آنچه در LEDها می‌گذرد

مهری توانگر
معلم شیمی زرین‌شهر، اصفهان

چکیده

دیودهای نشـر کنندهٔ نور از نیم‌رساناهای نوع n و p تشکیل می‌شوند که در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. در نیم‌رساناها وجود شکاف‌های نواری کوچک میان نوار ظرفیت و نوار رسـانش، سبب می‌شود با صرف مقدار انرژی متوسط، الکترون‌ها درماده جریان یابند. هنگامی‌که الکترون‌ها از نوار ظرفیت به نوار رسـانش راه می‌یابند، LED به نشـر نور می‌پردازد. رنگ نور نشر شده به اندازهٔ شکاف نواری موجود در نیم‌رساناها بستگی دارد.

کلیدواژه‌ها: نوار ظرفیت، نوار ترکیبی، نیم‌رسانا

مقدمه

دیودهای نشر کنندهٔ نور، LEDها، در بسیاری از وسایل ـ که روزانه از آنها استفاده می‌کنیم ـ به چشم می‌خورند. از جمله نمونه‌های رایج LEDها می‌توان به نمایشگر دیجیتال ساعت زنگ‌دار، چراغ کوچک نشـانگر روشن بودن اتو، رایانه یا ماشـین‌تراش برقی و پیمایشگر موجود در شمارشگرهایی که در مغازه خواروبار فروشی وجود دارد، اشـاره کرد. باوجود چنین کاربردهای معمولی، جای شگفتی است که از اختراع این چراغ‌ها، زمان چندان طولانی‌ای نمی‌گذرد.

در سـال ۱۹۶۲، نیـک هولونیاک ـ که برای شـرکت جنرال الکتریک کار می‌کـرد ـ متوجـه شـد ترکیب‌های شـیمیایی دیودهای اولیه را می‌توان به گونه‌ای تغییر دارد تا در نمایشگرهای دیجیتال، یـک چراغ آن‌هـا را همراهی کند. LEDها با سـازوکاری کامـلاً متفاوت از منابع نوری دیگر از جمله لامپ یا خورشـید عمل می‌کنند. همچنین نوری تنها با یک رنگ خاص تولید می‌کنند بی‌آنکه تولید گرمای بالایی داشته باشند. این در حالی است که نور سفید تولید شده از چراغ یا خورشید، ترکیبـی از رنگ‌های متفاوت اسـت و گرمای زیادی همـراه آن ایجاد می‌شود. کارآیی زیاد LEDها در تولید نوری با یک رنگ خاص نسبت به منابع نوری دیگر، دانشمندان را به ارائه طرح‌های متنوع برانگیخته است که سـبب گسترش اسـتفاده از LEDها در مواد مختلف می‌شود. برای نمونه، چراغ‌های جدید کنترل رفت‌وآمد از نوع LED هستند. در ایالات متحده برآورد شـده است که با استفاده از این منابع به جای چراغ‌های ترافیکی، ۲/۵ بیلیون کیلووات ساعت انرژی در سال صرفه‌جویی می‌شود.

شکل ۱
نمایی از اجزای اصلی یک LED معمولی. عدسـی‌های نرم کپسولی بیشـترین فضا را اشغال می‌کنند در حالی‌که ابعاد تراشهٔ دیود تنها در حدود $0/25\ mm^2$ است.

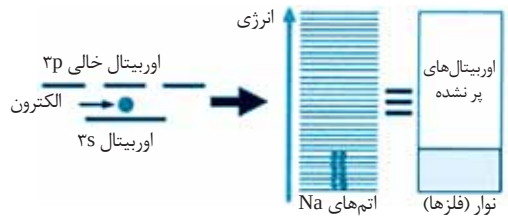
LEDها، نیم‌رسـاناهایی هسـتند که انرژی برق را ـ با تکیه برماهیت اتصالـی که در نیم‌رسـاناها وجود دارد ـ به‌طور مسـتقیم به نور تبدیل می‌کنند. نوع اتصال با رسانایی ماده در ارتباط است. فلزها، نافلزها و شبه فلزها از خواص اتصالی متفاوتی برخوردارند که موجب تفاوت رسـانایی در آنها می‌شـود. برای درک این ویژگی در LED، نخست به اتصال در مواد گوناگون می‌پردازیم.

