فصل سوم

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.

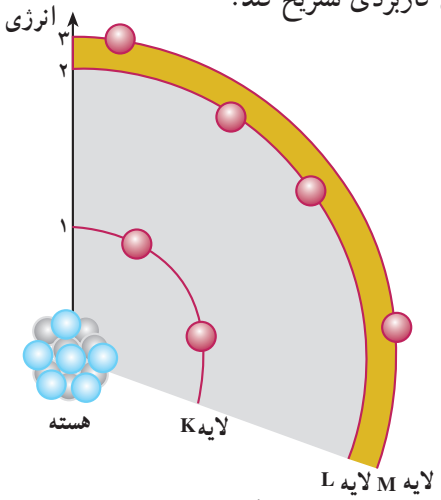
۱۵ــ دیود نوردهنده (LED) را شرح دهد.

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

۱۷ــ نقش دیود، آی سی رگولاتور و ... را در چند مثال کاربردی تشریح کند.

۱ــ۳ــ هدایت الکتریکی اجسام

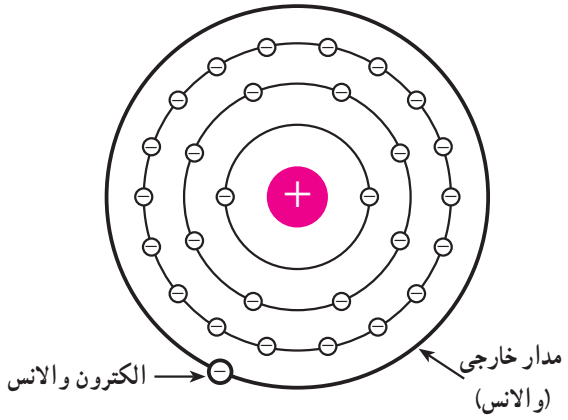
اتم‌های عناصر دارای الکترون‌هایی هستند که در مدارهای مختلف به دور هسته درحال گردش‌اند. الکترون‌هایی که به‌هسته نزدیک‌تر هستند انرژی کم‌تری دارند، اما نیروی واردشده از هسته بر آن‌ها بیش‌تر است و به آسانی نمی‌توان آن‌ها را از اتم جدا کرد. الکترون‌های آخرین مدار دارای انرژی بیش‌تر بوده، اما وابستگی کم‌تری به هسته‌ی اتم دارند. در شکل ۱ــ۳ مشاهده می‌کنید که هرچه فاصله‌ی الکترون از هسته بیش‌تر باشد انرژی آن‌هم بیش‌تر است.



شکل ۱ــ۳

۲ــ۳ــ 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 ۲ــ۳ اتم مس به همراه مدارهای آن، لایه‌ی والانس، هم‌چنین الکترون‌های لایه‌ی والانس نشان داده شده است.



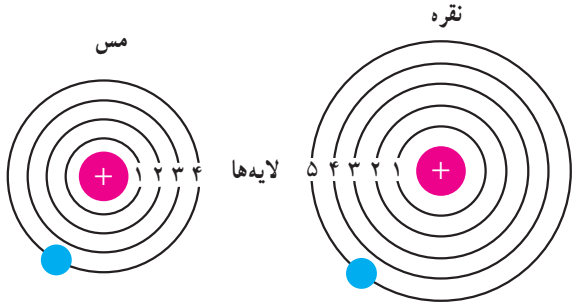
شکل ۲ــ۳

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.

۳ــ۳ــ 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 ۳ــ۳ ساختمان اتمی دو فلز نقره و مس را که فقط الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت آن‌ها رسم شده است، مشاهده می‌کنید. این فلزات هادی‌های خوبی هستند.

