ساخت و مطالعهٔ یک سلول خورشیدی بر پایهٔ اکسید مس

فریبا وفائیان
دبیر راهنمای پژوهش‌سرای دانش‌آموزی باقرالعلوم شهرستان قرچک
فاطمه قنبری، مبینا ابراهیمی، زهرا گلستان و نیلوفر فعله‌گری
دانش‌آموزان پایه اول دبیرستان فرزانگان قرچک و عضو انجمن فیزیک پژوهش‌سرای دانش‌آموزی باقرالعلوم شهرستان قرچک

چکیده
در این، مقاله با بیان اهمیت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی، به تاریخچه و تحول سلول خورشیدی اشاره شده است. سپس با استفاده از وسایل سادهٔ آزمایشگاهی، اساس کار یک سلول خورشیدی ساده بر پایه اکسید مس مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفته که در پایان جریان خروجی از آن حدود ۲۰۰ برابر بهبود یافته است.

کلیدواژه‌ها: سلول خورشیدی، نیمرساناها، اکسید مس

مقدمه

مصرف انرژی جهان در سال ۱۹۶۰ Gtoe ۳/۳ بود (که هر Gtoe معادل ۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ تن بنزین و معادل ۴۱،۸۶۸،۰۰۰،۰۰۰ * ۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ژول انرژی است). در سال ۱۹۹۰ این رقم به Gtoe ۸/۸ بالغ گردید. و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۰ به Gtoe ۱۲ افزایش خواهد یافت. بنابراین این پرسش مطرح می‌شود که آیا منابع انرژی فسیلی در قرن آینده پاسخگوی نیاز انرژی برای توسعه و بقا خواهد بود یا خیر.

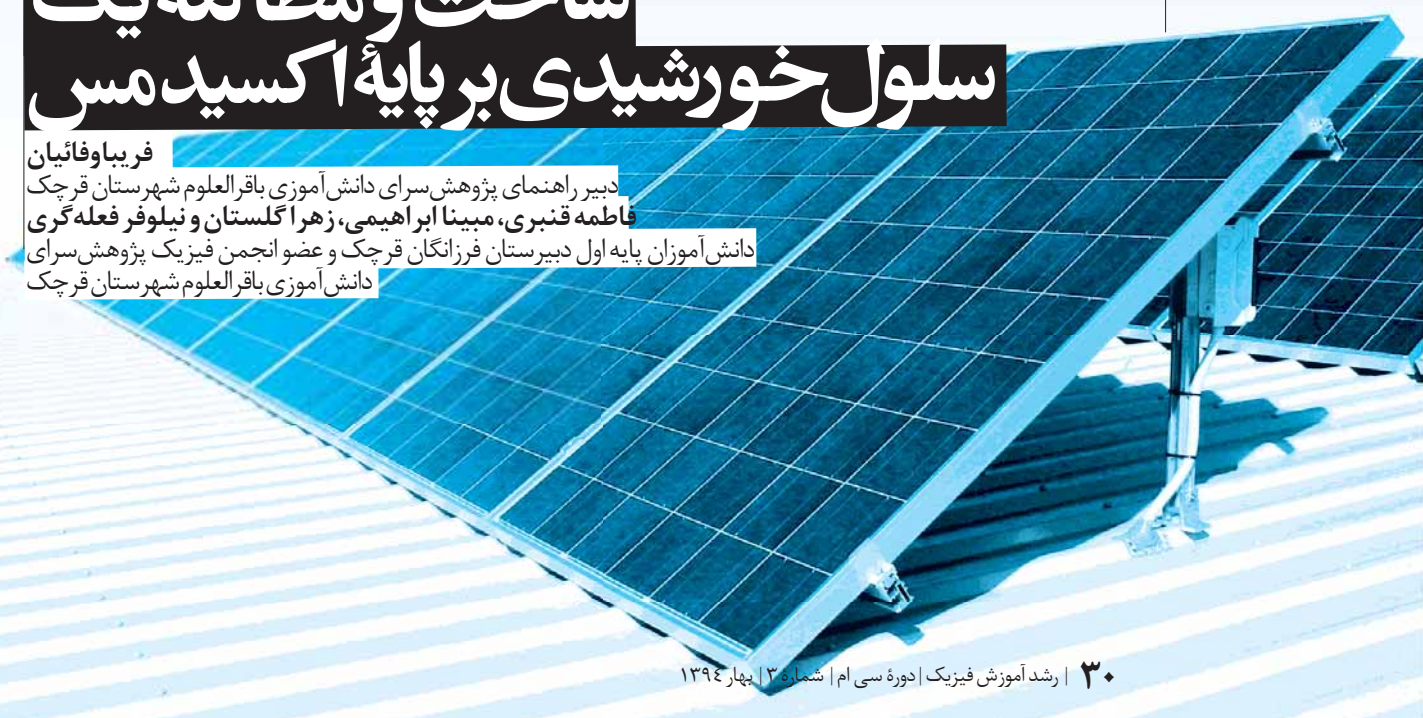
اگرچه سوخت‌های فسیلی از لحاظ احتراق مرغوبیت بالایی دارند؛ اما محدودیت منابع آن‌ها از یک سو و مشکلات زیست‌محیطی که امروزه سلامت جو را به‌خطر انداخته، از سوی دیگر جامعه انسانی را به تلاش برای استفاده از منابع جدید انرژی واداشته است.

