

فصل: مبانی نانو الکترونیک و فیزیک حالت جامد

بخش ۳: آشنایی با ساختار و عملکرد دیودها

نویسنده: محمد فرهاد پور

مقدمه

نیمه رساناها گروهی از مواد هستند که از نظر توانایی هدایت الکتریکی بین رساناها و نارساها قرار دارند. ویژگی جالب مواد نیمه رسانا، که آنها را از مواد رسانا متمایز می کند، چگونگی تغییر مقاومت ویژه الکتریکی آنها با تغییرات دما است. برخلاف رسانا، در نیمه رسانا افزایش دما موجب کاهش مقاومت ویژه الکتریکی نیمه رسانا می شود. علاوه بر افزایش دما، با اضافه کردن مقادیر کمی ناخالصی به ماده نیمه رسانا (آلایش نیمه رسانا) نیز می توان تعداد حاملان بار الکتریکی را به طور قابل ملاحظه ای افزایش داد. آلایش نیمه رسانا به دو روش مختلف انجام می شود. یک روش آن است که اتم ناخالصی یک الکترون ظرفیت بیشتر از اتم های نیمه رسانای ذاتی داشته باشد و روش دیگر آن است که اتم ناخالصی یک الکترون ظرفیت کم تر از اتم های نیمه رسانای ذاتی داشته باشد. نیمه رساناهای حاصل از این دو روش به ترتیب نوع n و p هستند. دیودها از اتصال این نیمه رسانا ساخته می شوند. در ادامه با ساختار و عملکرد دیودها بیشتر آشنا می شویم.

۱- دیود چیست؟

اگر یک نیمه رسانای نوع n را به یک نیمه رسانای نوع p متصل کنیم، قطعه ای حاصل می شود که آن را پیوند $p-n$ می گوئیم. پیوند $p-n$ ویژگی جالب توجهی دارد و آن این است که هرگاه در مدار قرار بگیرد، جریان الکتریکی را تنها از یک سو عبور می دهد. قطعه ای را که دارای این خاصیت باشد یک دیود می نامند. پس دیود قطعه ای است که مقاومت آن برای جریان هایی که در یک سوی معین می گذرند بسیار زیاد، و برای جریان هایی که در سوی مخالف می گذرند عملاً ناچیز است، به همین دلیل دیود را یک سو کننده نیز می نامند. حال دلیل این ویژگی جالب چیست؟

همانگونه که می‌دانیم اکثر حامل‌ها در نیمه رسانای نوع n از جنس الکترون‌های آزاد و در نیمه رسانای نوع p از جنس حفره‌های آزاد هستند. در اثر اتصال این دو نیمه رسانا به یکدیگر، تعدادی از الکترون‌های نیمه رسانای نوع n به سمت نیمه رسانای نوع p می‌روند و تعدادی از حفره‌های نیمه رسانای نوع p به سمت نیمه رسانای نوع n منتقل می‌شوند. علت این انتقال پدیده‌ای به نام نفوذ است که ما بارها آن را پیرامون خود مشاهده کرده‌ایم و فعالیت زیر یکی از شهودات رایج از این پدیده را نشان می‌دهد:

فعالیت ۱

مواد و وسایل مورد نیاز: مقداری جوهر رنگی، مقداری آب، یک ظرف شیشه‌ای مثل بشر یا لیوان، یک قطره چکان.

