فصل دوم

دیود نیمه‌هادی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ عناصر را از نظر هدایت الکتریکی بررسی کند.

۲ــ هادی‌ها و عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها را تعریف کند.

۳ــ عناصر گروه چهارم جدول تناوبی (سیلیکن و ژرمانیم) را معرفی کند.

۴ــ هدایت الکتریکی در نیمه‌هادی‌های سیلیکن و ژرمانیم را شرح دهد.

۵ ــ نحوه‌ی افزایش هدایت در نیمه‌هادی‌های Si و Ge را توضیح دهد.

۶ــ نیمه‌هادی نوع P و N را تشریح کند.

۷ــ اتصال P و N را به‌عنوان یک دیود شرح دهد.

۸ ــ دیود را به‌منزله‌ی یک کلید الکترونیکی ایده‌آل معرفی کند.

۹ــ چگونگی آزمایش و سالم بودن دیود را به کمک اهم‌متر شرح دهد.

۱۰ــ پارامترهای مهم در دیود (مقادیر حد) را شرح دهد.

۱۱ــ مشخصات دیود را از روی برگه‌ی مشخصات بخواند.

۱۲ــ کاربرد دیود را در یک‌سوسازی جریان متناوب به‌صورت نیم‌موج و تمام موج شرح دهد.

۱۳ــ مدار یک منبع تغذیه با ترانسفورماتور، یک‌سوساز و خازن صافی را رسم کند.

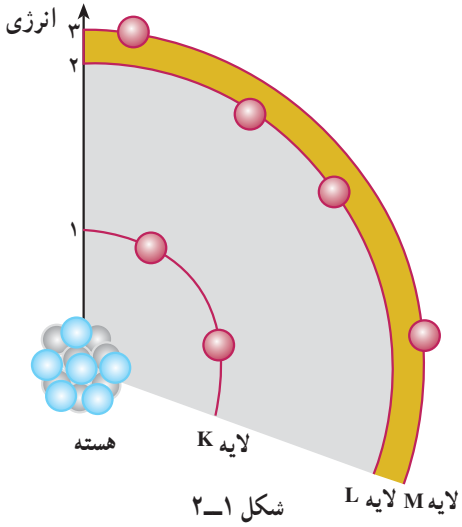
۱۴ــ دیود زنر و کاربرد آن در تثبیت ولتاژ را توضیح دهد.

۱۵ــ دیود نوردهنده (LED) را شرح دهد.

۱۶ــ کاربرد LED در نمایش اعداد و وضعیت کار سیستم‌ها را بیان کند.

۱ــ۲ــ هدایت الکتریکی اجسام

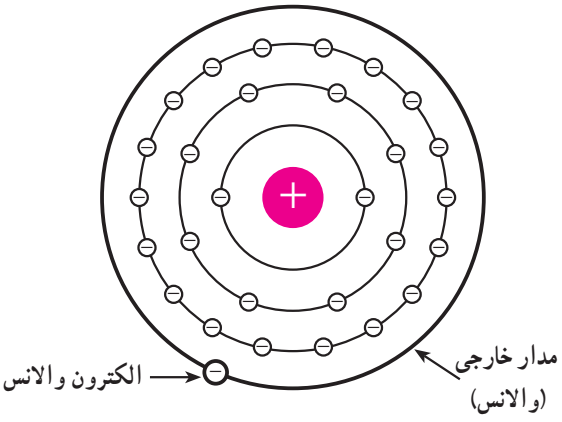
اتم‌های عناصر دارای الکترون‌هایی هستند که در مدارهای مختلف به دور هسته در حال گردش هستند. الکترون‌هایی که به هسته نزدیک‌تر هستند انرژی کم‌تری دارند، اما نیروی واردشده از هسته بر آن‌ها بیش‌تر است و به آسانی نمی‌توان آن‌ها را از اتم جدا کرد. الکترون‌های آخرین مدار دارای انرژی بیش‌تر است، اما وابستگی کم‌تری به هسته‌ی اتم دارند. در شکل ۱ــ۲ مشاهده می‌کنید که هرچه فاصله‌ی الکترون از هسته بیش‌تر باشد انرژی آن‌هم بیش‌تر است.



شکل ۱ــ۲

۲ــ۲ــ الکترون‌های ظرفیت یا والانس[1]

آخرین لایه‌ی هر اتم «لایه‌ی ظرفیت» یا «والانس» نام دارد و الکترون‌های این لایه نیز الکترون‌های ظرفیت یا والانس نام دارند. در شکل ۲ــ۲ اتم مس به همراه مدارهای آن، لایه‌ی والانس، هم‌چنین الکترون‌های لایه‌ی والانس نشان داده شده است.



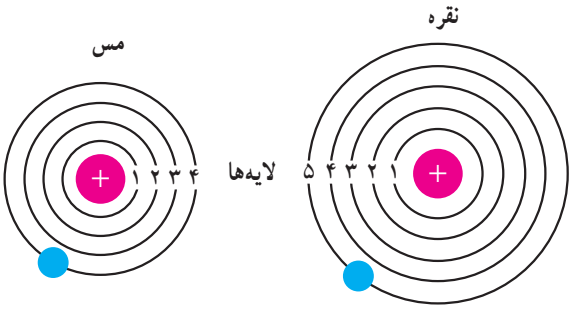
شکل ۲ــ۲

اگر الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت در مدار بزرگی به دورهسته درحال گردش باشند و نیروی جاذبه‌ای که از هسته به این الکترون‌ها وارد می‌شود خیلی ضعیف باشد ــ با انرژی اندکی که از خارج به این الکترون‌ها وارد می‌شود ــ الکترون‌ها از قید هسته آزاد می‌شوند. به الکترونی که از قید هسته آزاد می‌شود «الکترون آزاد» گویند.

خواص شیمیایی و الکتریکی اجسام به الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت عناصر آن جسم بستگی دارد. اجسام موجود در طبیعت از نظر هدایت الکتریکی به سه دسته هادی‌ها، نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند.

۳ــ۲ــ هادی‌ها[2]

هادی‌ها اجسامی هستند که الکترون‌های آن‌ها به راحتی از قید هسته آزاد می‌شوند. این اجسام دارای الکترون آزاد زیاد هستند. الکترون‌های آزاد سبب عبور جریان برق می‌شوند. به این اجسام «رسانا» هم گویند. فلزات یک تا سه ظرفیتی هادی‌های خوبی هستند. در شکل ۳ــ۲ ساختمان اتمی دو فلز نقره و مس را که فقط الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت آن‌ها رسم شده است، مشاهده می‌کنید. این فلزات هادی‌های خوبی هستند.

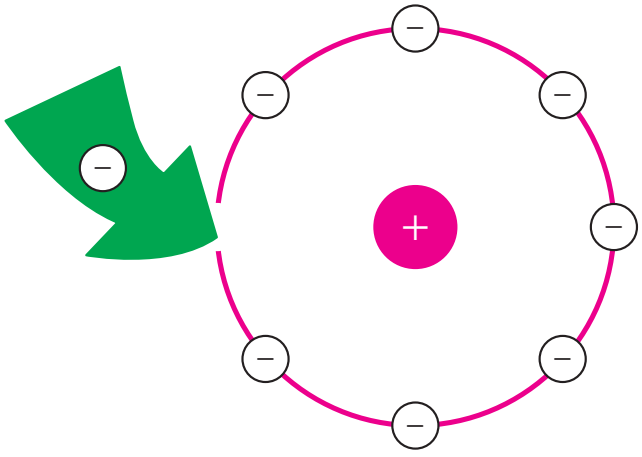


شکل ۳ــ۲

۴ــ۲ــ عایق‌ها[3]

لایه‌ی والانس اتم عایق‌ها معمولاً از ۴ الکترون بیش‌تر و حداکثر ۸ الکترون دارند. چون انرژی به‌کاررفته در اتم‌عایق میان تعداد زیادی الکترون لایه‌ی ظرفیت تقسیم می‌شود، انرژی هر الکترون بسیار ناچیز است. این الکترون‌ها به‌سختی از اتم جدا می‌شوند، پس این اجسام در وضعیت معمولی، الکترون آزاد بسیار کم دارند و از این رو عایق‌ها جریان برق را از خود عبور نمی‌دهند. در شکل ۴ــ۲ لایه‌ی والانس یک اتم عایق نشان داده شده است. این اتم در لایه‌ی والانس ۷ الکترون دارد و با دریافت یک الکترون لایه‌ی والانس آن دارای ۸ الکترون می‌شود و به حالت پایدار درمی‌آید.

هوا، شیشه، پلاستیک، کائوچو و نظایر آن عایق هستند.



شکل ۴ــ۲

۱ــ Valence Electron
۲ــ Conductor
۳ــ Insulator

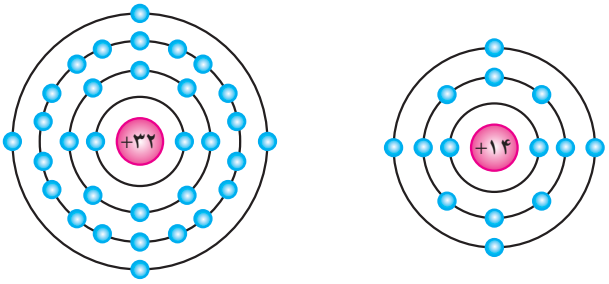
۵ــ۲ــ نیمه‌هادی‌ها[1]

به عناصری که اتم‌های آن در مدار آخر خود چهار الکترون دارند «نیمه‌هادی» گویند. نیمه‌هادی‌ها در صفر مطلق (−۲۷۳°C) تقریباً عایق هستند. در درجه‌ی حرارت معمولی (۲۵°C) انرژی حرارتی محیط باعث آزاد شدن تعدادی از الکترون لایه‌ی ظرفیت می‌شود و هدایت الکتریکی در جسم بالا می‌رود. البته افزودن ناخالصی هم می‌تواند هدایت الکتریکی جسم را بالا ببرد. عناصری نظیر کربن، سیلیکن و ژرمانیم جزء نیمه‌هادی‌ها به‌شمار می‌آیند. دو عنصر نیمه‌هادی سیلیکن و ژرمانیم در برق و الکترونیک کاربرد فراوان دارند.

