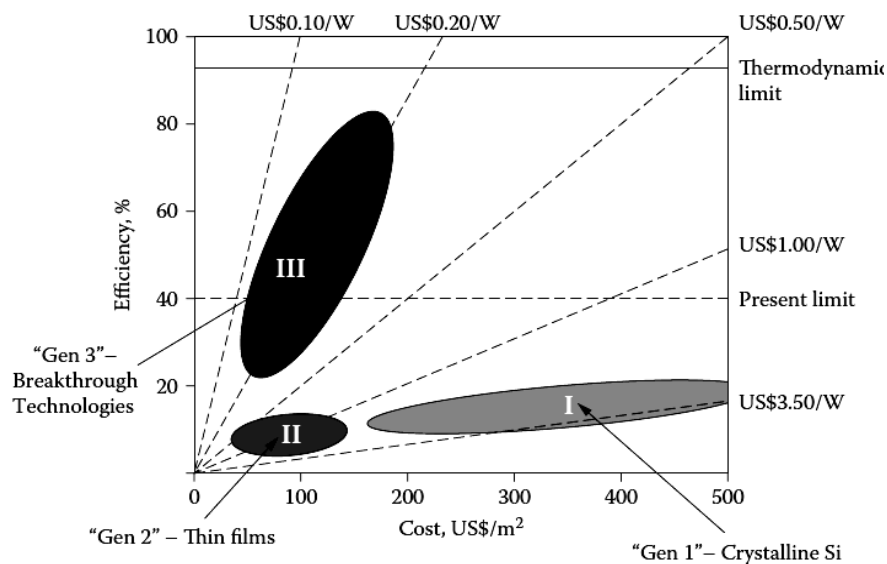
اول و دوم

فاصله بین نوارهای انرژی در نیمه‌هادی گپ نامیده می‌شود. چونهیج تراز انرژی در گپ قرار ندارد، الکترون - حفره نمی‌تواند انرژی متناظر با نواحی درون گاف داشته باشند. بنابراین وقتی نور به یک نیمه‌هادی می‌تابد، تنها فوتون‌هایی که انرژی‌های بیش از باندگپ^۲ دارند قادر خواهند بود الکترون‌ها را از نوار ظرفیت به نوار هدایت بالا ببرند. این پدیده پیامدهایی جدی بر عملکرد سلول‌های خورشیدی خواهد داشت؛ زیرا نشان می‌دهد تنها بخشی از فوتون‌های تابیده شده توسط سلول جذب خواهد شد و فوتون‌هایی با انرژی کمتر از گپ تلف خواهند شد. اگر انرژی فوتون بیش از باندگپ باشد، قادر است الکترون را به نوار هدایت بالا ببرد، اما این الکترون تمایل دارد به سرعت به پایین نوار هدایت آمده کمترین انرژی را اختیار کند (پدیده تابش فونونی). این انرژی منجر به گرم شدن سامانه خواهد شد. از دیگر تلفات مهم باز ترکیب جفت الکترون

حفره برانگیخته شده می‌باشد. اگر در ساخت یک سلول خورشیدی از سیلیکون که باند گپی حدود ۱/۳ الکترون ولت استفاده شود یک حد نهایی برای بازده سلول وجود خواهد داشت. شکلی و کوشر^۳ محدودیت بازده به دلیل عدم جذب و تابش فونونی را تعیین کردند. آنها نشان دادند که عملکرد یک سلول استاندارد با باندگپ ۱/۳ الکترون ولت به ۳۱ درصد محدود می‌شود. این در حالی است که بازده تبدیل انرژی از یک منبع با دمای ۶۰۰۰ کلوین با یک چاه به دمای ۳۰۰ کلوین، با توجه به بازده کارنو ۹۵ درصد می‌باشد.

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{sink}}}{T_{\text{source}}} = 1 - \frac{300}{6000} = 0.95 \quad (1)$$

بنابراین بازده سلول‌های خورشیدی قابلیت افزایش به این مقدار را خواهند داشت. سلول‌های خورشیدی که چنین بازدهی دارند، نسل سوم سلول‌های خورشیدی نامیده می‌شوند. شکل ۱ مقایسه بین هزینه و بازده سلول‌های نسل اول، دوم و سوم را نمایش می‌دهد [۳-۴].



شکل ۱. نمودار بازده - هزینه سلول‌های خورشیدی [۴]

۳-۳. روش‌های افزایش بازده سلول‌های خورشیدی

سه روش برای افزایش بازده پیشنهاد شده است، که به ترتیب عبارت‌اند از:

۱. افزایش تعداد سطوح انرژی
۲. به‌دام انداختن حامل‌ها قبل از ترمالیزاسیون^۴

۳. تولید چند جفت حامل از فوتون‌های با انرژی بالا و یا تولید یک جفت حامل از ترکیب فوتون‌های با انرژی پایین.

این راه‌کارها برای افزایش بازده سلول‌های خورشیدی به‌وسیله فناوری نانو در نسل سوم سلول‌ها به‌کار رفته‌اند.