شهرهای کوچک و بزرگ ایران از ۱۹۵ تا ۲۵۰ روز آفتابی در سال برخوردارند و این گویای توان بالقوهٔ زیاد کشور ما در استفاده از انرژی خورشید است. در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت ایران؛ انرژی خورشیدی در مرتبهٔ اول اهمیت قرار گرفته است و تحقیقات در این حوزه روزبه‌روز جدی‌تر می‌شود.

در حال حاضر قطعات سیلسیمی مورد نیاز صفحات خورشیدی از خارج از کشور وارد کشور می‌شود و فناوری ساخت این صفحات عملاً بومی نشده است.

۱-۲ تاریخچه

کشف پدیدهٔ فتوولتاییک را به فیزیک‌دان فرانسوی الکساندر ادموند بکرل[1] نسبت داده می‌شود که در سال ۱۸۳۹ مشاهده کرد که وقتی صفحات نقره‌ای باتری تحت تابش نور خورشید قرار می‌گیرند ولتاژ آن افزایش می‌یابد. اما اولین گزارش از پدیده فوتوولتاییک در یک ماده جامد را، در سال ۱۸۷۷، دو دانشمند کمبریج ار. ای. دی[2] و دبلیو. جی. آدامس[3] در مقاله‌ای به انجمن سلطنتی تقدیم کردند «با موضوع تغییرات در خواص الکتریکی سلنیم وقتی که تحت تابش نور قرار گیرد» در سال ۱۸۸۳ چارلز ادگار فریش[4] که یک مهندس برق اهل نیویورک بود، یک سلول خورشیدی سلینمی ساخت که از برخی جهات شبیه به سلول‌های خورشیدی سیلسیمی امروزی بود. این سلول از یک نانک نازک سلنیم تشکیل شده بود که با یک توری از سیم‌های خیلی نازک طلا و یک ورق حفاظتی از شیشه پوشانده شده بود. اما کارایی سلول ساخت او خیلی کم بود. به‌طوری که تنها کمتر از ۱درصد انرژی خورشیدی فرود آمده به سطح این سلول ابتدایی به الکتریسیته تبدیل می‌شد. با وجود این؛ درهمان زمان سلول‌های سلینمی سرانجام در