۶ــ۲ــ ساختمان اتمی سیلیکن و ژرمانیم

سیلیکن دارای عدد اتمی ۱۴ است. یعنی دارای ۱۴ پروتون و ۱۴ الکترون است. ژرمانیم دارای عدد اتمی ۳۲ است. یعنی ۳۲ پروتون و ۳۲ الکترون دارد. در شکل ۵ــ۲، ساختمان اتمی سیلیکن (Si) و ژرمانیم (Ge) نشان داده شده است.

هر دو عنصر سیلیکن و ژرمانیم در لایه‌ی ظرفیت دارای چهار الکترون هستند.



الف ــ سیلیکن　　ب ــ ژرمانیم

شکل ۵ــ۲

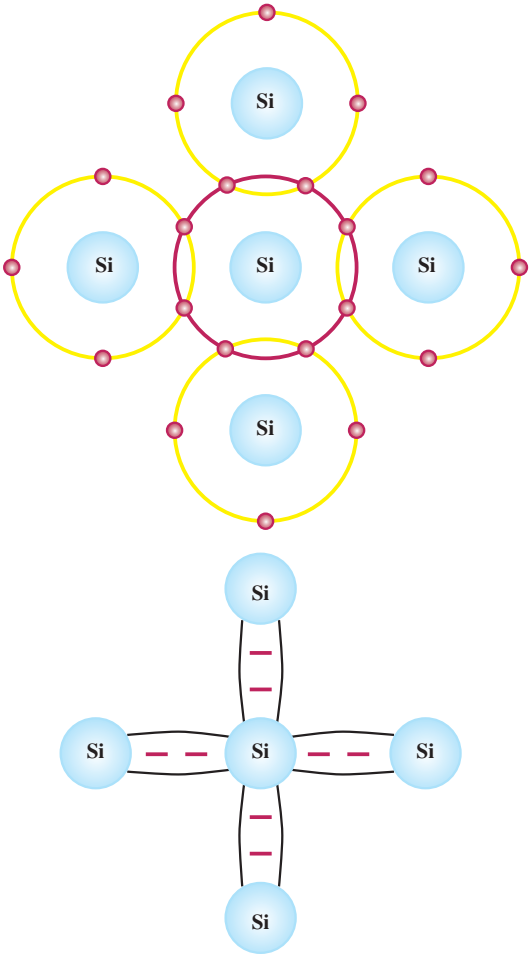
۷ــ۲ــ ساختمان کریستالی سیلیکن و ژرمانیم

وقتی اتم‌های عناصر با نظم خاصی در کنار هم قرار می‌گیرند جسم جامدی را تشکیل می‌دهند که به آن «کریستال» گویند. ژرمانیم و سیلیکن نیز به‌صورت کریستال هستند.

۸ــ۲ــ پیوند اشتراکی (کووالانس)[2] در اتم‌های سیلیکن و ژرمانیم

هرگاه اتمی در مدار آخر خود دارای هشت الکترون باشد مدار آن کامل بوده، ازنظر شیمیایی حالت پایداری پیدا می‌کند. نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها تمایل به‌دریافت الکترون و تکمیل مدار آخر خود دارند.

چون اتم سیلیکن و ژرمانیم در مدار آخر خود چهار الکترون دارند، می‌خواهند مدار آخر خود را کامل کنند ؛ برای این‌منظور هر اتم یک الکترون با اتم مجاور به اشتراک می‌گذارد. (الکترون‌های ظرفیت هر اتم علاوه بر این که به دور هسته‌ی خود درگردش هستند، به دور هسته‌ی اتم مجاور هم گردش می‌کنند). این نوع پیوند بین اتم‌ها را «پیوند اشتراکی» یا «کووالانس» گویند. در شکل ۶ــ۲ پیوند اشتراکی بین اتم‌های سیلیکن را مشاهده می‌کنید.

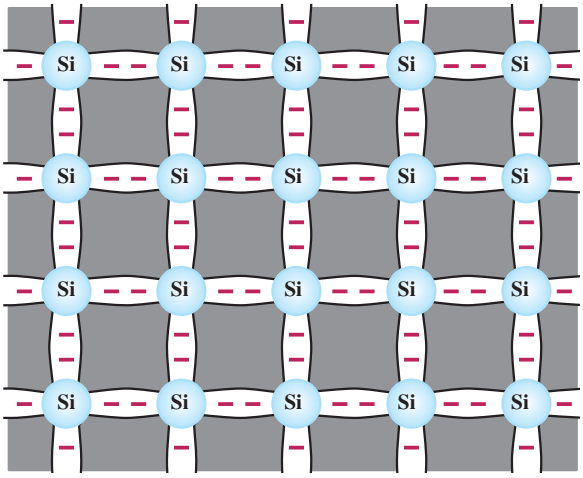


شکل ۶ــ۲

۱ــ Semiconductor = نیمه‌هادی　　۲ــ Covalent Band

البته پیوند بین اتم‌های ژرمانیم نیز مشابه اتم‌های سیلیکن است. چون هر اتم در مدار آخر خود، هشت الکترون دارد دارای حالت پایدار بوده، در صفر مطلق کریستال سیلیکن و ژرمانیم الکترون آزاد ندارند وعایق هستند.

شکل ۷ـ۲ـ پیوند کووالانس در ساختمان کریستال را نشان می‌دهد.



شکل ۷ ـ۲

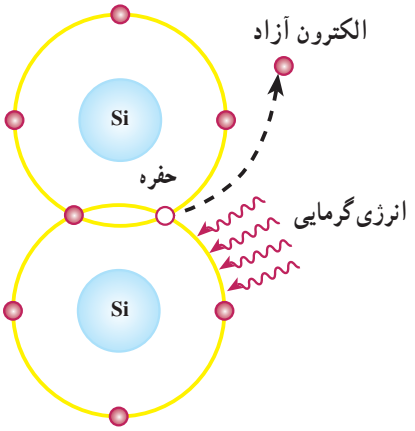
۹ـ۲ـ هدایت الکتریکی در سیلیکن و ژرمانیم خالص

در صفر مطلق (−۲۷۳°C) سیلیکن و ژرمانیم خالص عایق کامل هستند، زیرا در داخل کریستال الکترون آزاد وجود ندارد. عواملی نظیر انرژی نورانی یا انرژی گرمایی می‌توانند انرژی جنبشی الکترون‌های والانس را افزایش دهند و سبب آزاد شدن الکترون‌های ظرفیت گردند و به این ترتیب هدایت را در سیلیکن یا ژرمانیم افزایش دهند.

۱۰ـ۲ـ ایجاد حفره[1]

انرژی‌های خارجی نظیر حرارت می‌تواند باعث شکسته شدن پیوند شود و درنتیجه الکترون از قید هسته آزاد گردد. آزاد شدن یک الکترون از مدار ظرفیت، یک جای خالی الکترون ایجاد می‌کند که به این جای خالی الکترون «حفره» گویند. در شکل ۸ ـ۲ الکترون آزاد و محل خالی آن یعنی «حفره» نشان داده شده است.

چون محل خالی الکترون می‌تواند یک الکترون آزاد نزدیک به خود را جذب کند مانند یک بار مثبت عمل می‌کند.



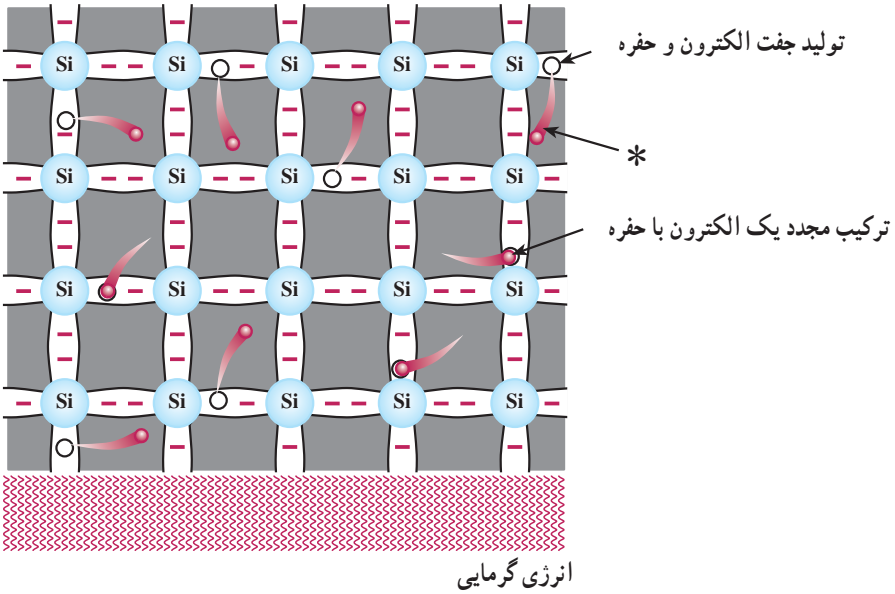
شکل ۸ ـ۲

۱ـ Hole

۱۱ــ۲ــ جریان الکترون‌های آزاد

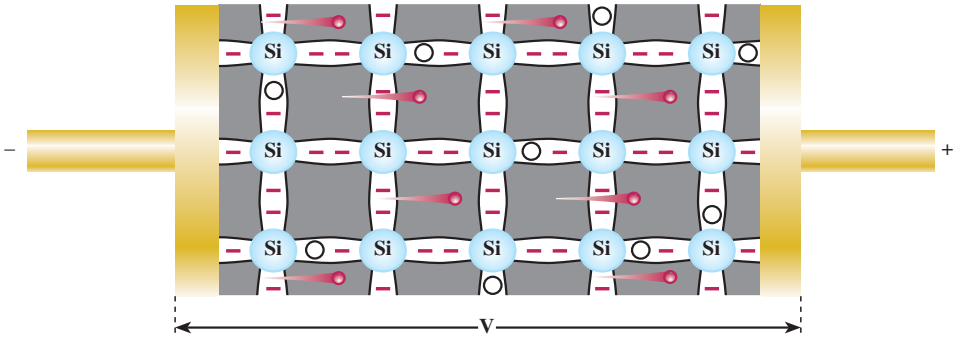
الکترون‌های آزاد شده در کریستال به‌صورت نامنظم حرکت می‌کنند. اگر به‌صورت اتفاقی الکترونی به حفره‌ای نزدیک شود جذب حفره می‌گردد. به این‌ترتیب، تا زمانی که نیرویی از خارج اعمال نشود حرکت الکترون‌ها و جذب آن‌ها به وسیله‌ی حفره‌ها در کریستال به‌طور نامنظم ادامه می‌یابد.