۳-۴. سلول‌های خورشیدی نسل سوم

با کاربرد فناوری نانو می‌توان نسل سوم سلول‌های خورشیدی را با هزینه کمتر نسبت به سلول‌های نسل دوم ساخت؛ دلیل آن نیز افزایش بازده سلول‌های دوم و حفظ هزینه‌های آن می‌باشد. سلول‌های متوالی، سلول‌های خورشیدی چاه کوانتومی، سلول‌های خورشیدی نقطه کوانتومی و سلول‌های حساس به رنگ، نسل سوم سلول‌های خورشیدی را تشکیل می‌دهند [۳-۴].

۱-۳-۴. سلول‌های متوالی

یکی از عوامل اصلی تلفات در سلول‌های تک‌اتصال ناشی از ترمالیزاسیون سریع حامل‌های برانگیخته شده می‌باشد. یک راه برای کاهش این تلفات، تقسیم محدوده وسیع گسیل طیف‌های خورشیدی به چند محدوده انرژی و استفاده از هر محدوده در سلولی که باندگپ آن با این محدوده برابر باشد، است. سلول‌های متوالی هم‌اکنون به‌صورت تجاری تولید می‌شوند. از این نوع می‌توان به سلول‌های متوالی سیلیکونی و سلول‌های متوالی گالیم آرسناید اشاره نمود. هم‌اکنون سلول‌های ۲ و ۳ اتصال گالیم آرسناید برای استفاده در فضایی‌ها با بازده ۳۰ درصد و سلول‌های ۴ اتصال با بازده ۴۰ درصد توسعه یافته‌اند. نمونه‌ای از این سلول در شکل ۲ نمایش داده شده است [۵]. معمولاً این سلول به شیوه لایه‌نشانی شیمیایی بخار ساخته می‌شوند.

۲-۳-۴. سلول‌های حساس به رنگ

مبانی کارکرد سلول‌های حساس به رنگ همانند سایر ادوات فتوولتائیک رایج بر پایه اتصال p-n نمی‌باشد. در

مرحله اول، مولکول رنگینه رونشینی شده در سطح نانوکریستال‌های دی اکسید تیتانیوم فوتون تابیده‌شده را جذب نموده و در نتیجه، یک الکترون از حالت پایدار به حالت برانگیخته و ناپایدار منتقل می‌گردد. الکترون برانگیخته از مولکول رنگینه جدا شده و به نوار رسانایی دی اکسید تیتانیوم تزریق می‌شود. الکترون تزریق‌شده در میان ساختار نانوکریستالی متخلخل نفوذ کرده و بعد از آن، پس از عبور از یک مصرف‌کننده به الکتروود کاتد انتقال پیدا می‌کند. در الکتروود کاتد، الکترون به تری یدید در الکترولیت انتقال داده شده و یون یدید ایجاد می‌شود و با کاهش رنگینه اکسیدشده به‌وسیله یون یدید در الکترولیت، چرخه انتقال الکترون پایان می‌یابد (شکل ۳). سطح ویژه‌ای که نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم فراهم می‌کنند ۱۰۰۰ برابر بیشتر از الکتروود مسطح است و سلول خورشیدی که با استفاده از نانو ذرات ساخته شده ۱۰۰۰ برابر سلول خورشیدی متشکل از لایه نازک تیتانیوم پوشیده از تک‌لایه رنگ، جریان تولید می‌کند. سلول تحقیقاتی از این نوع بین ۱۰ تا ۱۲ درصد بازده دارد.

۳-۴-۳. سلول خورشیدی نقطه کوانتومی

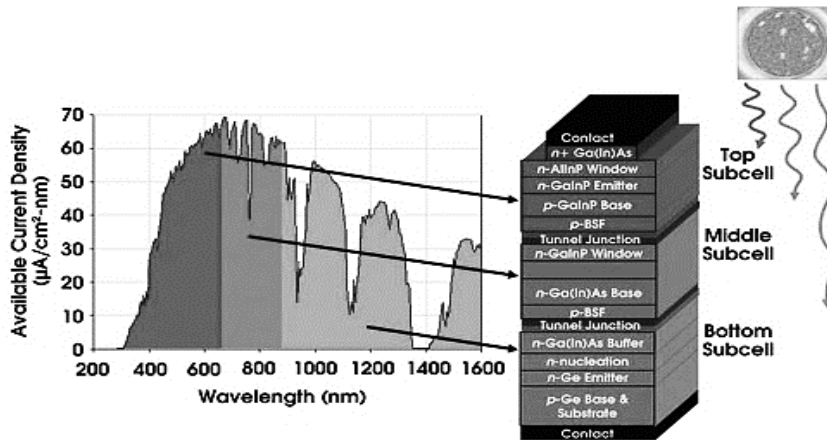
نقاط کوانتومی نانوبلورهای نیمه‌رسانای صفربعدی هستند که قطر فیزیکی آنها کمتر از شعاع بوهر اکسیتون است. این مواد نسبت به نانوذرات توده‌ای رفتار متفاوتی نشان می‌دهند و دارای ویژگی‌های اپتوالکترونیکی جالب و قابل توجهی هستند. در انقلابی که برای تولید سلول‌های خورشیدی ارزان قیمت با بازده بالا آغاز شده است، نقاط کوانتومی نقش پیشتازی دارند. با کاربرد نقاط کوانتومی در ساختار سلول خورشیدی امکان ایجاد چند زوج الکترون حفره از فوتون‌های با انرژی بالا فراهم می‌شود و این امر می‌تواند بازده سلول خورشیدی را افزایش دهد.