شرح فعالیت: مقداری آب درون ظرف شیشه‌ای بریزید؛ به گونه‌ای که ظرف تقریباً پر شود. با استفاده از قطره چکان یک قطره جوهر رنگی درون آب بیاندازید. چه روی می‌دهد؟



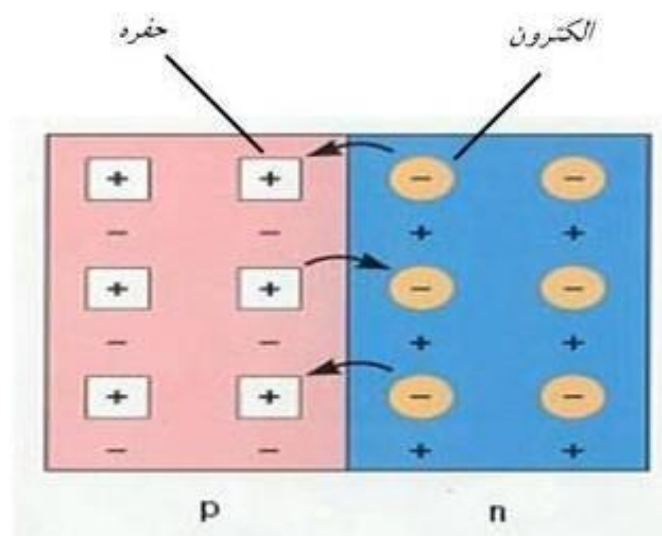
شکل ۱: لحظات اولیه چکاندن قطره



شکل ۲: توزیع یکنواخت قطره رنگی در آب

همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌کنیم ذرات جوهر از جایی که تعدادشان بیشتر است به جایی که تعدادشان کم‌تر است منتقل می‌شوند؛ به گونه‌ای که به تدریج در همه جا به یک اندازه توزیع می‌شوند و تمامی آب رنگی می‌شود (شکل ۲). به این پدیده، یعنی انتقال خودبخودی ذرات از جایی که تعدادشان بیشتر است به جایی که تعدادشان کم‌تر است، نفوذ می‌گوییم.

هنگام اتصال دو قطعه‌ی نیمه رسانای نوع n و p به یکدیگر، تعدادی از الکترون‌ها که در نیمه‌رسانای نوع n حامل اکثریت هستند، در اثر پدیده‌ی نفوذ به سمت نیمه رسانای نوع p می‌روند. همچنین تعدادی از حفره‌ها که در نیمه رسانای نوع p حامل اکثریت هستند نیز در اثر پدیده‌ی نفوذ به سمت نیمه رسانای نوع n می‌روند.



شکل ۳: یک پیوند $p-n$

به شکل ۳ نگاه کنید. در اثر انتقال الکترون‌ها از n به p ، تعدادی از اتم‌های نیمه رسانا در سمت n که یک الکترون خود را از دست داده‌اند، به یونی با بار مثبت تبدیل می‌شوند. همچنین به صورت برعکس، در اثر انتقال حفره‌ها از p به n ، تعدادی از اتم‌های نیمه رسانا در سمت p که یک حفره از دست داده‌اند، به یونی با بار منفی تبدیل می‌شوند. می‌دانیم که بر خلاف الکترون‌ها و حفره‌ها که می‌توانند آزادانه حرکت کنند، یون‌ها در جای خود ثابت می‌مانند و حرکت نمی‌کنند. الکترون‌های آزاد و حفره‌های آزاد که از دو طرف می‌آیند با یکدیگر ترکیب می‌شوند و اثر هم را خنثی می‌کنند. بنابراین تعداد حاملان بار الکتریکی، که همان الکترون‌ها و حفره‌ها هستند، در این ناحیه کم می‌شود. این ناحیه را که تعداد حاملان بار الکتریکی در آن بسیار کم است، ناحیه‌ی تهی می‌گوییم.

فعالیت ۲

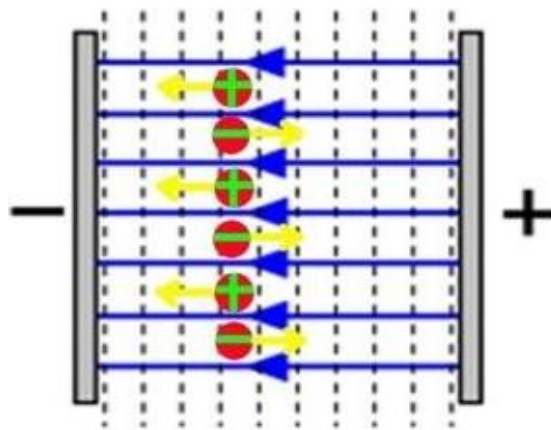
مواد و وسایل مورد نیاز: ۲ میله‌ی کوچک شیشه‌ای (در همه‌ی آزمایشگاه‌ها می‌توانید پیدا کنید)، مقداری پارچه‌ی پشمی، تکه‌های کوچک کاغذ.