در شکل ۹ــ۲ کریستال سیلیکن، تولید الکترون، حفره و ترکیب مجدد الکترون، با حفره نشان داده شده است.



شکل ۹ ــ۲

وقتی مطابق شکل ۱۰ــ۲ ولتاژی به دو سر کریستال اعمال شود، الکترون‌های آزاد به‌طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند و جریانی را در مدار به‌وجود می‌آورند که ناشی از حرکت الکترون‌هاست و به آن «جریان الکترون‌ها» گویند.



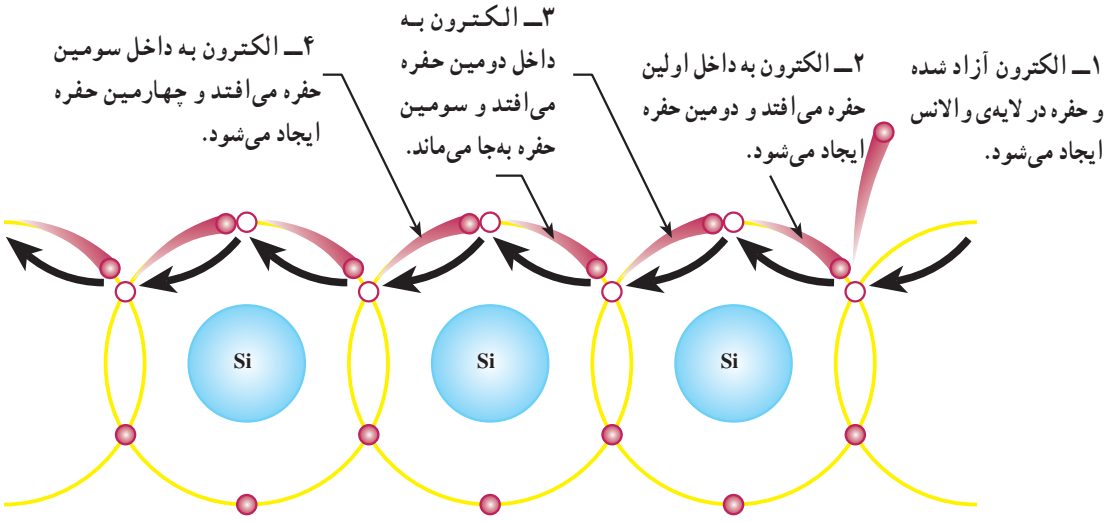
شکل ۱۰ــ۲

۱۲ــ۲ــ جریان حفره‌ها

جریان دیگری نیز در کریستال وجود دارد که ناشی از حرکت حفره‌هاست. وقتی در اتم حفره‌ای وجود دارد ــ به دلیل آن‌که حفره گرایشی به جذب الکترون دارد ــ از اتم مجاور، الکترونی را جذب می‌کند، اما جای الکترون جذب شده حفره‌ی جدیدی ایجاد می‌گردد. به‌این‌ترتیب، به‌نظر می‌رسد وقتی الکترون از چپ به راست حرکت می‌کند حفره از راست به چپ در حرکت است.

* شکل که معرف الکترون آزاد است، قسمت دایره( ) جهت حرکت الکترون را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱ــ۲ تصویری از جهت حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ــ۲

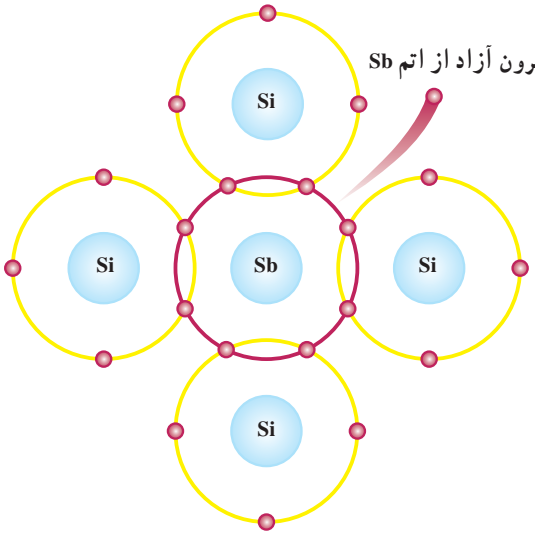
۱۳ــ۲ــ افزودن ناخالصی به کریستال نیمه‌هادی

چون تعداد الکترون‌های آزاد و حفره‌های ایجاد شده در کریستال نیمه‌هادی ژرمانیم یا سیلیکن در اثر انرژی گرمایی به اندازه‌ی کافی نیست و از این نیمه‌هادی نمی‌توان برای ساختن قطعاتی نظیر دیود یا ترانزیستور استفاده کرد، برای افزایش هدایت نیمه هادی به آن ناخالصی اضافه می‌کنند. ناخالص کردن نیمه‌هادی به دو شکل (با اتم پنج ظرفیتی و اتم سه‌ظرفیتی) صورت می‌گیرد.

۱۴ــ۲ــ ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی با اتم پنج‌ظرفیتی (نیمه‌هادی نوع N)

هرگاه یک عنصر پنج‌ظرفیتی مانند ارسنیک (As) یا آنتیموان (Sb) یا فسفر (P) را که در لایه‌ی ظرفیت خود پنج الکترون دارند به کریستال سیلیکن یا ژرمانیم اضافه کنیم (همان‌گونه که در شکل ۱۲ــ۲ نشان داده شده است) اتم ناخالصی آنتیموان (Sb) با چهار اتم سیلیکن مجاور خود تشکیل پیوند اشتراکی می‌دهد و چون در لایه‌ی ظرفیت Sb جای ۸ الکترون وجود دارد، یک الکترون اتم ناخالصی به‌راحتی از قید هسته آزاد می‌گردد و به‌صورت الکترون آزاد درمی‌آید ؛ پس با افزودن هر اتم ناخالصی یک الکترون آزاد در کریستال ایجاد می‌شود.

با تنظیم مقدار اتم ناخالصی تعداد الکترون‌های آزاد کریستال را کنترل می‌کنند. علاوه‌بر الکترون‌های آزادی که از افزودن اتم ناخالصی در کریستال به‌وجود می‌آیند تعداد کمی الکترون نیز در اثر انرژی گرمایی محیط از قید هسته آزاد می‌شوند و جای خالی آن‌ها حفره ایجاد می‌گردد. اتم ناخالصی که به کریستال یک الکترون آزاد می‌دهد و خود به‌صورت یون مثبت درمی‌آید «اتم اهدا کننده»[۱] نام دارد.

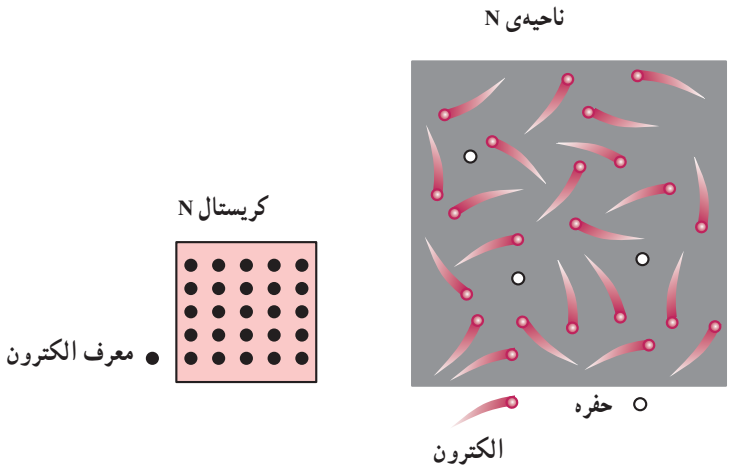


شکل ۱۲ــ۲

۱ــ Donor اهدا کننده

چون در کریستال تعداد الکترون‌های آزاد که عمل هدایت الکتریکی را انجام می‌دهند به مراتب بیش‌تر از حفره‌ها است به الکترون‌های آزاد، «حامل‌های اکثریت» و به حفره‌ها، «حامل‌های اقلیت» گویند. این کریستال را که حامل‌های اکثریت آن الکترون‌ها هستند «کریستال نوع N»[1] می‌نامند.

در شکل ۱۳ــ۲ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال N و شمای مداری آن نشان داده شده است. البته کل کریستال N از نظر بارالکتریکی خنثی است، زیرا بارهای مثبت و منفی آن باهم برابرند.

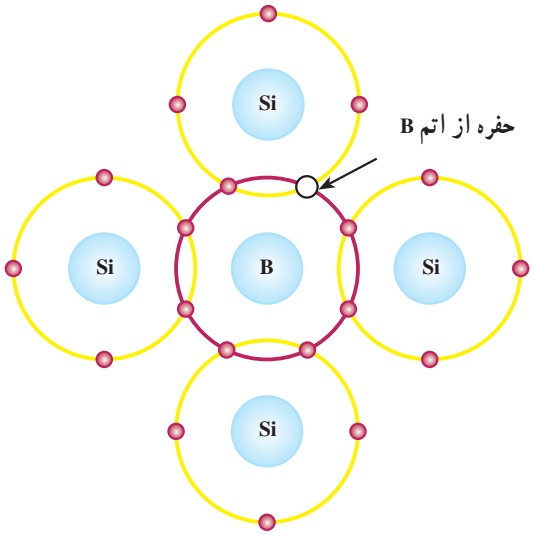


شکل ۱۳ــ۲

۱۵ــ۲ــ ناخالص‌کردن کریستال نیمه‌هادی با اتم سه‌ظرفیتی (نیمه‌هادی نوع P)

هرگاه یک عنصر سه‌ظرفیتی مانند آلومینیوم (Al) یا بورون (B) یا ایندیم(In) را که در مدار ظرفیت خود سه الکترون دارند به کریستال سیلیکن یا ژرمانیم خالص اضافه کنیم، الکترون‌های مدار آخر عنصر ناخالصی مانند بورون با الکترون‌های اتم مجاور خود تشکیل پیوند اشتراکی می‌دهند. به این ترتیب، در مدار آخر اتم ناخالصی هفت الکترون در حال گردش هستند که در نتیجه یک جای خالی یا حفره ایجاد می‌شود. در شکل ۱۴ــ۲ جای خالی الکترون نشان داده شده است.