۴-۳-۴. سلول خورشیدی چاه کوانتومی

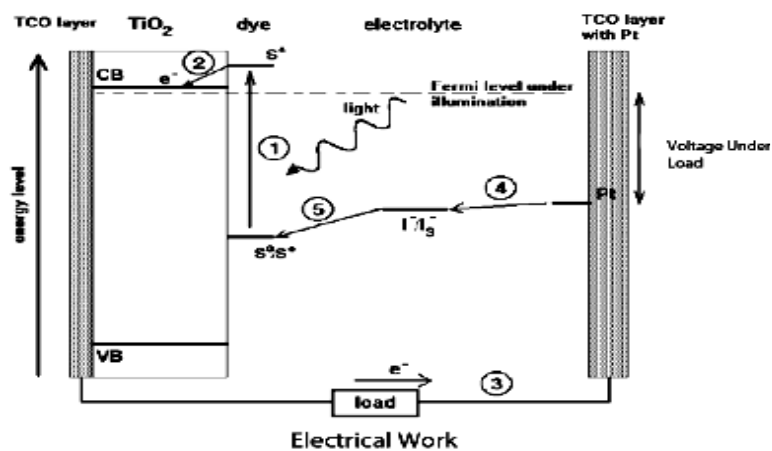
چاه‌های کوانتومی یک نانوساختار دویبعدی می‌باشند و از لایه‌هایی با باندگپ متفاوت ساخته می‌شوند. وقتی یک

بر لایه‌ها حالت‌های مقید را به وجود می‌آورد. افزودن چاه‌های کوانتومی سبب افزایش پاسخ‌دهی طیفی و افزایش جریان نسبت به سلول‌های خورشیدی با یک باندگپ می‌شود.

لایه با باندگپ کوچک بین دو لایه با باندگپ عریض قرار می‌گیرد، در باندهای هدایت ووالانس چاه کوانتومی تشکیل می‌شود و محدودیت حرکت الکترون در جهت عمود



شکل ۲. سلول متوالی گالیم آرسناید [۵]



شکل ۳. شماتیک سلول خورشیدی حساس شده با رنگ [۵]

نانوذرات میلیون‌ها پرش انجام می‌دهند. این پرش‌ها سرعت انتقال الکترون را کاهش می‌دهد و احتمال ترکیب الکترون با یون یدید موجد در الکترولیت را افزایش می‌دهد؛ زیرا سطح نانوذرات با رنگ پوشیده شده و یون یدید به اندازه کافی کوچک هست که بتواند در رنگ نفوذ کرده و با الکترون موجود در سطح ترکیب شود و خود را احیا کند.

۳-۴-۵. سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگ مبتنی بر نانو سیم

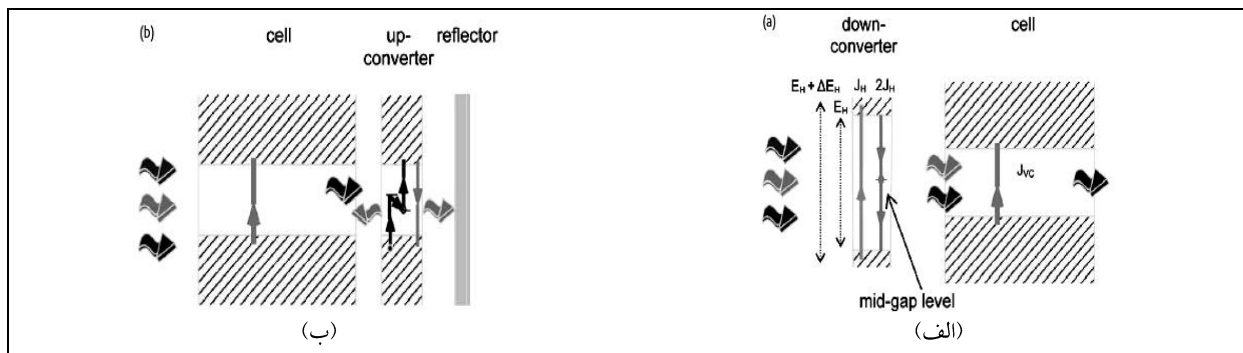
یکی از محدودیت‌های سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ مبتنی بر نانوذرات این است که الکترون‌هایی که به وسیله فوتون تولید شده‌اند، در مسیر گذر از فیلم متخلخل دی اکسید تیتانیوم و رسیدن به الکتروود شفاف در بین

این ترکیب‌شدن جریان سلول خورشیدی را کاهش داده و ضخامت فیلم متشکل از نانوذرات را کاهش می‌دهد. در سلول خورشیدی نانو سیمی، نانو سیم‌ها روی یک زیرلایه هادی شفاف رشد داده می‌شوند و با یک تک لایه رنگ پوشانده می‌شوند. بقیه مونتاژ سلول خورشیدی همانند سلول نوع مبتنی بر نانوذرات است. این هندسه برای الکترون‌ها مسیر مستقیمی به سوی الکتروود مهیا می‌کند [۲].