شرح فعالیت:

۱- یک میله‌ی شیشه‌ای را با پارچه‌ی پشمی مالش دهید و سپس آن را به تکه‌های کاغذ نزدیک کنید. چه روی می‌دهد؟

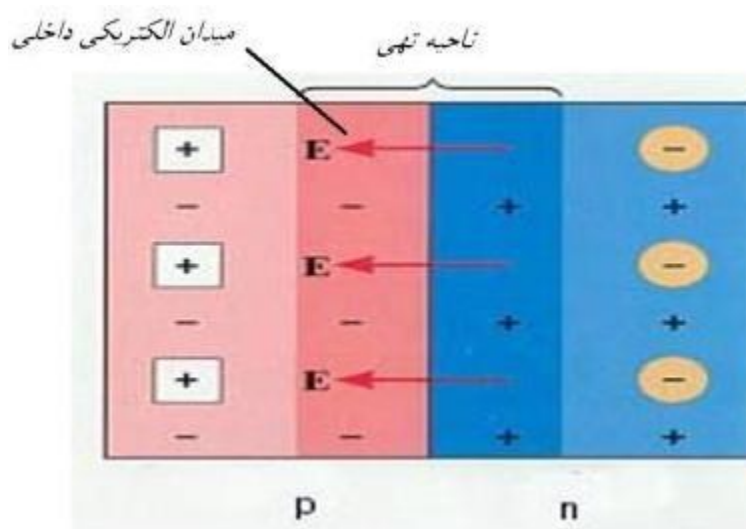
۲- هر دو میله‌ی شیشه‌ای را با پارچه‌ی پشمی مالش دهید و آنها را به یکدیگر نزدیک کنید. این بار چه روی می‌دهد؟

فضایی که پیرامون اجسام باردار الکتریکی شکل می‌گیرد و در این فضا به اجسام دیگر نیروی جاذبه یا دافعه الکتریکی وارد می‌شود را میدان الکتریکی می‌گوییم. قرار می‌گذاریم (قرارداد می‌کنیم) که جهت میدان الکتریکی از بار مثبت به سمت بار منفی باشد. اگر جسمی باردار درون میدان الکتریکی قرار گیرد، از بار همنام خود دفع شده و به بار ناهمنام خود جذب می‌شود. این سبب می‌شود که اجسام با بار مثبت درون میدان الکتریکی هم جهت میدان (به سمت بار منفی) حرکت کنند و اجسام با بار منفی، خلاف جهت میدان (به سمت بار مثبت) حرکت کنند.



شکل ۴: میدان الکتریکی بار منفی خلاف جهت میدان و بار مثبت هم جهت میدان حرکت می‌کند. جهت میدان الکتریکی با بردارهای آبی مشخص شده است.

همان‌گونه که بیان کردیم در اثر پدیده‌ی نفوذ، حامل‌های اکثریت بار الکتریکی از هر دو طرف به سمت یکدیگر حرکت می‌کنند و اثر هم را خنثی می‌کنند. بنابراین، یون‌های ثابت با بار مثبت در سمت n و یون‌های ثابت با بار منفی در سمت p باقی می‌ماند. این ناحیه را ناحیه‌ی تهی نامیدیم. ناحیه‌ی تهی دارای عرض محدودی است. زیرا در اثر وجود یون‌های ثابت مثبت و منفی در طرفین آن، یک میدان الکتریکی داخلی در ناحیه‌ی تهی به وجود می‌آید. از آنجاییکه جهت میدان الکتریکی از مثبت به منفی است، پس جهت این میدان داخلی از سمت یون‌های مثبت به سمت یون‌های منفی است، یعنی از n به p . وجود این میدان الکتریکی داخلی، مانع ادامه‌ی نفوذ الکترون‌های آزاد به سمت p و حفره‌های آزاد به سمت n می‌شود (زیرا الکترون‌ها بار الکتریکی منفی دارند و به صورت خودبخودی خلاف جهت میدان الکتریکی حرکت می‌کنند. همچنین حفره‌ها بار الکتریکی مثبت دارند و به صورت خودبخودی هم جهت میدان الکتریکی حرکت می‌کنند). شکل ۵ را ببینید.