ممکن است الکترونی با داشتن انرژی جنبشی کافی از پیوند شکسته شود و محل این حفره را پر نماید. در این صورت، حفره‌ی جدیدی در کریستال ایجاد می‌شود ؛ بنابراین، افزودن هر اتم ناخالصی سه‌ظرفیتی در کریستال یک حفره ایجاد می‌نماید. به‌اتم سه‌ظرفیتی که قادر است یک الکترون آزاد را جذب کند «اتم پذیرنده»[2] گویند. اتم پذیرنده با دریافت الکترون به‌صورت یون منفی درمی‌آید. دراثر گرمای محیط تعداد اندکی الکترون نیز انرژی لازم را کسب می‌کنند و از هسته‌ی خود جدا می‌شوند و به‌صورت الکترون آزاد درمی‌آیند ؛ بنابراین در کریستال علاوه‌بر تعداد زیادی حفره که حامل‌های اکثریت هستند، تعداد اندکی الکترون آزاد یعنی «حامل‌های اقلیت» نیز وجود دارند. به دلیل



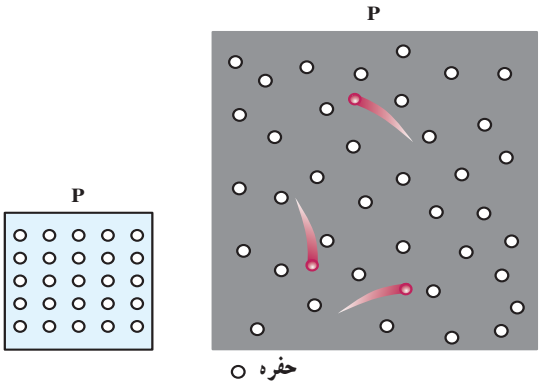
شکل ۱۴ــ۲

۱ــ N= Negative منفی

۲ــ Acceptor

آن‌که حامل‌های اکثریت هدایت الکتریکی، حفره‌ها هستند و حفره‌ها مانند یک بار مثبت عمل می‌کنند، به این کریستال ، کریستال نوع P[1] گویند.

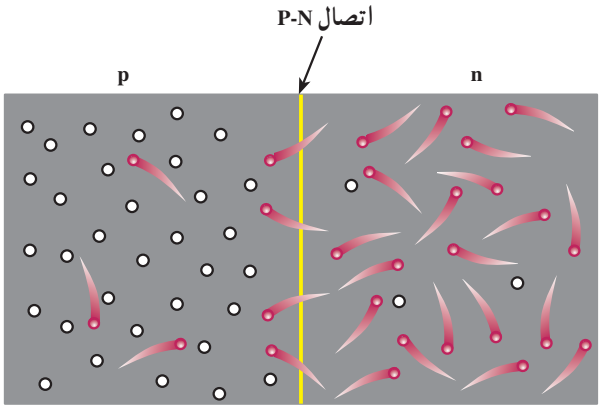
در شکل ۱۵ــ۲ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال P و نمای مداری کریستال نشان داده شده است. البته کل کریستال P از نظر بارالکتریکی خنثی است.



شکل ۱۵ــ۲

۱۶ــ۲ــ اتصال P-N (دیود کریستالی)

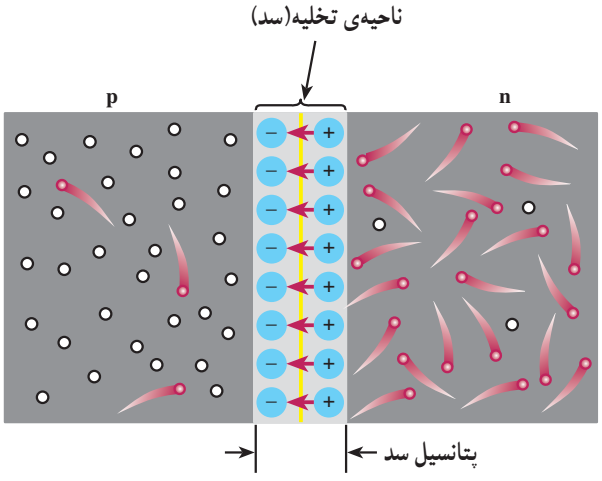
هرگاه دو کریستال نیمه‌هادی نوع N و P به‌هم اتصال یابند، الکترون‌های آزاد نیمه‌هادی نوع N که در نزدیک محل اتصال P-N قرار دارند به منطقه‌ی P نفوذ می‌نمایند و با حفره‌های کریستال نوع P ترکیب می‌شوند و به این‌ترتیب، حفره‌هایی از بین می‌روند و الکترون‌های آزاد به‌صورت الکترون‌های ظرفیت درمی‌آیند. در شکل ۱۶ــ۲ ترکیب الکترون‌ها با حفره‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۶ــ۲

عبور یک الکترون از محل اتصال سبب ایجاد یک جفت یون می‌شود، زیرا وقتی الکترونی از ناحیه‌ی N به ناحیه‌ی P وارد می‌شود، در ناحیه‌ی N یک اتم پنج‌ظرفیتی الکترونی را از دست می‌دهد و به یون مثبت تبدیل می‌شود و در مقابل، در ناحیه‌ی P یک اتم سه‌ظرفیتی الکترونی را دریافت می‌کند و سرانجام، به یون منفی تبدیل می‌شود ؛ از این‌رو، این ترکیب مجدد الکترون‌ها با حفره‌ها در محل پیوند تعداد زیادی یون مثبت و منفی را ایجاد می‌کند. این یون‌ها در کریستال ثابت هستند، زیرا به‌علت پیوند کوالانس نمی‌توانند مانند الکترون‌های آزاد حرکت نمایند ؛ سپس در محل پیوند ناحیه‌ای به نام «لایه‌ی تخلیه» به‌وجود می‌آید که در آن حامل‌های هدایت الکتریکی (الکترون‌ها و حفره‌ها) وجود ندارند. به ناحیه‌ی تخلیه ناحیه‌ی سد هم گفته می‌شود.

یون‌های مثبت و منفی در ناحیه‌ی تخلیه سبب ایجاد میدان الکتریکی می‌شوند. این میدان الکتریکی با عبور الکترون‌های آزاد از محل اتصال مخالفت می‌کند. هرگاه میدان ایجاد شده به حدی برسد که مانع عبور الکترون از محل اتصال گردد حالت «تعادل» به‌وجود می‌آید و به این‌صورت، «دیود کریستالی» ساخته می‌شود. در ناحیه‌ی تخلیه، ولتاژ ایجاد شده «پتانسیل سد» نام دارد. مقدار ولتاژ سد برای دیود سیلیکنی، حدود ۰/۷ ولت و برای دیود ژرمانیمی حدود ۰/۲ ولت است. در شکل ۱۷ــ۲ ناحیه‌ی تخلیه و پتانسیل سد نشان داده شده است.



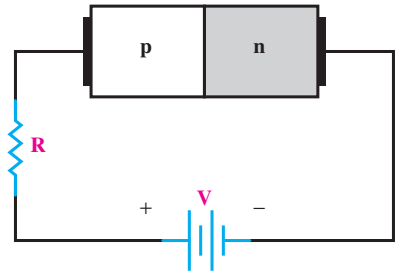
شکل ۱۷ــ۲

۱ــ P=Positive

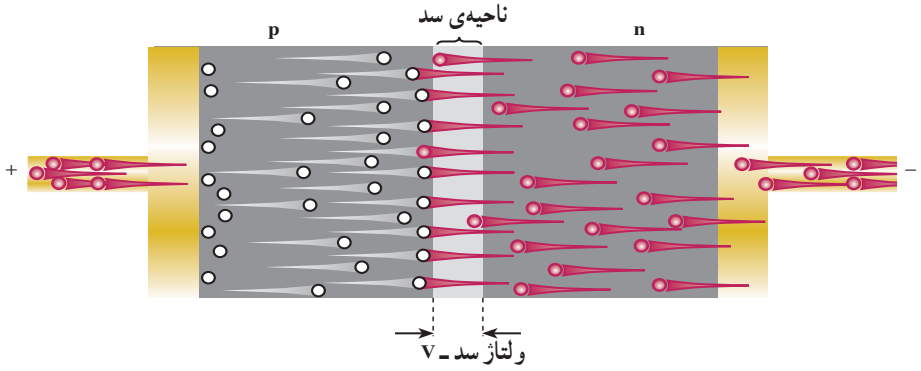
۱۷ــ۲ــ بایاس کردن اتصال P-N

هرگاه به اتصال P-N ولتاژی اعمال کنیم گوییم آن را «بایاس» نموده‌ایم. بایاس کردن اتصال P-N به‌دوصورت «مستقیم» و «معکوس» انجام می‌گیرد :

الف ــ بایاس مستقیم (بایاس موافق)[1]: اگر قطب مثبت باتری را به‌نیمه‌هادی نوع P و قطب منفی باتری را به نیمه‌هادی نوع N وصل کنیم، این حالت اتصال ولتاژ را «بایاس مستقیم» یا «بایاس موافق» گویند. در شکل ۱۸ــ۲ این بایاس را مشاهده می‌کنید. هنگامی که میدان الکتریکی ناشی از باتری خارجی میدان الکتریکی پتانسیل سد را خنثی کند، منطقه‌ی تخلیه و پتانسیل سد از بین می‌رود و الکترون‌های کریستال N به سمت محل پیوند رانده می‌شوند. این الکترون‌ها وارد کریستال P شده، در اثر ترکیب با حفره‌ها به الکترون ظرفیت تبدیل می‌شوند. الکترون‌های ظرفیت از حفره‌ای به حفره‌ی دیگر می‌روند تا به انتهای کریستال و سرانجام به قطب مثبت باتری می‌رسند. چنین به‌نظر می‌آید حفره‌ها در کریستال P در جهت خلاف حرکت الکترون‌ها حرکت می‌نمایند وجریانی را به‌وجود می‌آورند. در شکل ۱۹ــ۲ حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها نشان داده شده است.