۶-۴-۳. تنظیم طیف

محدودیت اصلی در بازده سلول‌های خورشیدی، ناشی از طبیعت چند رنگ طیف خورشیدی می‌باشد. بنابراین با اصلاح طیف خورشیدی برخوردار می‌توان بازده سلول‌های

خورشیدی تک‌اتصال را افزایش داد. نانو ساختارهایی مانند نقاط کوانتومی، مولکول‌های رنگ پخش‌کننده نور و شیشه‌های حاوی لانتانیدها، قادر به جذب فوتون‌ها با طول موج مشخص و ساطع کردن فوتون با طول موج متفاوت می‌باشند. مبدل پایین در جلوی سلول قرار می‌گیرد و می‌تواند جریان را با تبدیل فوتون‌های فرابنفش به تعداد زیادی فوتون‌های مرئی افزایش دهد. برای این منظور از فسفرهای شبتاب و نانوکریستال سیلیکون و سیلیکون متخلخل استفاده می‌شود. یک مبدل بالا می‌تواند با استفاده از فوتون‌هایی با انرژی زیر باندگپ که توسط سلول جذب نشده‌اند، جریان را افزایش دهد. بیشترین بازده مبدل گزارش شده مربوط به جفت یون‌های لانتانید Yb,Er و Yb,Tm می‌باشد (شکل ۴) [۳-۴].

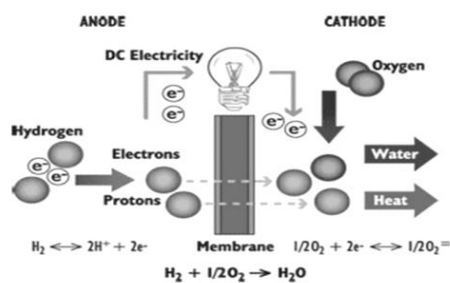


شکل ۴. تنظیم طیف در؛ الف) مبدل پایین، ب) مبدل بالا [۴]

۴. پیل سوختی

پیل سوختی یک مبدل انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی است. این تبدیل مستقیم بوده و از بازده بالایی برخوردار است. گاز هیدروژن به‌عنوان سوخت ایده‌آل در پیل سوختی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع می‌توان گفت که در این تبدیل از عمل عکس الکترولیز آب استفاده می‌گردد. در پیل سوختی حالتی از انرژی به حالت دیگر تبدیل می‌شود، به طوری که در این تبدیل مواد داخل پیل مصرف نمی‌شوند. اجزای تشکیل‌دهنده پیل‌های سوختی تقریباً شباهت زیادی بهم دارند. همه پیل‌های سوختی دارای دو الکتروود آند و کاتد می‌باشند. ما بین آند و کاتد در پیل‌های سوختی

الکترولیت قرار می‌گیرد. هر پیل سوختی دارای یک ماتریس نگه‌دارنده است که در برگیرنده الکترودهای کاتد و آند و همچنین الکترولیت مربوطه است و جنس آن وابسته به نوع الکترولیت پیل سوختی است (شکل ۵) [۱].



شکل ۵. فرایند شیمیایی در پیل سوختی [۱]

۱-۴. انواع پیل‌های سوختی

پیل‌های سوختی را به‌طور معمول، بر اساس نوع الکترولیتی که در آن به کار می‌رود، به پنج دسته طبقه‌بندی می‌کنند.

پیل‌های سوختی قلیایی یا پتاس: الکترولیت این نوع پیل از محلول هیدروکسید پتاسیم است. دمای عملیاتی بین ۱۵۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. الکترولیت مورد استفاده که محلول بر پایه آب است معمولاً در یک ماتریس متخلخل (از جنس آزبست) نگهداری می‌شود. الکتروکاتالیست در پیل سوختی قلیایی شامل نیکل، نقره و اکسیدهای فلزات است. کاتالیست مورد استفاده در این نوع پیل از مواد متنوعی از قبیل نیکل، نقره و اکسید فلزات است که از کاتالیست‌های سایر پیل‌های سوختی ارزاتر است. به دلیل دمای پایین کارکرد و در نتیجه شروع به کار سریع پیل سوختی کاربرد پیل سوختی قلیایی به کاربردهای فضایی کوچک و صنایع نظامی خاص محدود می‌شود.

