سلول‌های خورشیدی چگونه کار می‌کنند؟

مواد از نظر خواص هدایت الکتریکی، به سه دسته رسانا، نیمه‌رسانا و نارسانا تقسیم‌بندی می‌شوند. در سلول‌های خورشیدی، ما نیاز به استفاده از مواد نیمه‌رسانا داریم. مواد نیمه‌رسانا موادی هستند که گاف انرژی آن‌ها کمتر از گاف انرژی مواد نارسانا است. بنابراین اگر بتوان انرژی مورد نیاز را برای الکترون‌ها تأمین کرد، الکترون‌ها می‌توانند از سد انرژی ناشی از گاف عبور کرده و به تراز هدایت بروند. در مواد رسانا، عملاً این گاف انرژی وجود ندارد و الکترون‌ها به‌راحتی می‌توانند وارد تراز بالایی شده و در رسانش ماده همکاری کنند. اکنون سوال این است که چرا برای تولید جریان الکتریکی فقط مواد نیمه‌رسانا قابل استفاده هستند؟

تولید الکترون و حفره

به منظور تولید جریان الکتریکی، به الکترون‌ها نیاز داریم. در واقع، باید بتوانیم تعدادی الکترون را تولید کرده و آن‌ها را در یک سیم یا مدار به حرکت درآوریم. پس دو شرط لازم برای تولید جریان الکتریکی عبارتند از: اول تولید الکترون و دوم به حرکت در آوردن الکترون تولید شده. مواد رسانا به خودی خود تعداد بسیار زیادی الکترون آزاد دارند و شرط اول را به خوبی مهیا می‌کنند. برای تولید الکترون در مواد نیمه‌رسانا و نارسانا، لازم است شرایطی فراهم شود که الکترون‌های تراز ظرفیت بتوانند بر سد پتانسیل ناشی از گاف انرژی غلبه کرده و خود را به تراز هدایت ماده برسانند. در این صورت، این الکترون‌ها می‌توانند در هدایت الکتریکی ماده نقش ایفا کنند. برای غلبه بر این سد انرژی، باید به ماده انرژی بدهیم. این انرژی می‌تواند به شکل گرما یا امواج الکترومغناطیسی باشد. همچنین امواج الکترومغناطیسی نیز دارای انرژی هستند .انرژی امواج الکترومغناطیسی بر حسب طول موج آن‌ها مطابق با رابطه زیر قابل محاسبه است :

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$ رابطه ۱

در این رابطه، Eانرژی موج، (h)یک عدد ثابت به نام «ثابت پلانک»، cسرعت نور (m/s)و λ طول موج نور (m) است. همان طور که در این رابطه مشاهده می‌کنید، انرژی هر موج، با طول موج آن رابطه عکس دارد.

پرسش :با توجه به مطالبی که تاکنون آموخته‌اید، تلاش کنید تا واحدی برای «ثابت پلانک» بیابید. برای این کار می‌توانید از رابطه ۱ استفاده نمایید. آیا می‌توانید ثابت پلانک را توصیف کنید؟

یکی دیگر از راه‌های تأمین انرژی مورد نیاز الکترون‌های تراز ظرفیت برای رسیدن به تراز هدایت و غلبه بر

سد انرژی، استفاده از نور خورشید است که گستره‌ای از خانواده امواج الکترومغناطیسی را در بر می‌گیرد. طبق رابطه بالا، اگر سد پتانسیل خیلی بزرگ باشد (مانند مواد نارسانا)، برای تأمین انرژی غلبه بر سد، نیاز به طول موج‌های کوچکتر داریم؛ در حالیکه در مواد نیمه‌رسانا، این سد انرژی کوچکتر است و با استفاده از امواج با طول موج‌های بزرگتر می‌توان بر این انرژی غلبه کرد .

واحد انرژی در بررسی ساختار الکترونی مواد

واحد انرژی در سیستم یکاهای بین المللیSI ، ژول (J) است. این واحد انرژی برای بررسی ساختار الکترونی مواد، واحد بسیار بزرگی است و نیاز داریم از واحدی کوچکتر استفاده کنیم. واحد جایگزین، واحدی با عنوان الکترون-ولت با نماد eV است که بیانگر انرژی لازم برای اعمال اختلاف پتانسیل یک ولت به یک الکترون است. البته در فیزیک دبیرستان دیدیم که انرژی الکتریکی از رابطه E=qV به دست می‌آید. در این رابطه q بار الکتریکی و V اختلاف پتانسیل الکتریکی است .بنابراین برای تبدیل این دو واحد می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود :

$$1eV = 1.6 \times 10^{-19}\, J$$ رابطه ۲

پرسش :آیا می‌توانید رابطه ۲ را توصیف نمایید؟ برای این کار می‌توانید شرایط یک آزمایش فیزیکی بر روی یک الکترون قرار گرفته در یک میدان الکتریکی را متصور شوید .