رسانایی در عنصرها

اگر الکترون‌ها درماده بتوانند به اوربیتال‌های پرنشدهٔ نوار رسانش راه یابند، سیال می‌شـوند. برای اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی فلزها، یک اتـم Na را در نظر می‌گیریم که یـک الکترون ظرفیتی در اوربیتال ۳s دارد. اوربیتال s نیم‌پر اسـت و سـه اوربیتال خالـی ۳p نیز در این اتم وجود دارد. این اوربیتال‌های ظرفیتی با اوربیتال اتم‌های دیگر سـدیم کـه در ماده وجود دارند نوار ترکیبی را تشـکیل می‌دهند. با این حال تعداد الکترون‌های نوار ظرفیت بسیار کمتر از تعداد نوار ظرفیت است. بخش‌های پر و خالی نوار پیوسـته‌اند و هیچ شکاف نواری ـ مانند آنچه در کربن و نافلزهای دیگر موجود است ـ دیده نمی‌شود. پس الکترون‌ها با کسـب انرژی بسـیار کمی می‌توانند از اوربیتال‌های پر شـدهٔ نوار به سـمت اوربیتال‌های پر نشـده بروند و در سرتاسر جسم فلزی حرکت

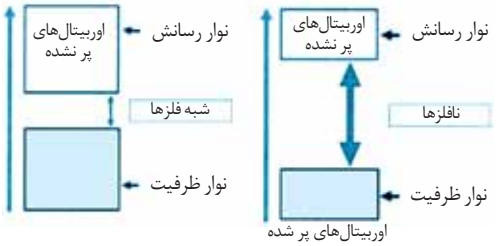
کنند. بنابراین فلزها رسانای برق‌اند زیرا نوار تقریباً پر شده اوربیتال‌ها به الکترون‌ها اجازهٔ حرکت در ماده را می‌دهد.

در نافلز نیز دو نوار مشخص وجود دارد. نوار کم‌انرژی همان نوار ظرفیت است که همهٔ الکترون‌های ظرفیتی را در بردارد در حالی که نوار پرانرژی‌تر



شکل ۲ تشکیل نوار پیوسته اوربیتال‌ها در نتیجهٔ ترکیب‌شدن اوربیتال‌های اتمی در فلزها

یا نوار رسانش، حاوی هیچ الکترونی نیست، شکل ۳. الکترون‌های نوار پرشده یا ظرفیت نمی‌توانند به دیگر اوربیتال‌های همین نوار بروند، زیرا قبلاً همهٔ اوربیتال‌ها پرشده‌اند. در نوار رسانش هم الکترونی وجود ندارد



شکل ۳ تشکیل دو نوار اوربیتال در نتیجهٔ ترکیب اوربیتال‌های اتمی در نافلزها، در حالی که با شکاف بزرگی از هم جدا شده‌اند.

شکل ٤ نمایش نوار رسانش و ظرفیت در شبه فلزها؛ دو نوار اوربیتال با شکاف کوچکی از هم جدا می‌شوند.

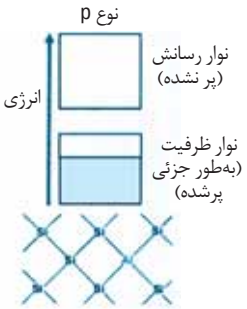
پس هیچ حرکتی در آن دیده نمی‌شود. چنان‌که اشاره شد میان این دو نوار، شکاف وجود دارد. در این حال به مقدار زیادی انرژی جهت انتقال یک الکترون از نوار پرشدهٔ کم‌انرژی (نوار ظرفیت)، به نوار پرانرژی‌تر (رسانش) نیاز است. از این‌رو، بدون وجود انرژی، هیچ حامل باردار وسیالی وجود ندارد و در نتیجه، جسم نافلزی نارسانای برق است.

برخی عنصرها مانند سیلیسیم، دارای خواص میانه‌ای از فلزها و نافلزها هستند و شبه فلز خوانده می‌شوند. شکاف نوار در شبه‌فلزها چنان کوچک است که حرکت الکترون با انرژی متوسطی می‌تواند از نوار کم‌انرژی‌تر انجام شود. پس نوار کم‌انرژی‌تر کاملاً پر نیست و نوار پرانرژی‌تر هم دیگر کاملاً خالی نیست یعنی هر دو نوار، نیم پر هستند. در نوار ظرفیت الکترون‌ها بین اوربیتال‌ها حرکت می‌کنند در حالی برخی از اوربیتال‌های این نوار خالی‌اند. پس شبه فلزها می‌توانند با دریافت انرژی ورودی متوسط، رسانای برق باشند، شکل ٤.