پیل‌های سوختی کربنات مذاب: الکترولیت این پیل‌ها ترکیبی از مذاب کربنات نمک‌ها (مانند کربنات لیتیم و کربنات سدیم) می‌باشد و در ماتریسی از جنس LiAlO_2 نگهداری می‌شود. بواسطه دمای کارکرد بالا این نوع پیل سوختی، نیکل به عنوان آند و اکسید نیکل به عنوان کاتد استفاده می‌شود و نیازی به استفاده از فلزات کمیاب در الکترودهای این پیل سوختی نیست. برای ذوب کربنات نمک و دستیابی به هدایت یون بهتر در الکترولیت، پیل سوختی کربنات مذاب دمای بالا (۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد) کار می‌کند. از این‌رو این پیل‌ها در خانواده پیل‌های سوختی دما بالا طبقه‌بندی می‌شوند.

پیل‌های سوختی اسید فسفریک: الکترولیت مورد استفاده در این پیل سوختی اسید فسفریک می‌باشد. محدوده دمای کارکرد این پیل سوختی بین ۱۵۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد است. هدایت یونی در اسید فسفریک نسبتاً ضعیف است ولی به علت پایداری بیشتر نسبت به سایر اسیدها جهت استفاده در این نوع پیل سوختی ارجحیت دارد. کاتالیست مورد استفاده در پیل سوختی اسید فسفریک

پلاتین و ماتریسی که برای نگهداری اسید به کار می‌رود از جنس کاربید سیلیکون است. استفاده از کاتالیزور پلاتین سبب افزایش سرعت واکنش‌های آند و کاتد می‌گردد. تأمین هیدروژن مورد نیاز برای پیل سوختی اسید فسفریک با به کارگیری یک مبدل خارجی انجام می‌گیرد که در آن سوخت هیدروکربن به هیدروژن تبدیل می‌شود. گرمای بوجود آمده در پیل سوختی اسید فسفریک می‌تواند در کاربرد ترکیبی گرما و برق مورد استفاده قرار گیرد. از نکاتی که می‌بایست در پیل سوختی اسید فسفریک مدنظر قرار گیرد، مقاومت اجزای آن می‌باشد، که بایستی در برابر خوردگی اسید مقاومت بالایی از خود نشان دهند.

پیل‌های سوختی اکسید جامد: این نوع پیل‌ها در حال حاضر بالاترین دما را در میان انواع پیل سوختی دارند. محدوده دمای عملکرد این پیل ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد است و به همین دلیل از انواع سوخت‌ها در آن می‌توان استفاده نمود. این پیل سوختی دو ساختار صفحه‌ای و لوله‌ای دارد و از الکترولیت جامد سرامیکی نازکی به جای الکترولیت مایع استفاده می‌شود.

پیل‌های سوختی پلیمری: پیل سوختی پلیمری دارای الکترولیت پلیمری به شکل یک ورقه نازک منعطف است که هادی یون هیدروژن (پروتون) می‌باشد و بین دو الکتروده متخلخل قرار می‌گیرد.

نفیون^۶ یکی از بهترین الکترولیت‌های مورد استفاده در این نوع پیل سوختی است. کاتالیست مورد استفاده در این پیل سوختی اغلب از جنس پلاتین بوده و میزان کاتالیست مصرفی در الکترودهای این نوع پیل سوختی بیشتر از سایر انواع پیل سوختی است. به دلیل جامد بودن الکترولیت این پیل سوختی و همین‌طور انعطاف پذیر بودن آن امکان شکستن یا ترک خوردن در آن کم است. در مقایسه با انواع دیگر پیل سوختی، برای یک حجم و وزن معلوم پیل سوختی پلیمری توان بیشتری تولید می‌کند. این نوع پیل سوختی به دلیل دمای پائین به زمان کمی برای راه‌اندازی نیاز دارند و همین خصوصیت آن‌ها را بهترین گزینه در کاربردهای



وسایل نقلیه بعنوان جایگزین برای موتور احتراق داخلی دیزلی و بنزینی معرفی می‌نماید [۵-۱].

۲-۴. معایب عمده پیل‌های سوختی

هزینه تولید: چون واکنش‌ها در پیل سوختی از نوع اکسایش و احیا می‌باشند این واکنش‌ها خیلی آهسته صورت می‌پذیرند و در نتیجه نیاز به کاتالیزور دارند و کاتالیزورهای مناسب این واکنش‌ها فلزهای مانند پلاتین، نیکل، روتینیم و جز این‌ها می‌باشد که جزء فلزهای خیلی گرانقیمت می‌باشد. به عنوان مثال تقریباً هر گرم از فلز پلاتین قیمتی حدود ۳۰ دلار دارد. و همین امر موجب تحمل هزینه بسیار سنگین ساخت پیل‌های سوختی برای سازندگان و مصرف کنندگان می‌شود.

وزن: پیل‌های سوختی از باتری‌های متداول سنگین‌تر هستند و محققین در پی کاهش وزن آنها می‌باشند.