نورسنج‌های عکاسی به طور وسیعی به‌کار گرفته شد. در سال ۱۸۸۷، هاینریش هرتز[5] کشف کرد که نور فرابنفش حداقل ولتاژ لازم برای ایجاد جرقه برای پرش بین دو الکترود فلزی را تغییر می‌دهد. در سال ۱۹۰٤ هال واکس کشف کرد که ترکیبی از مس و اکسید مس به نور حساس است. همچنین در این سال اینشتین مقاله‌اش در زمینه اثر فوتوالکتریک را منتشر کرد. فهم کامل و مفصل‌تر از قوانین اساسی سلول‌های خورشیدی در سال ۱۹۰۵ توسط اینشتین و در سال ۱۹۰۳ توسط شوتکی[7] به‌وجود آمد. سلول‌های خورشیدی از اواسط ۱۹۰۵ موجود بود. اولین سلول خورشیدی سیلیسیمی با کارایی حدود ٦درصد با نور مستقیم را داریل‌چاپین[8]، جرالد پیرسون[9] و کالوین فولر[10] در سال ۱۹٤۱ ساختند که ابتدا در ماهواره‌های فضایی مورد استفاده قرار گرفت. البته بعضی‌ها اختراع سلول خورشیدی سیلیسیمی با کارایی زیر ۱درصد را اولین بار در سال ۱۹٤۱ به راسل اوهل[11] نسبت می‌دهند. اولین سلول خورشیدی توسط راسل اوهل ۱۹٤۱ با اتصال نیمرسانای سیلیسیمی نوع p,n ساخته شد.

در سال ۱۹٥٤ سه نفر در آزمایشگاه بل یک سلول خورشیدی با کارایی حدود ٦ درصد ساختند که بازده آن در مقایسه با مدل قبلی‌اش تا ۱۰ درصد افزایش یافته بود و پیشرفت چشمگیری به حساب می‌آمد. در دهه ۱۹۷۰ به دلیل افزایش قیمت نفت، سلول خورشیدی توسعه یافت و به این ترتیب انواع مختلفی از این سلول ها به بازار آمد.

۳-۱ فناوری فتوولتائیک و نیمرساناها

تاکنون مواد گوناگونی در ساخت سلول‌های خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که کارایی 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 کارایی بالا به انرژی مفید تبدیل کنند. موادی را که برای ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شوند می‌توان در چهار نسل طبقه‌بندی کرد.

۳-۲-۱ نسل اول (سلول‌های خورشیدی بلورین)

فناوری نسل اول بر پایه نانک‌های سیلیسیمی با ضخامت ٤۰۰-۳۰۰ میکرومتر است که ساختاری بلوری یا چند بلوری دارند که یا از بریدن شمش به‌دست می‌آیند یا از روش EFG و با ۱/٤eV کمک خاصیت **موبینگی** رشد داده می‌شوند.

سلول‌های نسل اول دارای موادی با کیفیت بالا و مقطع وسیع بودند که از اتصال نیم‌رساناهای نوع n و p از جنس سیلیسیم تشکیل می‌شدند.

سیلیسیم یکی از فراوان‌ترین عناصر در کره زمین است. این عنصر یک نیمرسانای بسیار مناسب برای استفاده در سلول‌های فتوولتائیک است. اما استخراج سیلیسیم از ماسه و خالص‌سازی آن قبل از رشد بلورهای سیلیسیم، فرایندی پرهزینه است. در ضمن برای تولید سلول‌های نسل اول انرژی بالایی در حد سوخت‌های فسیلی مصرف می‌شود.

۳-۲-۲ نسل دوم (سلول‌های خورشیدی لایهٔ نازک)

بیش از ۲۰ سال تحقیق و توسعه، سلول‌های خورشیدی لایهٔ نازک شروع به گسترش نمودند. این لایه‌ها کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه تولید الکتریسیته نسبت به کاهش نانک‌های سیلیسیمی به‌وجود آوردند.

سلول‌های نسل دوم یا فناوری لایه نازک براساس لایه نشانی نیم‌رسانا بر بسترهای شیشه‌ای فلزی یا پلیمری است کارایی سلول‌های نسل اول به دلیل کیفیت بالای مواد به‌کار رفته در آن‌ها که اغلب سلول‌های موجود در بازار را تشکیل می‌دهند از سلول نسل دوم بیشتر است. اما با گذشت زمان این اختلاف کارایی‌ها کم شده و سلول‌های نسل دوم جایگزین نسل اول شدند.