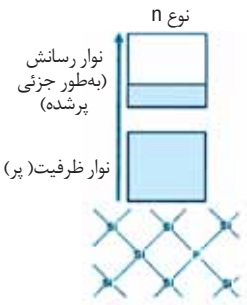
چگونگی نشر نور از LED

برای تولید نور، LED مجهز به دو نیم رسانا شده است. ترکیب این دو نوع نیم‌رسانا به اتصال p-n یا دیود شناخته می‌شود. هنگامی که اتصال p-n در مداری که دارای یک منبع بیرونی ـ برای نمونه، یک باتری ۹ ولتی ـ است برقرار شود، الکترون‌هایی که از منبع به سمت دیود جریان می‌یابند، ترتیب الکترون‌های دیود را تغییر می‌دهند.

بنا به شکل ٥، نیم‌رسانای نوع p دارای فضای بیشتر در نوار ظرفیت است و هیچ الکترونی درنوار رسانش ندارد. از سوی دیگر نیم‌رسانای نوع n دارای نوار ظرفیت کامل (پر) است و الکترون‌های بیشتری در نوار رسانش خود دارد، شکل ٦. اگر این مدار به گونه‌ای طراحی شود که الکترون‌ها از اتصال p-n منبع به سمت نیم‌رسانای n بروند، الکترون‌ها نوار رسانش را اشغال می‌کنند زیرا هیچ فضایی در نوار ظرفیت نیم‌رسانای n وجود ندارد. همچنان که الکترون‌ها به نوار رسانش راه می‌یابند، به نیم رسانای p در اتصال p-n رانده می‌شوند زیرا این نیم‌رسانا از فضای بیشتری برای جای دادن الکترون‌ها برخوردار است. الکترون‌ها وارد نوار رسانش سمت p ـ که خالی است ـ می‌شوند، چون قبلا نوار پر انرژی‌تر، سمت n را پرکرده‌اند. با این حال، اگر فضای کافی در نوار ظرفیت وجود داشته باشد این الکترون‌ها از نوار پرانرژی سمت p به سوی نوار کم‌انرژی‌تر می‌روند. چنین الکترون‌هایی به حالت پایدارتر



شکل٥ نمایی از ساختار شبکهٔ بلوری یک نیم‌رسانای نوع p؛ بلور سیلیسیم حاوی آلومینیم



شکل٦ نمایی از ساختار شبکهٔ بلوری کی نیم‌رسانای نوع n؛ بلور سیلیسیم حاوی فسفر

می‌رسند. هنگامی که الکترون‌ها از شکاف نوار می‌گذرند، انرژی متناسب با اندازهٔ شکاف، به شکل نور آزاد می‌شود.

رنگ نور نشر شده نیز به اندازهٔ شکاف بستگی دارد. LEDهایی که نور سرخ‌رنگ نشر می‌کنند در بسیاری از ساعت‌های دیجیتال زنگ‌دار به کار می‌روند. از LEDهایی که به جای نور مرئی، نور فروسرخ منتشر می‌کنند در کنترل تلویزیون‌ها استفاده می‌شود.

انواع دیودهای نشرکننده

گذشته از LEDهایی که در آن‌ها از مواد معدنی در ساختار نیم‌رساناها استفاده می‌شد، نسل جدیدی از دیودهای نشرکننده در سال ۱۹۹۰ کشف شد که به پلیمرهای نشری نور، LEP، معروف شدند. LEPها حاوی مواد نیم‌رسانا از جنس آلی و برپایهٔ کربنی هستند و نسبت به LEDها کاربردهای متفاوت‌تری دارند که از انعطاف‌پذیر بودن پلیمرها نتیجه می‌شود. فناوری و کاربردهای LEP همچنان در حال پیشرفت است.

منابع

1. Bierman, A. ;Narendan, N.; Bullough,j. "LEDs: From Indicators toIllumination? "Lighting Futures, vol.3, No.4, Rensselaer Polytechnic Institute, 1998. URL:
2. www. Irc.rpi.edu/programs/futures/ index.asp
3. edis. iFas. uFl .edu/Bodg-EH334.
4. www.si.edu/lemelson/ Quartz/ inventors/ holonyak.html.