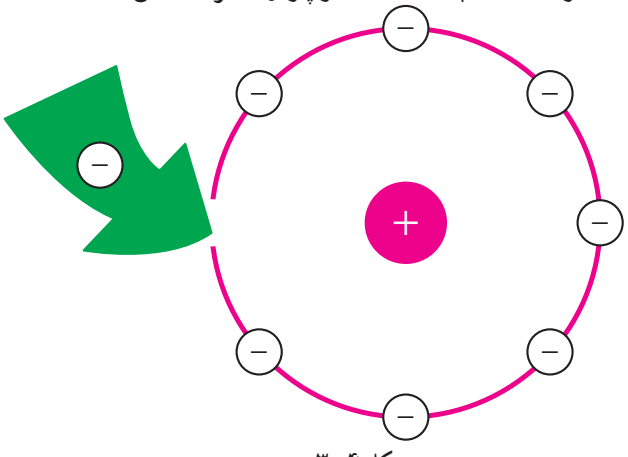


شکل ۳ــ۳

۴ــ۳ــ 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 ۴ــ۳ 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 ۴ــ۳

۱ــ Valence Electron ۲ــ Conductor ۳ــ Insulator

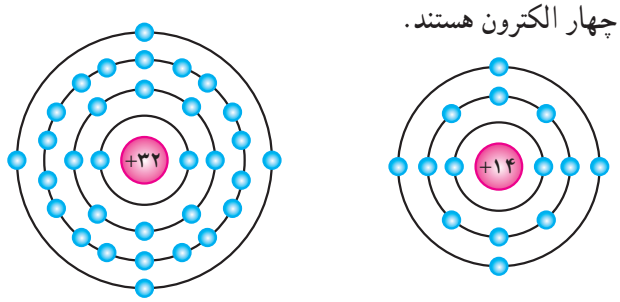
۵ــ۳ــ نیمه‌هادی‌ها[1]

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.

۶ــ۳ــ 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 ۵ــ۳، 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 ۵ــ۳

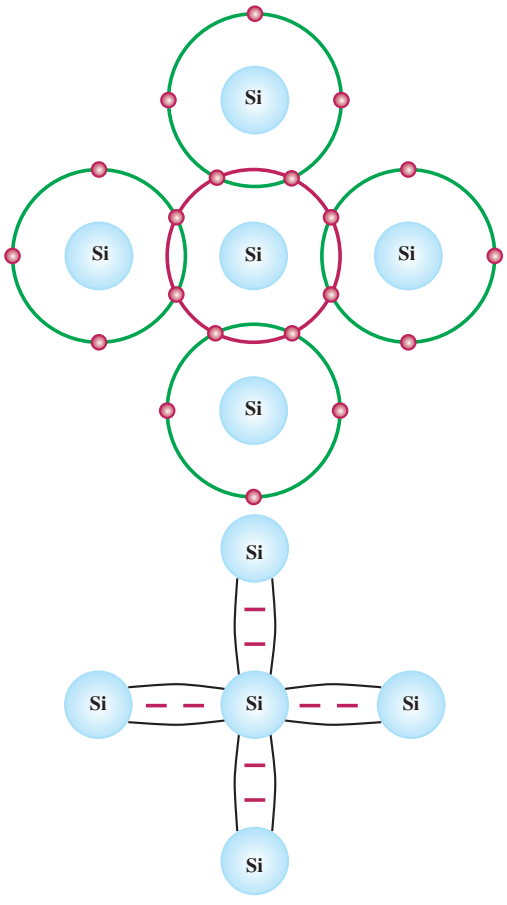
۷ــ۳ــ ساختمان کریستالی سیلیکن و ژرمانیم

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.

۸ــ۳ــ 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 ۶ــ۳ پیوند اشتراکی بین اتم‌های سیلیکن را مشاهده می‌کنید.

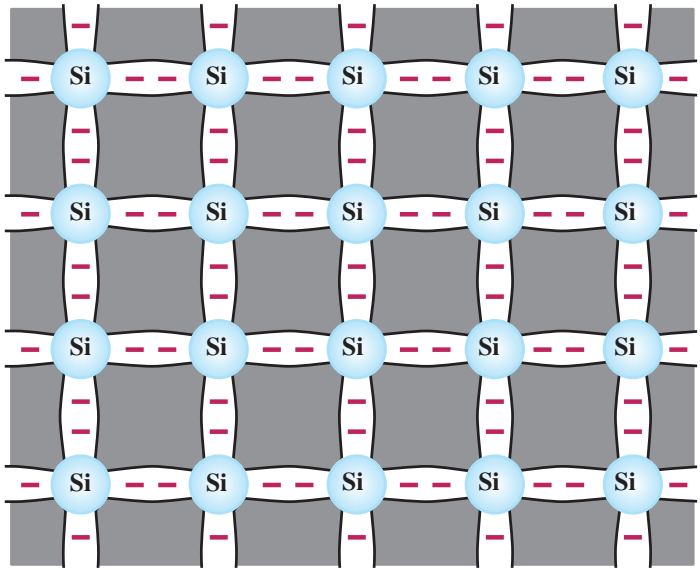


شکل ۶ــ۳

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 ۷ــ۳ــ پیوند کووالانس در ساختمان کریستال را نشان می‌دهد.