در سال ۱۹٦۱، شاکلی[12] و کوئیزر[13] با در نظر گرفتن یک سلول خورشیدی پیوندی به شکل یک جسم سیاه با دمای ۳۰۰کلوین نشان دادند که بیشترین کارایی یک سلول خورشیدی بدون توجه به نوع فناوری به‌کار رفته در آن، ۳۰ درصد است که در گاف انرژی یعنی انرژی ۱/٤ eV گالیم آرسنایدبه‌دست می‌آید. بنابراین کارایی سلول‌های خورشیدی نسل اول و دوم حتی در بهترین حالت نمی‌تواند از حدود ۳۰ درصد بیشتر شود. این در حالی است که حد کارنو برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی ۹٥ درصد است، و این مقدار تقریباً سه‌برابر بیشتر از کارایی نهایی سلول‌های نسل اول و دوم است.

بنابراین دستیابی به سلول‌هایی با کارایی‌هایی دو تا سه برابر کارایی‌های کنونی، امکان‌پذیر است. سلول‌های خورشیدی که دارای چنین بازدهی‌هایی باشند، نسل سوم سلول‌های خورشیدی نامیده می‌شوند.

۳-۲-۳ - نسل سوم

فناوری‌های این نسل در مرحله پیش از تجاری‌سازی است. فناوری نسل سوم به دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند:

۱. CPV؛
۲. سلول‌های خورشید آلی؛
۳. سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ؛
٤. سلول‌های خورشیدی پلیمری؛
٥. سلول‌های خورشیدی مبتنی بر بلورهای مایع.

سلول خورشیدی حساس به رنگ از دسته سلول‌های لایه نازک به‌شمار می‌آید و تنها نمونه‌ای از فناوری نسل سوم سلول‌های خورشیدی است که تاکنون به مرحلهٔ تجاری‌سازی رسیده است.

در سال ۱۹٥۴ سه نفر در آزمایشگاه بل یک سلول خورشیدی با کارایی حدود ٦ درصد ساختند که بازده آن در مقایسه با مدل قبلی‌اش تا ۱۰ درصد افزایش یافته بود

۴-۲-۳ نسل چهارم

دنیـا هم‌اکنـون در آغـاز راه طراحـی و تولید سـلول‌های خورشـیدی به کمک فنـاوری نانو اسـت و زمـان زیادی تا کاربردی کردن و افزایش کارایی آن‌ها باقی مانده اسـت اما با توجه به تنوع مواد اولیه برای این سلول‌ها نسبت به سلول‌های خورشیدی متداول، این هدف چندان دور به‌نظر نمی‌رسد.

۴-۱ طراحی یک سلول خورشیدی ساده در آزمایشگاه

۴-۲-۱ مرحله اول

دو ورقهٔ مسـی سمباده کشیده شده و مربعی شکل به ابعاد ۲۰*۲۰ را به‌صـورت مـوازی و در فاصلـه یک سـانتی‌متر از یکدیگر، در معرض تابش نور خورشید قرار دادیم. در حقیقت این دو ورقهٔ مسی الکترودهای منفی و مثبت باتری خورشیدی هستند. سپس ورقه‌های مس را، به کمک سیم‌های سوسماری به هم متصل کردیم و بدون اسـتفاده از هیچ‌گونه الکترولیتی یکی از دو ورقهٔ مسی را به خروجی منفی(-) و ورق دوم را به خروجی مثبت (+) میکرو آمپرسنج وصل نمودیم.

حتی با متمرکز نمودن نور خورشـید به کمک عدسی‌های قوی هیچ جریانی از میکروآمپرمتر عبور نمی‌کرد.

۴-۲-۲ مرحله دوم

بـا قرار دادن ورقه‌هـای مسـی درون الکترولیت آب نمک، آزمایـش را تکرار کردیم. در این مرحله نیز جریانی مشـاهده نشد.

۴-۲-۳ مرحله سوم

بـه مـدت ۳۰دقیقه؛ یکـی از ورقه‌های مسـی را با گرمای مستقیم و یکنواخت گرمکن برقی حرارت دادیم.

پس از اینکه روی سـطح این ورقه از یک لایهٔ نازک سـیاه پوشـیده شد؛ آن را سـرد کردیم و با آب و صابون شست‌وشو دادیم. در این زمان هیچ‌گونه فشاری را برای از بین بردن لایه سیاه به ورقه مسی اعمال نکردیم.