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، واحد eV بسیار کوچکتر از واحد ژول است. این واحد برای استفاده در مباحث مربوط به نیمه‌رساناها و سلول‌های خورشیدی مناسب است. گاف انرژی برای مواد نیمه‌رسانا کمتر از 3-4 eVو برای مواد نارسانا بیشتر از این مقدار است. از این به بعد، برای نمایش بزرگی انرژی، از واحد eV استفاده می‌کنیم. با این توضیح، می‌توان رابطه انرژی هر موج را به صورت زیر بازنویسی کرد :

$$E(eV) = \frac{1240}{\lambda(nm)}$$ رابطه ۳

با توجه به اینکه در محدوده طول موج‌های مرئی و UV طول موج‌ها از مرتبه چند صد و چند ده نانومتر هستند، رابطه ۳ برای محاسبه انرژی بر حسب eV بسیار مناسب است .

پرسش: آیا می‌توانید رابطه ۳ را با استفاده از رابطه ۱ به دست آورید؟

لزوم استفاده از نیمه‌رساناها برای تولید الکترون و حفره

رابطه 3را می‌توان برای محاسبه انرژی هر موج مشخص به کار برد. با استفاده از این رابطه مشخص می شود که انرژی نور مرئی خورشید که سهم عمده نور خورشید رسیده به سطح زمین را تشکیل می‌دهد، بین ۱,۷ eVتا ۳,۱ eVاست؛ زیرا طول موج ناحیه مرئی خورشید در محدوده 700-400nm است. در مواد عایق، برای جبران انرژی گاف به طول موج‌های بسیار کمتری از نور مرئی نیاز داریم. بنابراین استفاده از مواد عایق در سلول‌های خورشیدی به عنوان تولیدکننده زوج الکترون-حفره امکان‌پذیر نیست. با توجه به این توضیحات؛ برای استفاده در سلول‌های خورشیدی، مواد نارسانا امکان تولید الکترون و ایجاد جریان را ندارند و برای این منظور مناسب نیستند. البته اگر موج‌هایی با انرژی بسیار بالاتر از نورهای مرئی مورد استفاده قرار گیرند، مواد عایق نیز امکان تولید الکترون و حفره دارند؛ ولی در سلول‌های خورشیدی، قرار است از نور خورشید استفاده کنیم که بیشترین شدت آن بر روی زمین در ناحیه مرئی طیف نور است. .

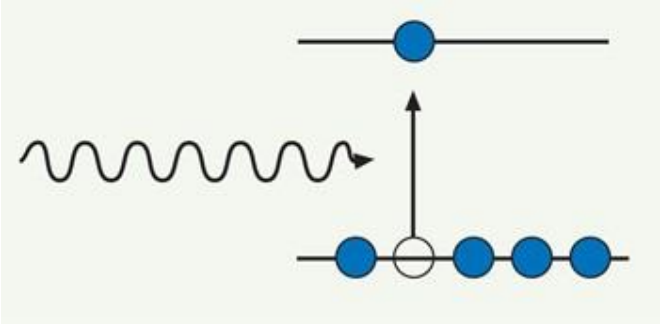
بر اساس آنچه به عنوان شرط دوم استفاده از یک ماده در سلول خورشیدی بیان شد، برای استفاده از الکترون‌های تولید شده، لازم است که یک اختلاف پتانسیل بین الکترون‌ها ایجاد شود. بنابراین فلزات علی‌رغم اینکه به خودی خود الکترون‌های آزاد بسیار زیادی را در اختیار ما قرار می‌دهند، نمی‌توانند شرط دوم تولید جریان را مهیا نمایند. رساناها فقط در مواردی استفاده می شوند بخواهیم با اعمال یک اختلاف پتانسیل الکتریکی، تعدادی الکترون از جایی به جای دیگر منتقل کنیم. در این شرایط رساناها به دلیل تعداد قابل توجه الکترون آزاد (الکترون‌هایی که در تراز آخر اتم وجود دارند)، به راحتی این جریان الکترون‌ها منتقل می‌کنند. به عبارت دیگر، با استفاده از فلزات نمی‌توان پتانسیل داخلی در سیستم ایجاد کرد و نیاز به ایجاد یک اختلاف پتانسیل بیرونی برای انتقال حامل‌های آزاد داریم. ولی در نیمه‌رساناها، به دلیل فاصله ترازهای انرژی از یکدیگر، با استفاده از یک سیستم چندلایه‌ای، می‌توان یک پتانسیل داخلی در سیستم ایجاد کرد و باعث جدا شدن الکترون‌ها و حفره‌ها از یکدیگر شد. در این شرایط الکترون‌ها به سمت الکترود مثبت و حفره‌ها به سمت الکترود منفی می‌روند. در مقاله‌های بعد، و با آشنا شدن با برخی ساختارهای مرسوم در سلول‌های خورشیدی، این موارد با جزئیات بیشتر مور بحث قرار خواهند گرفت .