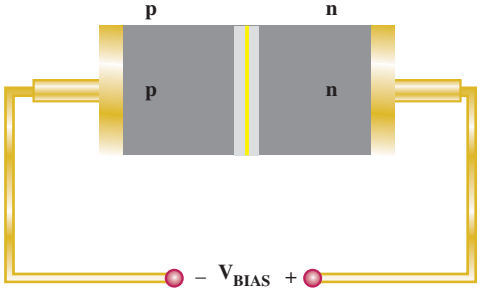


شکل ۱۸ــ۲



شکل ۱۹ــ۲

ب ــ بایاس معکوس (بایاس مخالف)[2]: اگر قطب مثبت باتری را به کریستال N و قطب منفی باتری را به کریستال P وصل کنیم، این حالت اتصال ولتاژ را «بایاس معکوس» یا «بایاس مخالف» گویند. در شکل ۲۰ــ۲ این حالت نشان داده شده است.

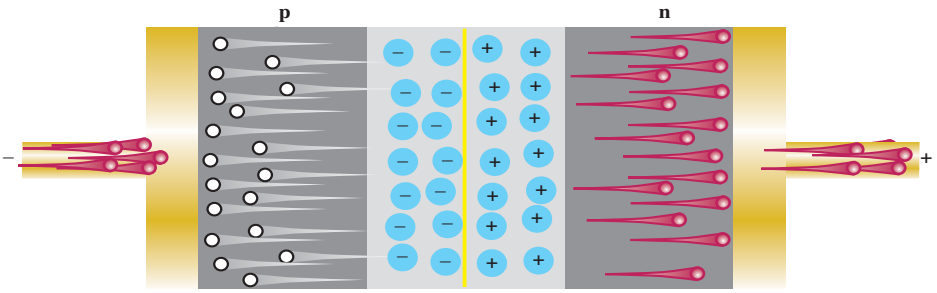


شکل ۲۰ــ۲

۱ــ Forward Bias

۲ــ Reverse Bias

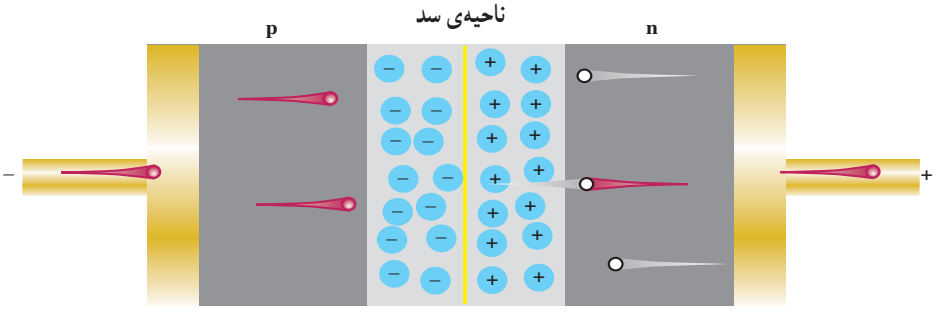
در این حالت قطب منفی باتری حفره‌ها را به‌سمت خود می‌کشد ؛ هم‌چنین قطب مثبت باتری الکترون‌های آزاد را به سمت خود جذب می‌کند و به این‌ترتیب، حفره‌ها و الکترون‌های آزاد از ناحیه‌ی اتصال دور می‌شوند و عرض لایه‌ی تخلیه زیاد می‌شود. در شکل ۲ــ۲۱ این حالت نشان داده شده است.



ناحیه‌ی سد

شکل ۲ــ۲۱

با دور شدن الکترون‌ها و حفره‌ها از منطقه‌ی تخلیه، پتانسیل سد در لایه‌ی تخلیه افزایش می‌یابد و هنگامی که ولتاژ معکوس اعمال شده و پتانسیل سد ناحیه تخلیه با هم برابر شدند عمل دور شدن الکترون‌ها و حفره‌ها متوقف می‌شود. در شکل ۲ــ۲۲ این حالت نشان داده شده است.

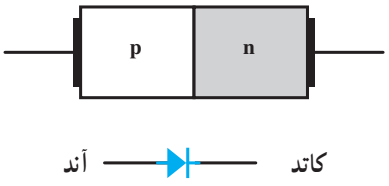


شکل ۲ــ۲۲

با بزرگ شدن ناحیه‌ی تخلیه جریان حامل‌های اکثریت صفر می‌شود. به‌دلیل انرژی حرارتی، حامل‌های اقلیت ایجاد شده در دو کریستال P و N از محل اتصال عبور می‌کنند و جریان ضعیفی را ایجاد می‌نمایند که به آن «جریان اشباع معکوس» یا «نشتی» می‌گویند. این جریان در درجه‌ی حرارت معین ثابت است و بستگی به ولتاژ معکوس ندارد، بلکه فقط به درجه‌ی حرارت بستگی دارد. پس به‌طور خلاصه می‌توان بیان نمود : در بایاس معکوس از دیود فقط جریان ضعیف ناشی از حامل‌های اقلیت به نام «جریان اشباع معکوس» عبور می‌کند.

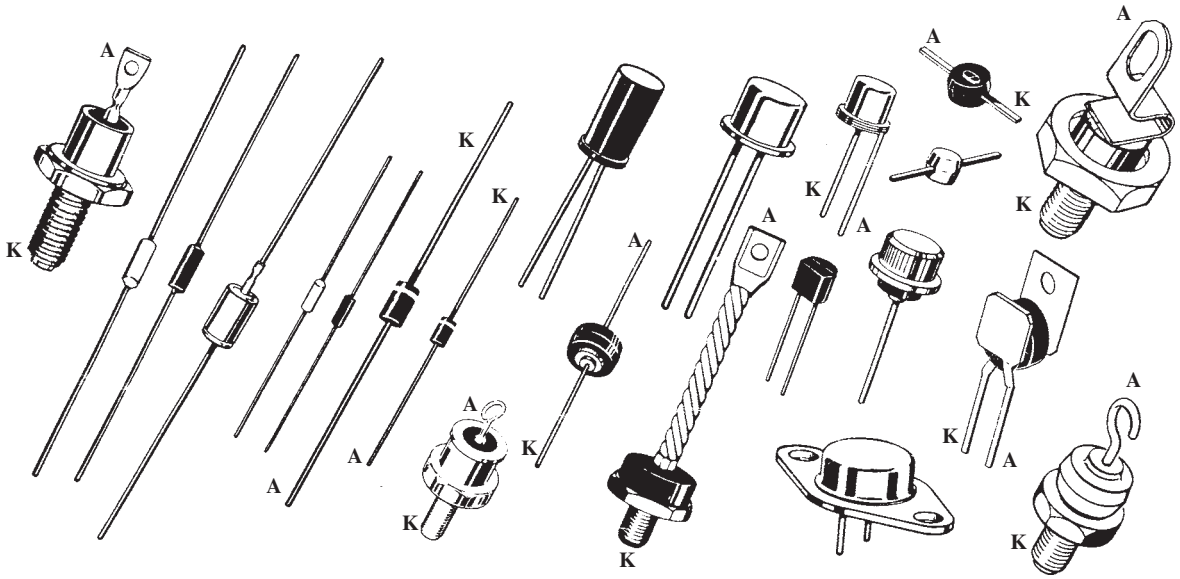
۲ــ۱۸ــ علامت اختصاری و شکل ظاهری دیود معمولی

در شکل ۲ــ۲۳ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری یک دیود معمولی نشان داده شده است.

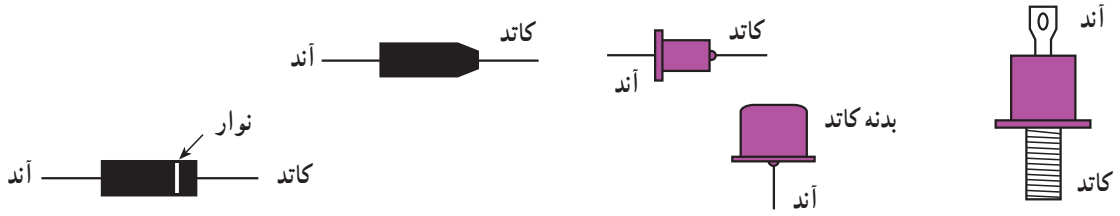


شکل ۲ــ۲۳

نیمه‌هادی نوع P «آند» و نیمه‌هادی نوع N «کاتد» نام دارد. همان‌گونه که دیده می‌شود علامت اختصاری دیود مانند یک پیکان از سمت آند به‌جانب کاتد بوده که معرف این نکته است که جریان قراردادی به‌راحتی از سمت آند به کاتد عبور می‌کند. در شکل ۲ــ۲۴ شکل ظاهری چند دیود را مشاهده می‌کنید. در شکل ۲ــ۲۵ پایه‌های آند و کاتد از روی شکل ظاهری نشان داده شده است.



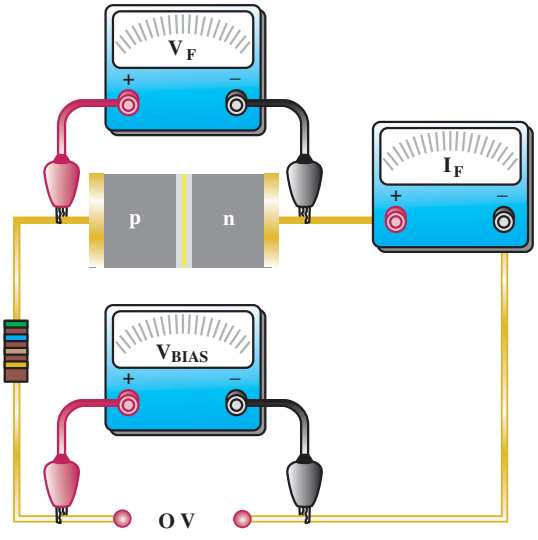
شکل ۲ــ۲۴



شکل ۲ــ۲۵

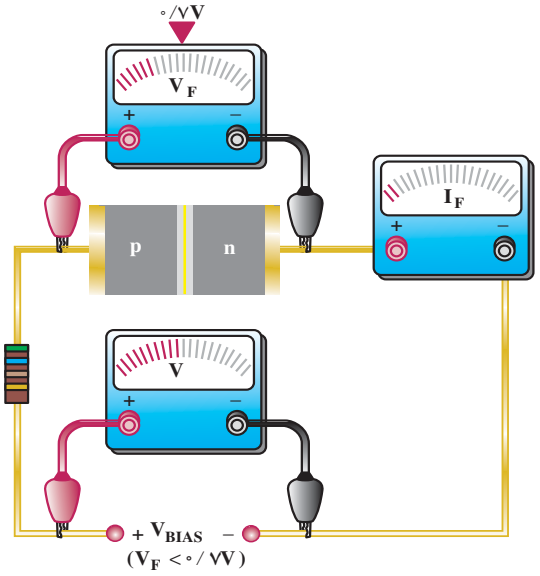
۲ــ۱۹ــ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود در بایاس مستقیم

اگر به دو سر دیود ولتاژی به‌صورت بایاس مستقیم وصل کنیم و ولتاژ باتری را از صفر ولت افزایش دهیم و جریان عبوری از دیود را به‌وسیله‌ی میلی‌آمپرمتری اندازه بگیریم، در ابتدا که ولتاژ صفر بوده جریان عبوری از دیود نیز صفر است (شکل ۲ــ۲۶).