شکل ۷ــ۳

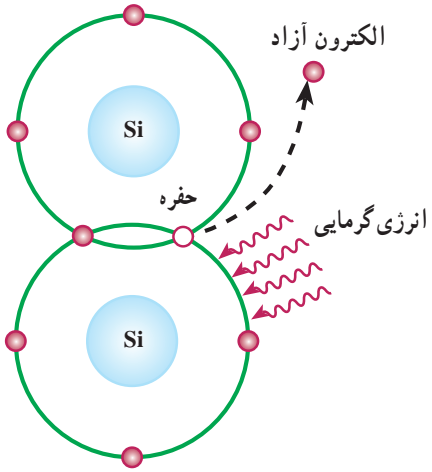
۹ــ۳ــ هدایت الکتریکی در سیلیکن و ژرمانیم خالص

در صفر مطلق (C ۲۷۳−) 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.

۱۰ــ۳ــ 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 ۸ــ۳ 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.



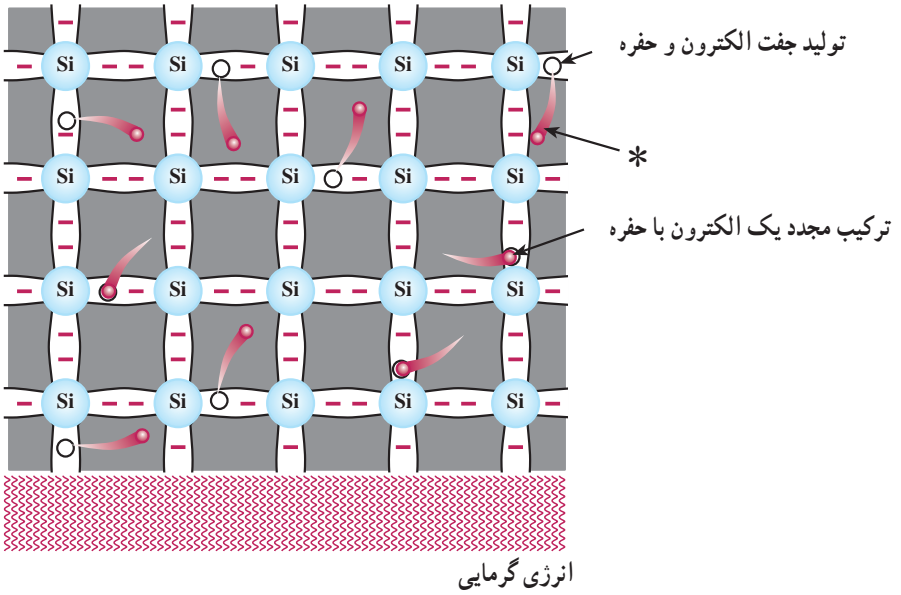
شکل ۸ــ۳

۱ــ Hole

۱۱ــ۳ــ جریان الکترون‌های آزاد

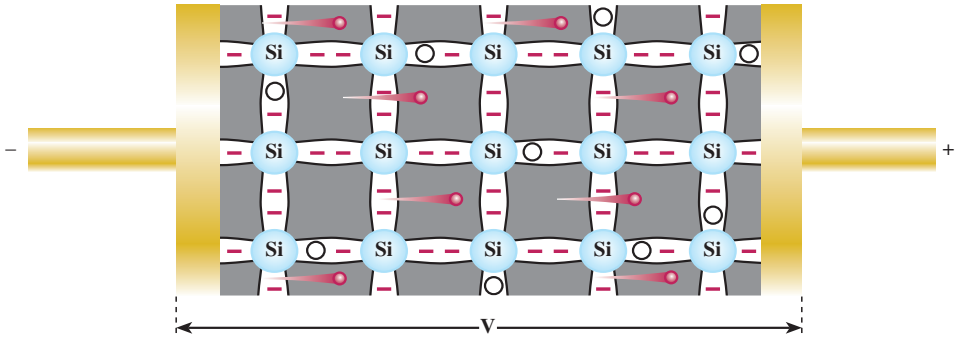
الکترون‌های آزاد شده در کریستال به‌صورت نامنظم حرکت می‌کنند. اگر به‌صورت اتفاقی الکترونی به حفره‌ای نزدیک شود جذب حفره می‌گردد. به این‌ترتیب، تا زمانی که نیرویی از خارج اعمال نشود حرکت الکترون‌ها و جذب آن‌ها به وسیله‌ی حفره‌ها در کریستال به‌طور نامنظم ادامه می‌یابد.