شکل ۵: ایجاد ناحیه تهی و جهت میدان الکتریکی داخلی

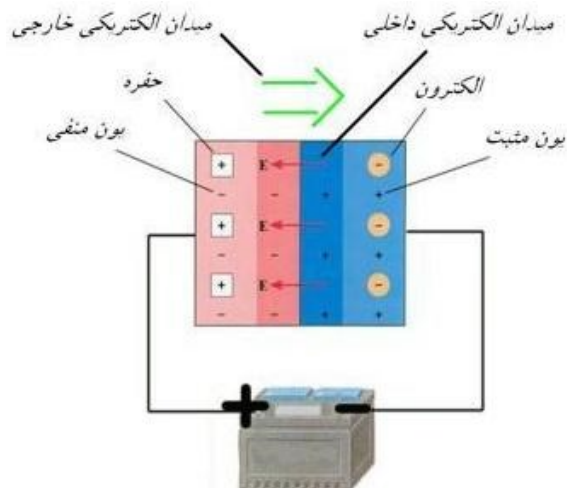
بنابراین نفوذ الکترون‌های آزاد و حفره‌های آزاد تا جایی ادامه می‌یابد که میدان الکتریکی داخلی دیگر اجازه‌ی نفوذ حاملان بار را ندهد. در این هنگام عرض ناحیه‌ی تهی دیگر بیشتر نمی‌شود و تقریباً ثابت می‌ماند. این ویژگی جالب سبب می‌شود که هرگاه پیوند $p-n$ در مدار الکتریکی قرار بگیرد، جریان الکتریکی را فقط از یک سو عبور دهد. در واقع الکترون‌ها از یک سو اجازه‌ی عبور دارند و از سوی دیگر اجازه‌ی عبور ندارند.

۲- بایاس کردن اتصال P-N:

همان گونه که بیان کردیم میدان الکتریکی داخلی در ناحیه‌ی تهی پیوند p-n، مانع از ادامه‌ی نفوذ حاملان بار الکتریکی در دو طرف می‌شود و بنابراین جریان الکتریکی نمی‌تواند از آن عبور کند. اکنون اگر یک میدان الکتریکی قوی‌تر از میدان الکتریکی داخلی و خلاف جهت آن، به دو طرف پیوند p-n اعمال کنیم، اثر میدان داخلی از بین می‌رود و در اثر این میدان الکترون‌های آزاد می‌توانند منتقل شوند. هر گاه به اتصال P-N ولتاژی اعمال کنیم آن را بایاس نموده‌ایم. بایاس کردن اتصال P-N به دو صورت مستقیم و معکوس انجام می‌گیرد که در ذیل توضیح داده می‌شود. قابل ذکر است که اگر هیچ کدام از دو حالت که در ادامه گفته می‌شود برای دیود اتفاق نیفتد و به آن ولتاژ وصل نشود به آن دیود بی بایاس یا بدون تغذیه که ولتاژ دو سر دیود برابر صفر است و جریان خالص بار در هر جهت برابر صفر است گفته می‌شود.