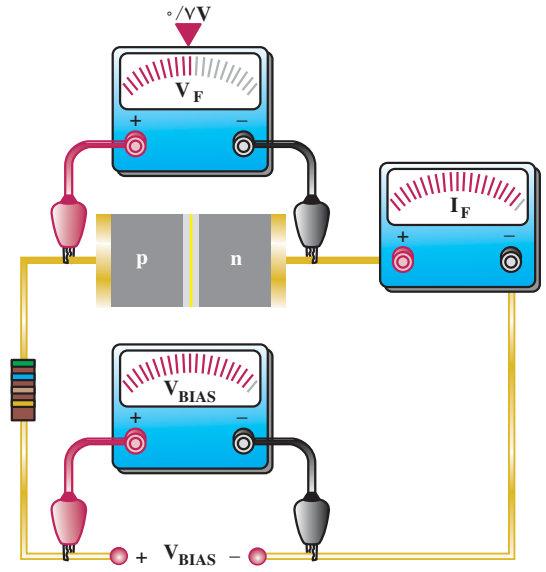
شکل ۲ــ۲۶

هرگاه ولتاژ افزایش یابد جریان عبوری از دیود هم افزایش می‌یابد، هنگامی که ولتاژ بایاس برای یک دیود سیلیکنی کم‌تر از ۰/۷ ولت است جریان عبوری از دیود بسیار ناچیز خواهد بود (شکل ۲ــ۲۷).



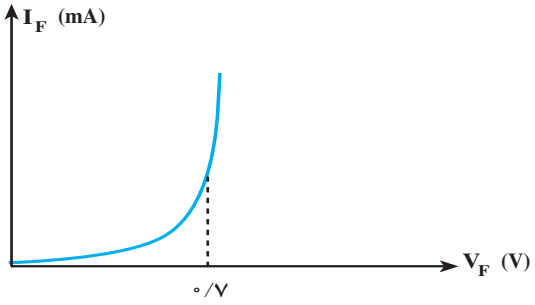
شکل ۲ــ۲۷

اگر ولتاژ بایاس زیاد شود (یعنی پتانسیل خارجی بیش‌تر از ۰/۷ ولت شود)، این پتانسیل بر پتانسیل سد غلبه می‌کند و سد شکسته می‌شود و درنتیجه مقاومت معادل دیود کم می‌شود و سرانجام جریان عبوری از دیود به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد. برای محدود کردن جریان عبوری از دیود لازم است مقاومتی را با دیود سری کنیم (شکل ۲ــ۲۸).



شکل ۲ــ۲۸

در شکل ۲ــ۲۹ منحنی ولت‌آمپر در بایاس موافق نشان داده شده است.

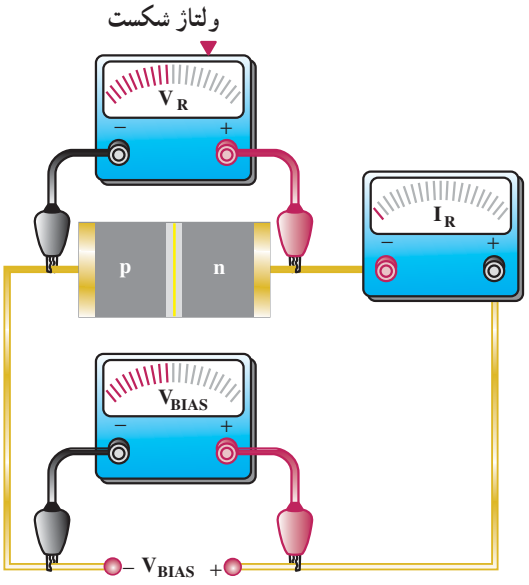


شکل ۲ــ۲۹

۲ــ۲۰ــ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود در بایاس معکوس

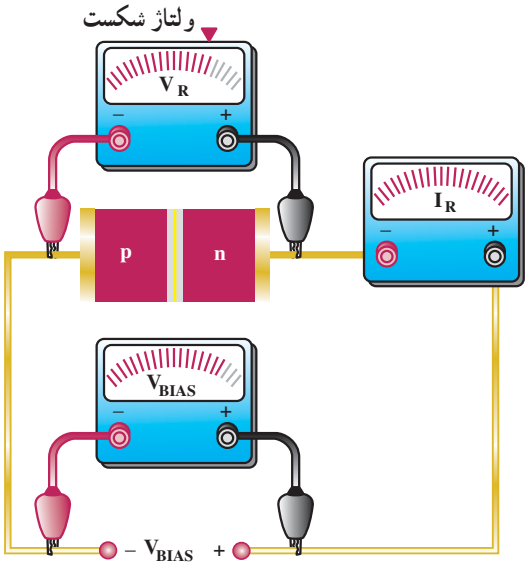
اگر دیود را به‌طور معکوس بایاس کنیم جریان بسیار ناچیز نشتی از دیود می‌گذرد. با افزایش ولتاژ معکوس، در یک ولتاژ معین که «ولتاژ شکست دیود» نامیده می‌شود جریان به‌سرعت افزایش می‌یابد و دیود آسیب می‌بیند.

در شکل ۲ــ۳۰ ولتاژ بایاس مخالف که کم‌تر از ولتاژ شکست است نشان داده شده است.



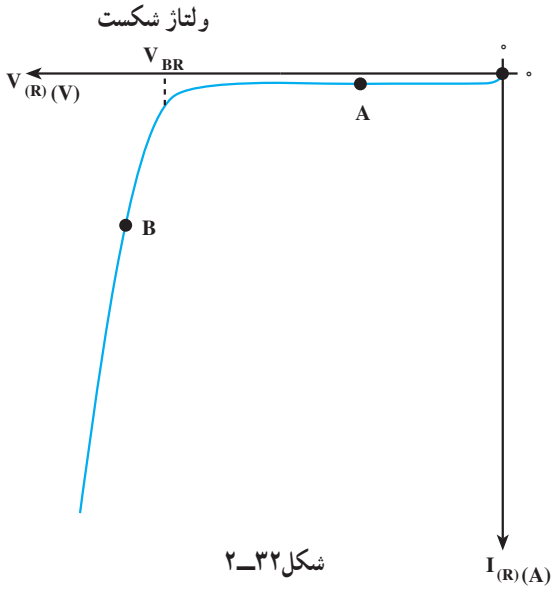
شکل ۲ــ۳۰

در شکل ۳۱ــ۲ حالتی که ولتاژ بایاس به ولتاژ شکست رسیده نشان داده شده است. در این حالت جریان عبوری از دیود به شدت افزایش یافته است.



شکل ۳۱ــ۲

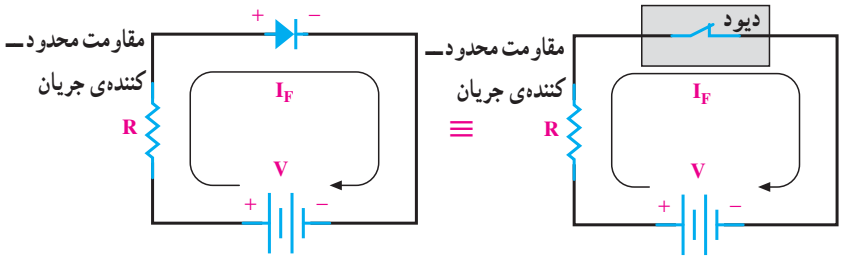
در شکل ۳۲ــ۲ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر در گرایش معکوس نشان داده شده است.



شکل ۳۲ــ۲

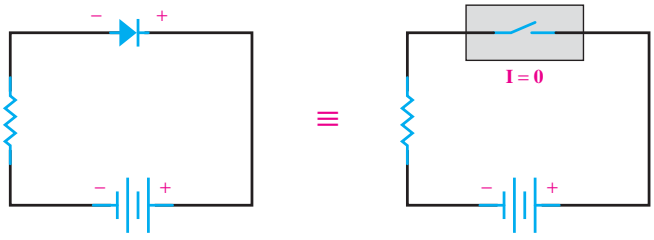
۲۱ــ۲ــ بررسی دیود در حالت ایده‌آل

چون دیود در بایاس مستقیم جریان را به‌راحتی عبور می‌دهد و در بایاس معکوس جریان بسیار ناچیز از دیود عبور می‌کند، پس در حالت ایده‌آل در بایاس مستقیم مانند «هادی» و در بایاس معکوس مانند «عایق» عمل می‌کند. عملکرد دیود را در حالت ایده‌آل در بایاس موافق می‌توان با یک کلید وصل مقایسه کرد. در بایاس معکوس یک دیود ایده‌آل مانند یک کلید باز عمل می‌کند. در شکل ۳۳ــ۲ دیود ایده‌آل در بایاس موافق نشان داده شده است.



شکل ۳۳ــ۲

هم‌چنین در شکل ۳۴ــ۲ معادل دیود ایده‌آل در بایاس مخالف نشان داده شده است :

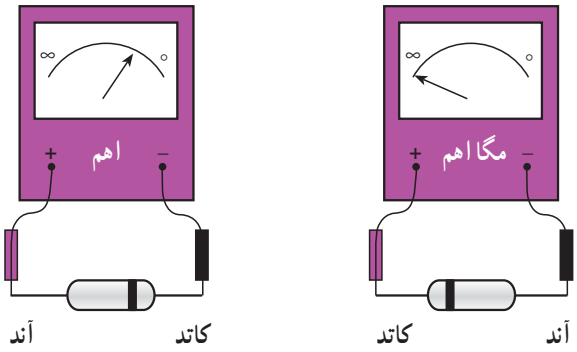


شکل ۳۴ــ۲

۲۲ــ۲ــ تشخیص آند و کاتد و سالم‌بودن دیود به‌وسیله‌ی اهم‌متر

۱ــ۲۲ــ۲ــ استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای: اگر اهم‌متر عقربه‌ای را به دو سر دیود وصل کرده و اهم آن را اندازه بگیرید، سپس اتصال دیود را برعکس کرده مجدداً اهم آن را اندازه بگیرید در یک حالت اهم‌متر، اهم کم و در حالت دیگر اهم‌متر، اهم زیاد را نشان می‌دهد واضح است در حالت اهم‌کم دیود به‌وسیله‌ی باتری داخلی اهم‌متر در بایاس مستقیم قرارگرفته است و در حالتی که اهم‌متر اهم زیاد را نشان می‌دهد دیود در بایاس معکوس قرار گرفته است که اصطلاحاً گفته می‌شود : «دیود از یک طرف

راه می‌دهد و از طرف دیگر راه نمی‌دهد». در شکل ۳۵ــ۲ این دو حالت نشان داده شده است.