در شکل ۹ــ۳ کریستال سیلیکن، تولید الکترون، حفره و ترکیب مجدد الکترون، با حفره نشان داده شده است.



شکل ۹ ــ۳

وقتی مطابق شکل ۱۰ــ۳ 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 ۱۰ــ۳

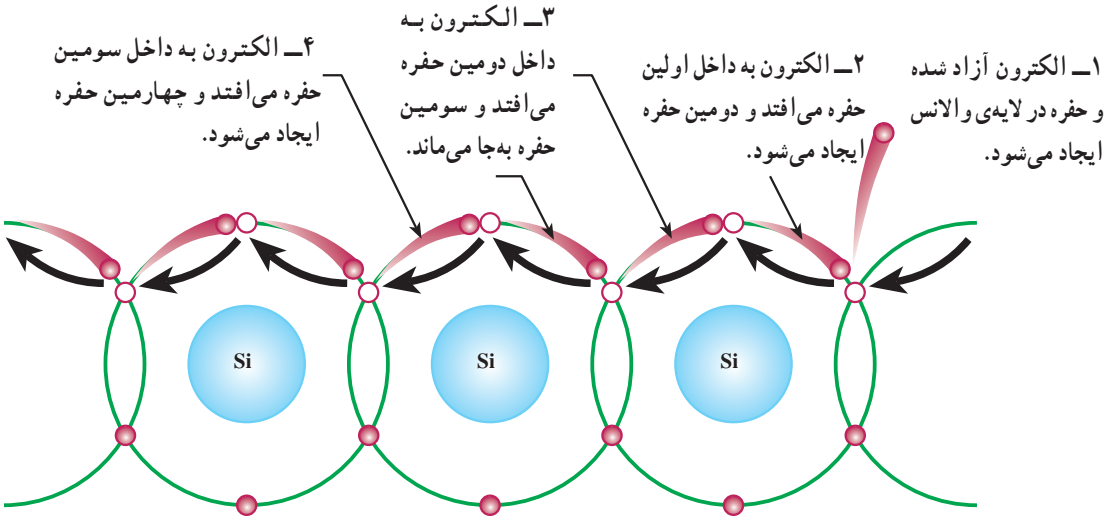
۱۲ــ۳ــ جریان حفره‌ها

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 ۱۱ــ۳ تصویری از جهت حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ــ۳

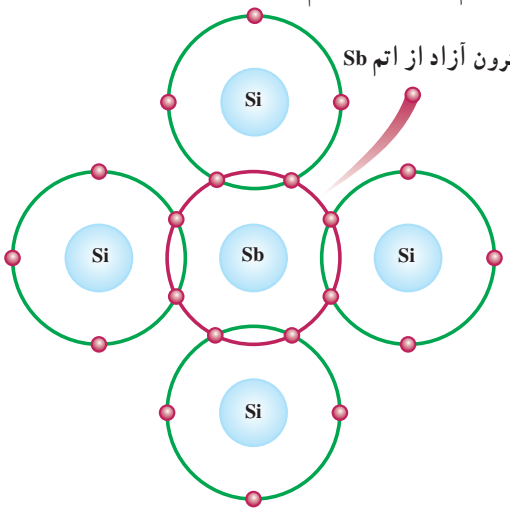
۱۳ــ۳ــ افزودن ناخالصی به کریستال نیمه‌هادی

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.