پرسش :در این مقاله لزوم استفاده از مواد نیمه رسانا برای تولید الکترون مورد بحث قرار گرفت. آیا می‌توانید ارتباط بین مواد نیمه‌رسانا و سلول خورشیدی را توصیف نمایید؟

ارتباط بین نیمه‌رساناها و سلول‌های خورشیدی

در سلول‌های خورشیدی، برای تولید الکترون و در نتیجه ایجاد جریان، از مواد نیمه‌رسانا استفاده می شود.

در واقع، قلب یک سلول خورشیدی، یک ماده نیمه‌رسانا است که می‌تواند با دریافت نور خورشید، الکترون تولید نماید. در فیزیک کوانتوم گفته می‌شود که نور خورشید شامل بسته‌های انرژی است. در واقع فرض می‌شود که انرژی، به صورت بسته‌های مجزا و جداگانه منتقل می‌شود .این بسته‌های جداگانه، فوتون نامیده می‌شوند. می‌توان اینگونه فرض کرد که یک باریکه نور خورشید، شامل تعداد بسیار زیادی تک موج است که هر کدام از آن‌ها را می‌توان معادل یک بسته انرژی یا فوتون فرض کرد .انرژی هر فوتون، بر اساس همان رابطه انرژی موج که قبلا به آن اشاره شد، مشخص می‌شود. زیرا هر فوتون مانند یک موج، دارای طول موج معین است. پس از برخورد فوتون با ماده نیمه‌رسانا، انرژی فوتون به الکترون داده می‌شود. اگر انرژی فوتون برابر یا بیشتر از انرژی سد پتانسیل یا همان گاف انرژی باشد، الکترون می‌تواند بر سد انرژی گاف غلبه کرده و خود را به تراز هدایت ماده برساند .این پدیده در شکل ۱ نشان داده شده است. به محض اینکه الکترون از تراز ظرفیت ماده جدا شده و به سمت تراز هدایت می‌رود، به جای آن یک حفره ایجاد می‌شود. مادامی که نور خورشید در حال برخورد به ماده نیمه‌رسانا است، الکترون تولید شده و به تراز هدایت ماده می‌رود. مشابه این پدیده را در زندگی روزمره خود بسیار دیده‌ایم. برای مثال، توپی را در نظر بگیرید که در حالت طبیعی خود تمایلی به بالا رفتن ندارد. پرتاب نمودن این توپ به ارتفاع بالاتر از دیدگاه «انرژی» معادل این است که بخواهید آن را از سطح انرژی پتانسیل گرانشی پایین‌تر (ارتفاع کمتر) به سطح انرژی پتانسیل گرانشی بالاتر)ارتفاع بالاتر) منتقل نمایید. بنابراین اگر بخواهید به نحوی توپ را به بالا پرتاب کنید، باید مقدار مناسبی انرژی به توپ بدهید تا بتواند بر سد پتانسل گرانشی زمین غلبه کرده و به بالا برود؛ مثلاً توپ را شوت کنید! پس از اینکه توپ بالا رفت و به ارتفاع مورد نظر رسید، چون این سطح انرژی برای توپ غیرتعادلی است، توپ برای رسیدن به تعادل، دوباره به پایین بر می‌گردد .در واقع توپ تمایل دارد با کاهش انرژی پتانسیل خود، به شرایط تعادلی اولیه‌اش برگردد. بنابراین به پایین سقوط می‌کند .



شکل۱- الکترون (گوی آبی رنگ) در اثر جذب انرژی فوتون به تراز بالایی می رود و یک حفره (گوی سفیدرنگ) در تراز پایینی ایجاد می شود.

مشابه این اتفاق برای الکترون‌ها هم رخ می‌دهد. پس از اینکه الکترون با دریافت انرژی بر سد پتانسیل الکتریکی گاف غلبه کرد و به تراز هدایت رفت، هیچ تمایلی به باقی ماندن در آن ندارد و به سرعت می‌خواهد به تراز ظرفیت برگشته تا به سطح پایدار برسد. اگر این اتفاق رخ دهد، دیگر نمی‌توان از الکترون استفاده کرد و در نتیجه، امکان تولید هیچ جریانی وجود ندارد. پس باید شرایطی برای الکترون ایجاد کرد که این اتفاق رخ ندهد .

پرسش :چگونه می‌توانیم جلوی بازگشت الکترون تهییج شده را به نوار ظرفیت بگیریم و از بازترکیب آن با حفره ایجاد شده در نوار ظرفیت جلوگیری کنیم؟ آیا می‌توانید ساز و کاری را برای این هدف پیشنهاد دهید؟

در نهایت...

در این مقاله، مقدماتی از ساز و کار عملکرد سلول‌های خورشیدی را به عنوان قطعات الکترونیکی با هم مرور کردیم. آموختیم که قلب یک سلول خورشیدی، یک ماده نیمه‌رسانا است که با جذب نور خورشید با طول موج‌های مناسب، الکترون و حفره تولید می‌کند.