دمای کارکرد بالا: پارامتر دما و کاهش آن می‌تواند در افزایش عمر پیل‌های سوختی نقش مهمی ایفا کند. مینیمم کردن دما می‌تواند باعث کاهش مسائلی همچون:

زیت‌رینگ^۷ الکترودها، نفوذ سطحی بین مواد الکترولیت و الکترودها و تنش‌های مکانیکی بخاطر ضرایب انبساط حرارتی متفاوت اجزای سلول گردد. اما کاهش دمای کاری منجر به کاهش راندمان سلول می‌گردد، زیرا از طرفی هدایت یونی کاهش یافته و از سوی دیگر اکتیواسیون الکترودها افزایش می‌یابد. در حال حاضر یکی از اهداف تحقیقات در پیل سوختی کاهش دمای کاری می‌باشد. در دمای پایین هدایت یونی پایینی دارد و بازده عملکرد را کاهش می‌دهد که باید این مهم نیز مورد توجه قرار گیرد. همچنین دمای زیاد موجب اعمال تنش‌های حرارتی زیادی به کلیه اجزای پیل سوختی می‌شود.

حجم بالا: از دیگر معایب پیل‌های سوختی می‌توان به حجم بالای آنها اشاره کرد. حجیم بودن پیل‌ها خود مانعی برای عدم جایگزینی بجای باتری‌های معمولی است [۵].

۳-۴. کاربرد فناوری نانو در پیل‌های سوختی

می‌دانیم که در الکترودهای پیل سوختی به دلیل آهسته بودن فرآیند واکنش از کاتالیزور استفاده می‌شود. آرایش اجزاء در این پیل به نحوی است که الکترولیت یا غشا بین دو الکتروود قرار می‌گیرد (شکل ۶). کاتالیزور (پلاتین، نیکل و جز این‌ها) تنها در نقاطی که در تماس با الکتروود و الکترولیت باشد، می‌تواند واکنش‌های پیل سوختی را کاتالیز یا تسریع نماید. به این نقاط «مرز سه فازی»^۸ می‌گویند. در گذشته الکتروود پیل‌های سوختی، تماماً از جنس کاتالیزور مطلوب ساخته می‌شد. اما امروزه به دو علت این کار انجام نمی‌شود: یک، در نتیجه‌ی ساخت این الکترودها، مقدار زیادی کاتالیزور، مصرف شده و قیمت پیل سوختی بسیار گران می‌شد. دو، تعداد مولکول‌های کاتالیزور که می‌توانند روی سطح قرار گیرند و با الکترولیت در تماس باشند (یعنی در مرز سه فازی قرار گیرند) بسیار کمتر از کل مولکول‌های کل کاتالیزور است. این یعنی اینکه بیشتر مولکول‌های کاتالیزور نمی‌توانند نقش کاتالیزوری داشته باشند و در واقع، مولکول‌های از کاتالیزور که روی سطح قرار ندارند به هدر می‌روند. به بیانی دیگر چون تعداد مولکول‌های کاتالیزور در مرز سه فازی کم بود، بازده پیل سوختی هم پایین بود. بنابراین، برای حل این مشکل باید دو مسئله رفع می‌شد.

یک: مقدار کاتالیزور مصرفی در ساخت پیل سوختی کاهش می‌یافت، دو: سطح بیشتری از مولکول‌های کاتالیزور در دسترس قرار می‌گرفتند. یک راه برای رفع مشکلات مذکور این بود که کاتالیزور را بر روی ماده‌ای که سطح زیادی دارد پخش کنند. این ماده که بستر نام دارد علاوه بر داشتن سطح زیاد، باید رسانا هم باشد. امروزه از انواع مختلف کربن به عنوان بستر پیل‌های سوختی استفاده می‌شود. علت اصلی انتخاب کربن به عنوان بستر، ویژگی‌های بی‌نظیر این ماده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: با پخش کردن کاتالیزور بر روی کربن، اندازه ذرات کاتالیزور به حدود ۲ نانومتر می‌رسد. وقتی ذرات به ابعاد نانومتری می‌رسند، سطح تماس‌شان به‌طور چشم‌گیری