حال اگر صفحهٔ مس اکسـید شـده جایگزین الکترود شود که در برابر تابش نور مرئی خورشـید قـرار دارد، جریان فوتو الکترونی معادل ۵۰ میکروآمپر در مدار مشاهده خواهد شد.

۴-۲-۴ مرحله چهارم

به منظور افزایش بازده این سـلول، فلزات آهن، روی، چدن، آلومینیم، نقره، تیتانیم و طلا را، به جای صفحهٔمسـی، درون الکترولیت قرار دادیم. (الکتـرودی که در برابر تابش نور قرار نـدارد) وقتی این الکترود را از جنس آلومینیم انتخاب کردیم جریـان فوتوالکترونی تا ۲۰۰ برابر افزایـش پیدا کرد. جریان عبوری از مدار به حدود ۵-۳ میلی‌آمپر رسید.

۴-۳ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در زیر لایهٔ سیاه‌رنگ لایه‌ای از مس متمایل به نارنجی است که اصطلاحاً لایه حساس به نور نامیده می‌شود و بخش اصلی این سـلول خورشیدی را تشـکیل می‌دهد، این لایه نازک از اکسید مس cu_2O و نوعی نیمرسانای نوع p به حساب می‌آید. فوتون‌ها از نور خورشید با سلول خورشیدی برخورد می‌کند و توسط نیمرسانای ورقه اکسید مس جذب می‌شوند. الکترون‌ها در این نیمرسـاناها انرژی گرفته از قید هسته و مدار الکترونی خود رها شـده در کل ماده شـناور می‌شـدند. الکترون‌های آزادشـده، وارد محلول نمک (الکترولیت) و سـپس وارد ورقه مس تمیز می‌شـوند، از طریق سـیم به آمپرسنج و دوباره به ورقه اکسید مس انتقال می‌یابند. فرق این باتری با باتری‌های معمولی این اسـت که آغازگر جریـان الکتریکی یک واکنش شیمیایی نیست بلکه فوتون‌های نور مرئی است.

آرایش الکترونی مس به صورت زیر است:

$29[Cu]=18[Ar]: 4s^2 3d^9 4p$

زمانی که دو اتم مس هر کدام یک الکترون لایهٔ 3d خود را با اکسیژن به اشتراک می‌گذارند و ترکیب cu_2O ایجاد می‌شود؛ در زیر لایـه 4p مس حفره‌های زیادی برای پذیرش الکترون به‌وجود می‌آید.

فاصله نوار ظرفیت و نوار رسـانش مس، به علت پر نشدن لایه 3d. زیاد است بنابراین در مرحلهٔ دوم آزمایش انرژی فوتون‌های نور خورشید قادر به ایجاد جریان نبودند.

فلز آلومینیم به علت خاصیت الکترون‌کشندگی بالا می‌تواند جریان فوتوالکترونی را افزایش دهد. (برخلاف اثر فوتوالکتریک که جنس الکترود دوم در میزان جریان فوتوالکتریک تأثیر ندارد.)

با سـری کردن مدولی از این سـلول سـاده می‌توان جریان فوتوولتائیک را افزایش داد.

پی‌نوشت‌ها

1. Alexander Edmand Beq-uerel
2. R.E.Day
3. G. Adams
4. Charles Eclgar Fritts
5. Hinruch Hertz
6. Hall Wachs
7. Schottky
8. Daryl chapin
9. Gerald Pearson
10. Colvin Fuller
11. Russel Ohl
12. Shockley
13. Quisser

منابع

۱. کتاب فیزیک پایهٔ چهارم متوسطه
۲. وبگاه سازمان انرژی‌های نو ایران www.suna.org. ir
۳. وبگاه دانشگاه علم و صنعت ایران .www iust.ac.ir
۴. آموزش فناوری نانو www. edu.nano.ir
۵. خبرگزاری دانشجویان ایران isna. ir
6. http://voh. chem. ucla. edu/ classes/ Solar cells/ pdf/Student Solar. pdf
7. http:// sci-toys. com/sci-toys/ scitoys/ e chem/ echem2. html# solarcell