۱۴ــ۳ــ 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 ۱۲ــ۳ 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»[1] نام دارد.

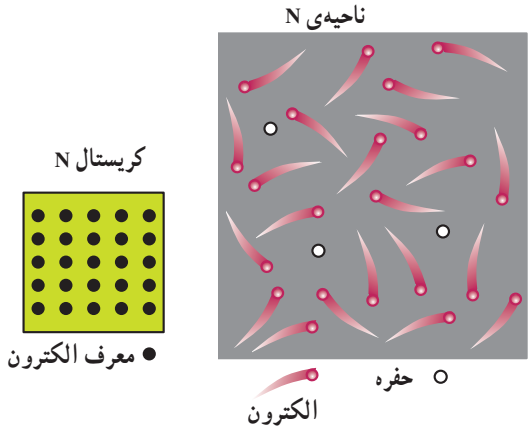


شکل ۱۲ــ۳

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.

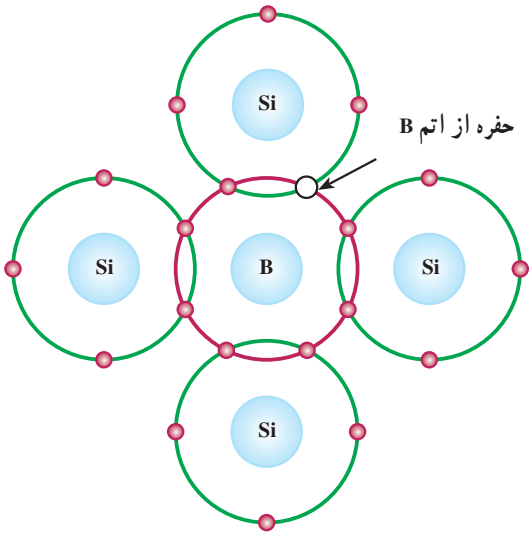
در شکل ۱۳ــ۳ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال N و شمای مداری آن نشان داده شده است. البته کل کریستال N از نظر بارالکتریکی خنثی است، زیرا بارهای مثبت و منفی آن باهم برابرند.



شکل ۱۳ــ۳

۱۵ــ۳ــ 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 ۱۴ــ۳ جای خالی الکترون نشان داده شده است.



شکل ۱۴ــ۳

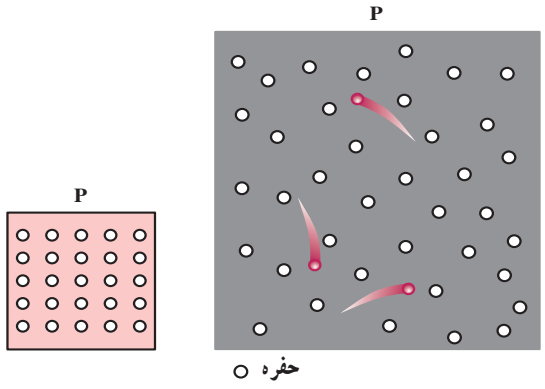
ممکن است الکترونی با داشتن انرژی جنبشی کافی از پیوند شکسته شود و محل این حفره را پر نماید. در این صورت، حفره‌ی جدیدی در کریستال ایجاد می‌شود ؛ بنابراین، افزودن هر اتم ناخالصی سه‌ظرفیتی در کریستال یک حفره ایجاد می‌نماید. به‌اتم سه‌ظرفیتی که قادر است یک الکترون آزاد را جذب کند «اتم پذیرنده»[2] گویند. اتم 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 آن‌که حامل‌های اکثریت هدایت الکتریکی، حفره‌ها هستند و حفره‌ها مانند یک بار مثبت عمل می‌کنند، به این کریستال، کریستال نوع P[3] گویند.

در شکل ۱۵ــ۳ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال P و نمای مداری کریستال نشان داده شده است. البته کل کریستال P از نظر بارالکتریکی خنثی است.