افزایش می‌یابد، در نتیجه با توزیع کاتالیزور بر روی یک بستر کربنی، می‌توان با مقدار بسیار کمتر پلاتین به سطح تماس زیادتری دست پیدا کرد. با این کار هم مقدار استفاده از کاتالیزور کم می‌شود و هم سطح کاتالیزور بیشتری در دسترس خواهد بود. علاوه بر این به علت واکنش‌های بین کاتالیزور و بستر، امکان دارد ساختار الکترونیکی اتم‌های کاتالیزور بهبود یابد که این امر باعث افزایش جزئی فعالیت کاتالیزوری می‌شود. به علاوه این برهم کنش‌ها موجب می‌گردد که ذرات کاتالیزور بر روی بستر گیر کنند، بنابراین ذرات کاتالیزور دیرتر کلوخه می‌شوند. با استفاده از فناوری نانو می‌توان الکترودهایی سبک، نازک و ارزان قیمت تهیه کرد که نسبت به الکترودهای معمولی بازده بهتری دارند. در این زمینه می‌توان از نانو فیبرهای کربنی، نانو لوله‌های کربنی یا ترکیباتی که دارای حفره‌هایی با اندازه نانومتری دارند استفاده کرد. در این میان نانو لوله‌های کربنی بیش از سایرین مورد توجه واقع شده‌اند (شکل ۷). این مواد دارای خواص جالبی هستند. به علت همین ویژگی‌های منحصر به فرد نانولوله‌های کربنی، امروزه آنها گزینه‌ای مناسب برای بستر کاتالیزور در پیل‌های سوختی به شمار می‌روند.

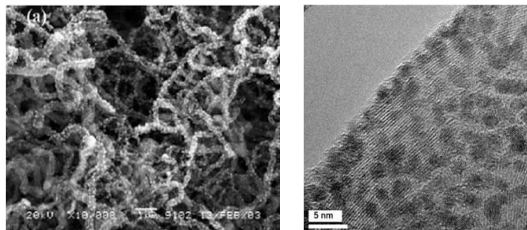
قیمت و حجم پیل سوختی و همچنین افزایش راندمان آن می‌شود. پارامتر اثرگذار دیگر مربوط به الکترولیت می‌شود بطوری که اصلاح الکترولیت نیز یکی از راهکارهای افزایش راندمان و بهبود شرایط کاری در پیل‌های سوختی مطرح است که توسط فناوری نانو می‌توان به آن دست پیدا کرد با توجه به دمای بالایی که پیل در آن کار می‌کند یعنی دمای بالایی که در آن دما الکترولیت بیشینه راندمان خود را دارد، کاهش دمای کاری و ابعاد پیل‌ها از جمله اهداف تحقیقات مربوط به الکترولیت‌ها می‌باشد. حضور ذرات تقویت کننده در ابعاد نانومتر تأثیری زیادی بر روی هدایت یونی و انرژی اکتیواسیون دارد. ساخت این ترکیبات در ابعاد نانو علاوه بر کاهش مواد مصرفی استحکام و بازدهی را بسیار نیز بالا می‌برد و هدف کاهش دمای کاری را نیز ارضا می‌کند [۶].

۵. نانوفناوری در سامانه‌های ترموالکتریک

سامانه‌هایی که مستقیماً گرما را به الکتروسیته تبدیل می‌کنند، سامانه‌های ترموالکتریک نامیده می‌شوند. اساس کار این سامانه‌ها استفاده از خواص نیمه‌هادی‌ها می‌باشد.



شکل ۶. نحوه قرارگیری کاتالیزور



شکل ۷. توزیع پلاتین بر روی نانو فیبرهای کربنی [۶]

۵-۱. عملکرد سامانه‌های ترموالکتریک

تبدیل انرژی گرمایی به انرژی الکتریکی به‌عنوان تبدیل ترموالکتریک شناخته می‌شود. اثر ترموالکتریک می‌تواند برای هر دو مورد تولید توان و سرمایه‌ش الکترونیک استفاده شود زمانی که گرادیان دما در کوپل ترموالکتریک شامل پایه n (انتقال الکترون) و پایه P (انتقال حفره‌ها) به کار می‌رود بار متحرک حمل شده به سمت انتهای گرم، تمایل

شکل ۷ نانولوله‌های کربنی را نشان داده می‌دهد که کاتالیزور پلاتین روی آنها قرار گرفته است با قراردادن کاتالیزور پلاتین روی کربن، ذرات پلاتین کوچک شده‌اند. پس می‌توان با استفاده از مقدار کمتری از کاتالیزور به سطح تماس زیادی دست پیدا کرد. در این صورت مقدار مصرف کاتالیزور کاهش و به تبع آن موجب کاهش وزن،

پخش به سمت سرد را دارد که یک اختلاف پتانسیل را تولید میکند (شکل ۸). این اثر تحت عنوان اثر سبیک^۹ شناخته می‌شود که $\alpha = \Delta V / \Delta T$ به عنوان ضریب سبیک تعریف می‌شود و اساس کار تولید توان ترموالکتریک است. بازده دستگاه‌های ترموالکتریک به طور کلی متأثر از عدد بدون بعد ضریب مریت^{۱۰} از مواد ترموالکتریک است که به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود. به طوری که در این رابطه α و K و T به ترتیب مقاومت الکتریکی هدایت حرارتی و دمای مطلق هستند. هدایت الکتریکی بالا (مربوط به گرمایش ژول پایین)، ضریب سبیک بالا (مربوط به اختلاف پتانسیل بالا) و هدایت گرمایی پایین (مربوط به اختلاف دمای بالا) نیز عواملی هستند که برای رسیدن به کارایی بالا مواد ترموالکتریک لازم هستند [۸].