۲-۱- بایاس مستقیم:

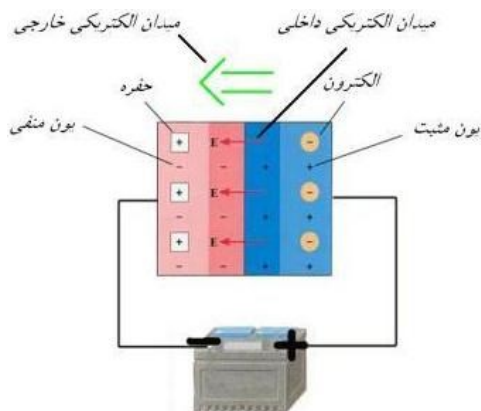
برای این کار کافی است پایانه‌ی مثبت منبع ولتاژ (نظیر یک باتری) را به سمت p و پایانه‌ی منفی منبع ولتاژ را به سمت n متصل کنیم. در پیوندهای p-n که از ماده نیمه رسانای سیلیسیوم ساخته می‌شوند و در قطعات الکترونیکی استفاده می‌شود، برای غلبه بر میدان الکتریکی داخلی، تقریباً ولتاژ ۰/۷ ولت کافی است. بنابراین با این کار الکترون‌های آزاد می‌توانند هم جهت میدان الکتریکی داخلی (در واقع خلاف جهت میدان الکتریکی خارجی که بزرگ‌تر است) حرکت کنند و موجب رسانش الکتریکی شوند. این حالت اتصال ولتاژ بایاس مستقیم یا موافق نامیده می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶: اتصال منبع ولتاژ الکتریکی به یک پیوند p-n به صورتی که پایانه مثبت به p و پایانه منفی به n متصل است.

۲-۲- بایاس معکوس:

اما اگر جهت پایانه‌های باتری را برعکس متصل کنیم، یعنی پایانه‌ی منفی را به p و پایانه‌ی مثبت را به n اتصال دهیم، میدان الکتریکی خارجی هم جهت میدان الکتریکی داخلی ایجاد می‌شود و جریان الکتریکی برقرار نمی‌شود (به صورت دقیق‌تر جریان ضعیفی که به آن جریان اشباع معکوس یا نشتی گفته می‌شود عبور می‌کند). در واقع در این حالت قطب منفی باتری حفره‌ها را به سمت خود می‌کشد، همچنین قطب مثبت باتری الکترون‌های آزاد را به سمت خود جذب می‌کند و به این ترتیب، حفره‌ها و الکترون‌های آزاد از ناحیه اتصال دور می‌شوند و عرض لایه تخلیه زیاد می‌شود. با بزرگ شدن ناحیه تخلیه، جریان حامل‌ها کاهش می‌یابد (شکل ۷).

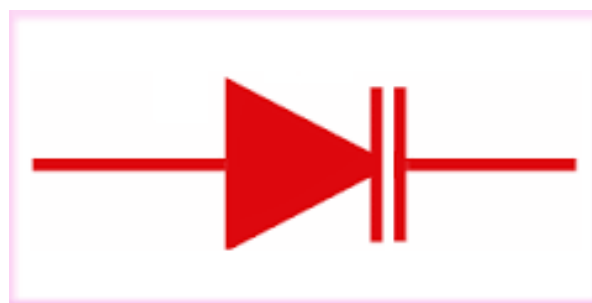


شکل ۷: اتصال منبع ولتاژ الکتریکی به یک پیوند p-n به صورتی که پایانه مثبت به n و پایانه منفی به p متصل است.

در شکل ۸ یک دیود واقعی و در شکل ۹ نماد دیود که یک پیکان جهت‌دار است که جهت جریان را نشان می‌دهد را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۸: یک دیود واقعی که از یک پیوند p-n تشکیل شده است.



شکل ۹: نماد دیود در یک مدار الکترونیکی

منابع :

- ۱- مجموعه مقالات سایت باشگاه نانو
- ۲- کتاب پیش دانشگاهی فیزیک
- ۳- مجموعه مقالات سایت آموزش ستاد نانو
- ۴- سایت www.project-esisis.com