شکل۳۵ــ۲

در حالتی که اهم‌متر اهم کم را نشان می‌دهد مثبت واقعی اهم‌متر به آند دیود و منفی واقعی اهم‌متر به کاتد دیود اتصال دارد. به این‌ترتیب، می‌توان آند و کاتد دیود را تعیین نمود. البته مقدار مقاومتی که اهم‌متر نشان می‌دهد به انتخاب کلید سلکتور اهم‌متر بستگی دارد.

اگر دیود معیوب باشد، ممکن است قطع شده باشد؛ در این صورت، در هر دو حالت اتصال اهم‌متر، اهم‌متر اهم بی‌نهایت را نشان می‌دهد. اگر دیود معیوب اتصال کوتاه شده باشد، در هر دو حالت اتصال اهم‌متر، اهم‌متر اهم صفر را نشان می‌دهد.

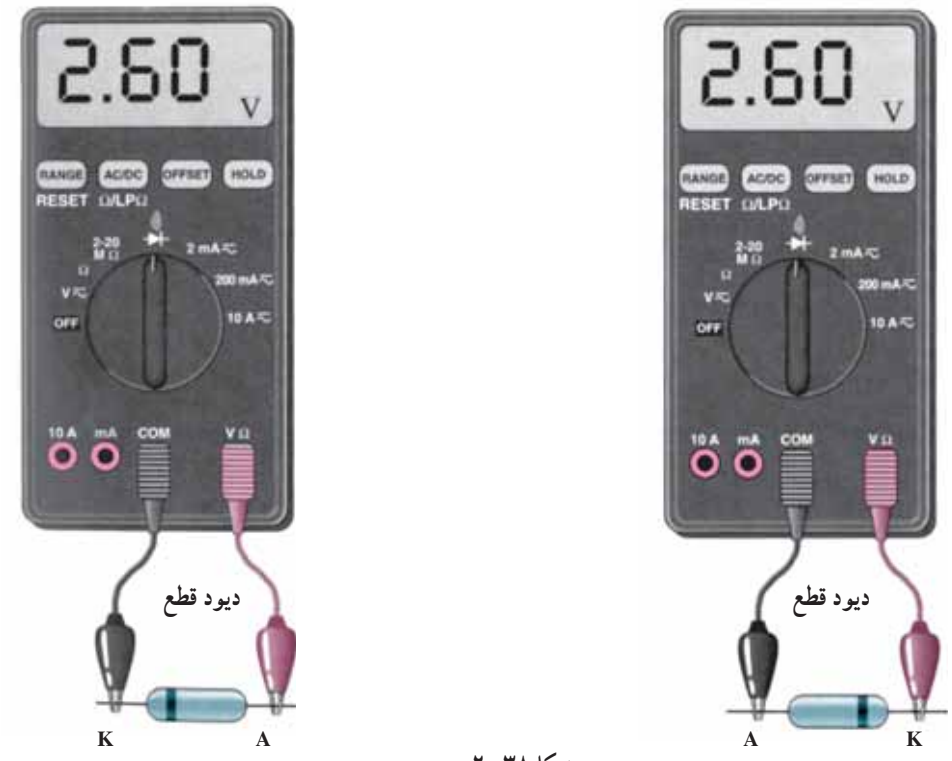
۲ــ۲۲ــ۲ــ استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی: اغلب مولتی‌مترهای دیجیتالی دارای وضعیت تست دیود هستند. هرگاه کلید سلکتور مولتی‌متر دیجیتالی را در وضعیت تست دیود قرار دهیم و دیود به‌وسیله‌ی مولتی‌متر در بایاس موافق قرار بگیرد مولتی‌متر دیجیتالی ولتاژ بایاس دیود را نشان می‌دهد که این ولتاژ برای دیودهای سیلیکنی حدود ۰/۷ ولت و برای دیودهای از جنس ژرمانیم حدود ۰/۲ ولت است. شکل ۳۶ــ۲ این حالت را نشان می‌دهد.

اگر دیود در بایاس مخالف قرار گیرد، مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف اعمال شده به‌وسیله‌ی دستگاه را در دو سر دیود نشان می‌دهد. این ولتاژ ممکن است ۱/۵ تا ۳ ولت باشد. در شکل ۳۷ــ۲ این حالت را مشاهده می‌کنید.

شکل۳۶ــ۲

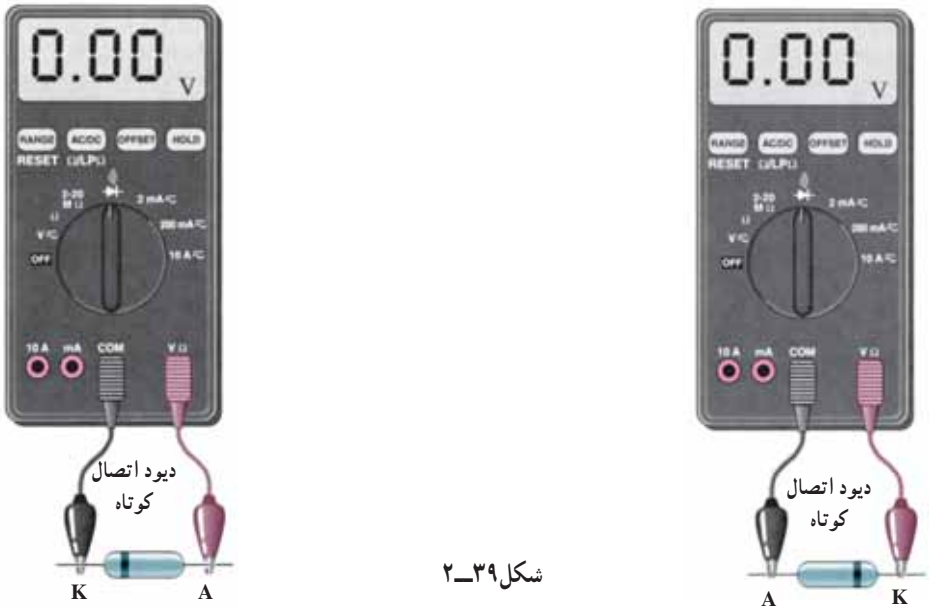
شکل۳۷ــ۲

پس در حالتی که مولتی‌متر ولتاژ بایاس موافق دیود را نشان می‌دهد، سیم منفی (سیم مشترک یا Com) روی کاتد و سیم مثبت به آند دیود وصل است. اگر دیود ناسالم و قطع باشد، در هر دو وضع اتصال مولتی‌متر به دیود، روی صفحه‌ی آن ولتاژ باتری داخلی نشان داده می‌شود. در شکل ۳۸ــ۲ این دو حالت دیده می‌شود.



شکل۳۸ــ۲

اگر دیود اتصال کوتاه باشد در هر دو وضع اتصال مولتی‌متر به دیود روی صفحه‌ی دستگاه ولتاژ صفر نشان داده خواهد شد. در شکل ۳۹ــ۲ این حالت نشان داده شده است.



شکل۳۹ــ۲

۲۳ــ۲ــ مقادیر حد در دیود

برخی از کمیّت‌های دیود اگر از میزان ماکزیمم بیش‌تر شوند به دیود آسیب می‌رسانند. مقدار ماکزیمم این کمیت‌ها «مقدار حد دیود» نام دارد. برخی از مقادیر حد که در کتاب مشخصات دیودها آورده می‌شود و با توجه به نوع طراحی می‌توان از آن‌ها استفاده نمود بدین قرار است :

۱ــ۲۳ــ۲ــ حداکثر ولتاژ معکوس: حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس می‌تواند در دو سر دیود قرار گیرد ؛ به‌گونه‌ای که دیود آسیب نبیند، «حداکثر ولتاژ معکوس» نام دارد. معمولاً در برگه‌ی داده‌ها سه پارامتر برای حداکثر ولتاژ معکوس قید می‌شود.

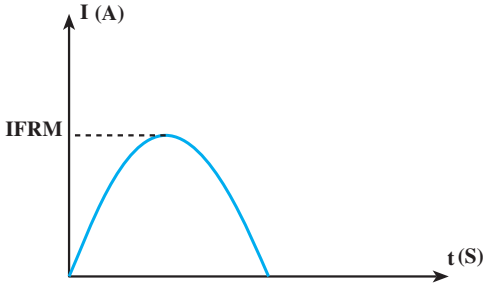
الف ــ ولتاژ معکوس (VR)[1]: حداکثر ولتاژ DC اعمال‌شده به دو سر دیود در بایاس معکوس که دیود می‌تواند تحمل کند، VR نام دارد.

ب ــ ماکزیمم ولتاژ معکوس تکرار سیکل‌ها (VRRM)[2]: حداکثر ولتاژ معکوس که به‌صورت تکرار سیکل‌ها در دو سر دیود قرار می‌گیرد ؛ به‌گونه‌ای که دیود آسیب نبیند «VRRM» نام دارد.

ج ــ ولتاژ معکوس قابل تحمل در وضعیت کار عادی (VRWM)[3]: حداکثر ولتاژ معکوس در وضعیت کار عادی VRWM نام دارد.