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma T}{K} \quad (2)$$

۲-۵. کاربردهای نانو در مواد ترموالکتریک

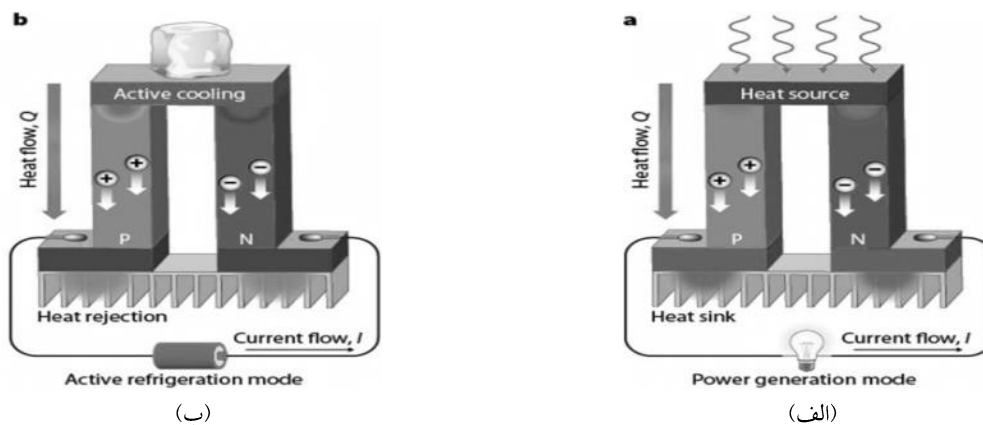
اخیراً مطالعه در خصوص مواد و دستگاه‌های ترموالکتریک مولدهای انرژی و خنک‌کننده‌های حالت جامد به دلیل قابلیت‌های فراوان آنها در زمینه حفظ محیط زیست به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. بنابراین مواد ترموالکتریک عالی، ترکیبی از بیشترین مقدار $\alpha^2 \sigma$ با کمترین مقدار ضریب انتقال حرارت را باید داشته باشند. یک دستگاه ترموالکتریک مناسب در مجموع در محدوده

دمایی کاربرد دستگاه، دارای ضریب مریت متوسط بالاتر از ۱ می‌باشد. برای داشتن بالاترین ضریب مریت در محدوده دمای اتاق و محصولات تجاری در این شرایط، استفاده از آلیاژهای نانوذرات Bi_2Te_3 بهترین گزینه برای مواد ترموالکتریک است.

برای بهبود عملکرد مواد ترموالکتریک یک راه موثر این است که ضریب هدایت حرارتی را بوسیله بهم پیوستن نانو ذرات در یک ماتریس (زمینه) بر پایه پراکنش فوق العاده بالای فنون کاهش دهیم. موادی چون ZrO_2 و TiO_2 از جمله معروفترین مواد در جهت کاهش ضریب انتقال حرارت در مواد ترموالکتریک هستند.

۶. نتیجه‌گیری

با کمک فناوری نانو نسل سوم سلول‌های خورشیدی را می‌توان با قیمت کمتر و بازدهی بیشتر نسبت به سلول‌های نسل اول و دوم ساخت. همچنین می‌توان به تولید پیل‌های سوختی سبکتر، پربازده تر و ارزانتر اقدام نمود. این فناوری در سامانه‌های ترموالکتریک نیز می‌تواند ساختار این سامانه‌ها را بهبود ببخشد و افزایش چشمگیری در ضریب مریت که متناسب با بازده این نوع سامانه‌ها است، داشته باشد. در نتیجه با استفاده از فناوری نانو می‌توان استفاده از انرژی‌های نو را گسترش داد و به تبع آن موجب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی شد.



شکل ۸ شماتیک کلی از سامانه ترموالکتریک [۷]

- [1] Angrist, W. *Direct Energy Conversion*, Allyn and Beacon Inc, Toronto, 1967.
- [2] Nozik, A. *Nano structured and photo electro chemical systems for solar photon conversion*, Imperial College Press, 2008.
- [3] Tsaalakos, L. *Nanotechnology for photovoltaics*, Taylor and Francis Group, 2010.
- [4] Fthenakism V. *Third Generation Photovoltaics*, InTech, 2012.
- [5] Gasteiger, A., A. Lamm, *Handbook of Fuel Cells – Fundamentals*, John Wiley & Sons, 2010.
- [6] Barber, F., *PEM fuel cells: theory and Practice*, Elsevier Academic Press, 2005.
- [7] Zahid, F., R. Lake, *Thermoelectric properties of Bi₂Te₃ atomic quintuple thin films*, Applied Physics Letters. 2010.
- [8] Rowe, D., *Handbook of thermoelectric: Micro to Nano*, CRC INC, 2006.

-
1. Silicon wafers
 2. Band gap
 3. Shockley & Kosher
 4. Thermalisation
 5. Lanthanides
 6. Nafion
 7. Sintering
 8. Three-phase boundary
 9. Seebeck effect
 10. Merit factor