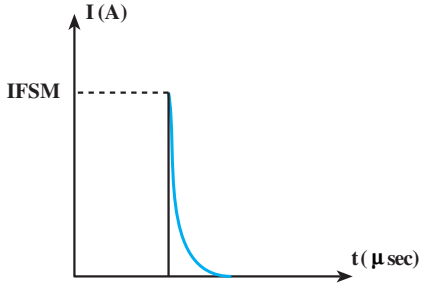
۲ــ۲۳ــ۲ــ حداکثر جریان مستقیم (IF)[4]: حداکثر جریان DC یا متوسط که می‌توان از دیود در گرایش مستقیم عبور داد ؛ به‌گونه‌ای که دیود آسیب نبیند «IF» نام دارد. در اثر عبور این جریان در محل اتصال «P-N» حرارت ایجاد می‌شود. اگر در هوای آزاد حرارت ایجاد شده به‌خوبی دفع نشود باید دیود را روی گرماگیر نصب نمود (کارخانه‌ی سازنده، نصب روی گرماگیر را مشخص می‌سازد).

۳ــ۲۳ــ۲ــ حداکثر جریان بایاس مستقیم تکراری (IFRM)[5]: حداکثر جریانی است که به‌صورت تکرار سیکل‌ها درگرایش مستقیم می‌تواند از دیود عبور کند. در شکل ۲ــ۴۰ این جریان را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲ــ۴۰

۴ــ۲۳ــ۲ــ حداکثر جریان لحظه‌ای (IFSM)[6]: حداکثر جریانی که در زمان بسیار کوتاه (حدود چند میکروثانیه) می‌تواند از دیود عبور کند ؛ به‌گونه‌ای که به دیود آسیب نرسد، «IFSM» نام دارد. در شکل ۲ــ۴۱ این جریان نشان داده شده است.



شکل ۲ــ۴۱

۱ــ VR = Reverse voltage

۲ــ VRRM = Peak Repetitive Reverse voltage

۳ــ VRWM = Working Peak Reverse Voltage درحال کار

۴ــ IF = Forward current

۵ــ IFRM = Maximum Repetitive Peak forward current

۶ــ IFSM = Maximum Surge current

در جدول ۱ــ۲ یکی از برگه‌داده‌های دیود را مشاهده می‌کنید. در جدول ۲ــ۲ بعضی داده‌های دیودهای معمولی ۱N۴۰۰۱ تا ۱N۴۰۰۷ آورده شده است.

جدول ۱ــ۲

TYPE	Manufacturer	Germanium Bllicon	V_R V	I_F mA	I_{FRM} mA	T_i °C	R_{thj-a} °C/W	I_F mA at	V_F V	C_D pF at	V_R V	t_{rr} sec from	I_F mA to	V_R V at	RL Ω	USE	CASE
1N۹۱	G_e	G	۶۵	۱۵۰	۲۵A	۱۰۵		۱۰۰	۰۳۸							۸	

- شماره دیود
- نام کارخانه‌ی سازنده
- جنس دیود: سیلیسیم S، ژرمانیم G
- ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز
- مقدار متوسط جریان مجاز
- مقدار ماکزیمم جریان مجاز تکراری
- ماکزیمم درجه حرارت قابل تحمل محل پیوند PN
- مقاومت حرارتی دیود از محل پیوند PN به محیط
- به‌ازای عبور این جریان از دیود
- افت ولتاژ دوسر دیود به‌وجود می‌آید.
- ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای مقدار ولتاژ معکوس ردیف بالا
- این مقدار ولتاژ معکوس
- زمان بازیابی دیود
- به‌ازای ↑
- جریان عبوری از مدار
- ولتاژ معکوس و ↑
- مقاومت بار و ↑
- کاربرد
- شکل ظاهری و ابعاد دیود

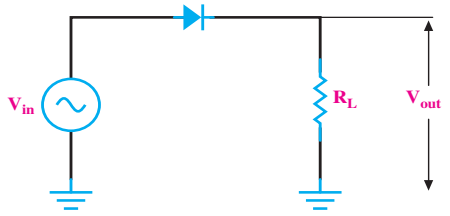
توجه: نیازی نیست هنرجویان اعداد و اصطلاحات جدول‌های ۱ــ۲ و ۲ــ۲ را به خاطر بسپارند.

جدول ۲ــ۲

واحد	1N4007	1N4006	1N4005	1N4004	1N4003	1N4002	1N4001	حروف اختصاری	
ولت V	۱۰۰۰	۸۰۰	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	V_{RRM} V_{RWM} V_R	حداکثر ولتاژ معکوس تکراری حداکثر ولتاژ معکوس در حال‌کار حداکثر ولتاژ معکوس DC
ولت V	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۷۲۰	۴۸۰	۲۴۰	۱۲۰	۶۰	V_{RSM}	ولتاژ ماکزیمم معکوس غیرتکراری
ولت V	۷۰۰	۵۶۰	۴۲۰	۲۸۰	۱۴۰	۷۰	۳۵	$V_{R(rms)}$	ولتاژ معکوس مؤثر
آمپر A	۱/۰							I_F	معدل جریان یکسو شده در بایاس موافق در درجه حرارت محیط TA = 75° C
آمپر A	۳۰(for۱cycle)							I_{FSM}	حداکثر جریان لحظه‌ای غیرتکراری
C° درجه سانتی‌گراد	−۶۵to+۱۷۵							Tj	درجه حرارت پیوند

۲۴ــ۲ــ کاربرد دیود به‌عنوان یک‌سوساز

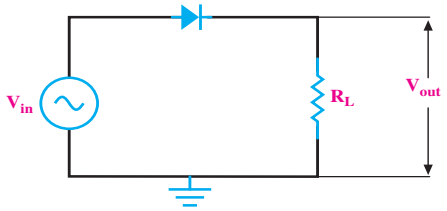
«مدارهای یک‌سوکننده‌ی دیودی» مدارهایی هستند که ولتاژ متناوب را به یک ولتاژ مستقیم (یک‌طرفه) تبدیل می‌نمایند، زیرا دیود از یک‌طرف جریان را عبور می‌دهد و ازجهت دیگر، جریان قطع است. عنصراصلی مدارهای یک‌سوکننده دیود است. به‌طور کلی سه نوعِ یک‌سوکننده‌ی تک‌فاز وجود دارد.



(الف)

۱ــ۲۴ــ۲ــ یک‌سوکننده‌ی نیم‌موج: ساده‌ترین مداری که به‌کمک آن می‌توان جریان متناوب را به جریان یک‌طرفه تبدیل نمود یک‌سوکننده‌ی نیم‌موج است. در شکل ۴۲ــ۲ــ الف مدار یک‌سوکننده‌ی نیم‌موج نشان داده شده است.

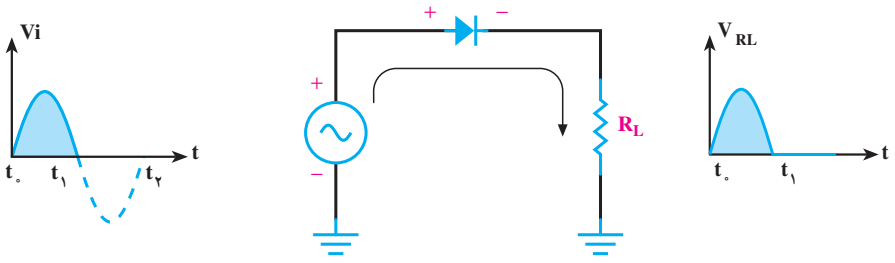
علامت ⏚ نشانه‌ی اتصال زمین است. تمام اتصال زمین‌ها در یک مدار به‌وسیله‌ی خطوط ارتباطی به هم وصل هستند. پس شکل ۴۲ــ۲ــ الف را می‌توان به صورت شکل ۴۲ــ۲ــ ب نیز رسم کرد.



(ب)

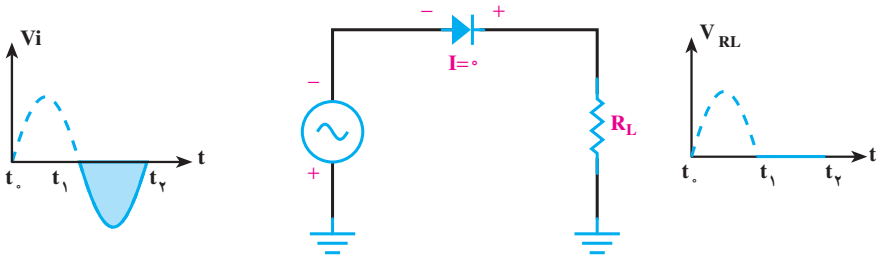
شکل ۴۲ــ۲

۲ــ۲۴ــ۲ــ طرز کار یک‌سوکننده‌ی نیم‌موج: با توجه به شکل ۲ــ۴۳ در زمان t_0 تا t_1 یعنی در نیم سیکل مثبت موج ورودی، آند دیود نسبت به کاتد دیود مثبت است و اگر دیود ایده‌آل فرض شود دیود مانند یک کلید وصل بوده و جریان در مدار جاری می‌شود و در دو سر بار R_L افت ولتاژی مطابق شکل موج ورودی پدید می‌آید (شکل ۲ــ۴۳).

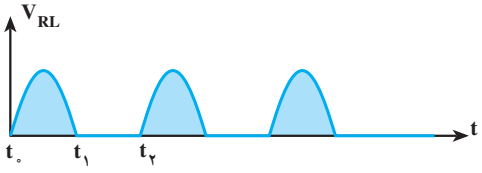


شکل ۲ــ۴۳

در زمان t_1 تا t_2 دیود در گرایش معکوس قراردارد و جریان عبوری از دیود صفر است ؛ از این‌رو در دو سر بار افت ولتاژی پدید نمی‌آید (شکل ۲ــ۴۴). به‌طور کلی شکل موج دوسر بار مانند شکل ۲ــ۴۵ است.

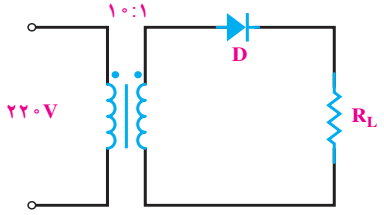


شکل ۲ــ۴۴



شکل ۲ــ۴۵

معمولاً برای تولید موج یک‌سو شده از برق شهر (از یک ترانسفورماتور) استفاده می‌کنند. ترانسفورماتور به‌کاررفته معمولاً کاهنده است تا برق شهر را به ولتاژی کم‌تر تبدیل کند. در شکل ۲ــ۴۶ مدار یک‌سوکننده‌ی نیم موج را با ترانسفورماتور مشاهده می‌کنید.



شکل ۲ــ۴۶