۱ــ N= Negative منفی

۲ــ Acceptor

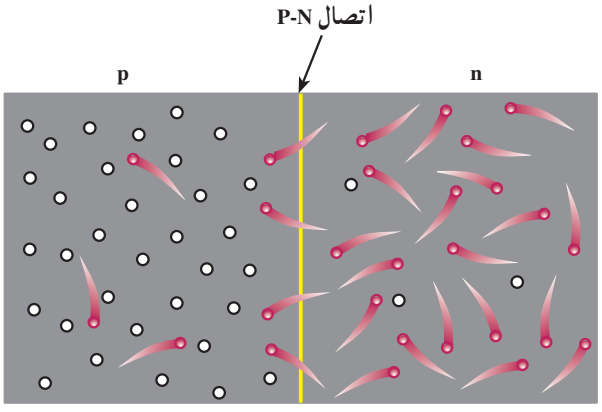
۳ــ P=Positive



شکل ۱۵ــ۳

۱۶ــ۳ــ اتصال P-N (دیود کریستالی)

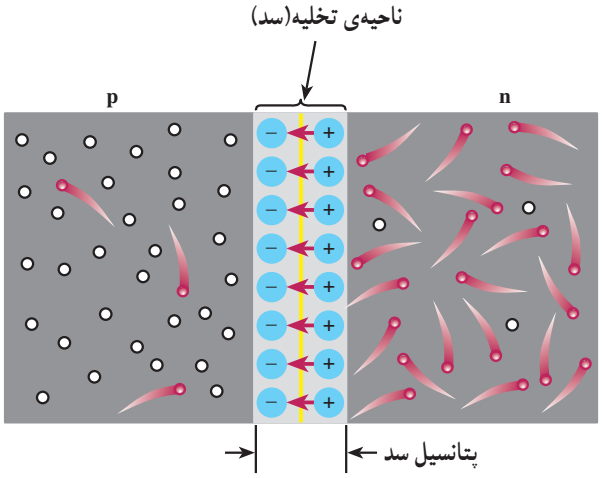
هرگاه دو کریستال نیمه‌هادی نوع N و P به‌هم اتصال یابند، الکترون‌های آزاد نیمه‌هادی نوع N که در نزدیک محل اتصال P-N قرار دارند به منطقه‌ی P نفوذ می‌نمایند و با حفره‌های کریستال نوع P ترکیب می‌شوند و به این‌ترتیب، حفره‌هایی از بین می‌روند و الکترون‌های آزاد به‌صورت الکترون‌های ظرفیت درمی‌آیند. در شکل ۱۶ــ۳ ترکیب الکترون‌ها با حفره‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۶ــ۳

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 ۱۷ــ۳ ناحیه‌ی تخلیه و پتانسیل سد نشان داده شده است.

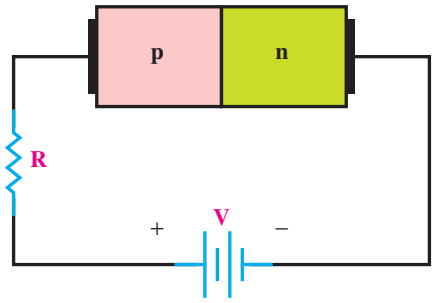


شکل ۱۷ــ۳

۱۷ــ۳ــ بایاس کردن اتصال P-N

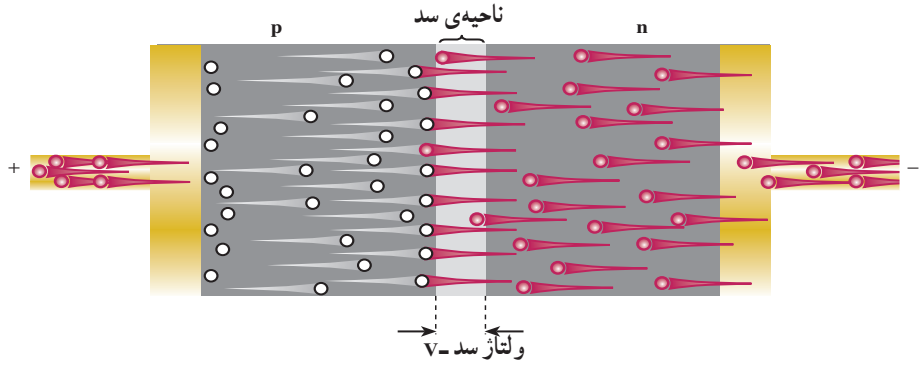
هرگاه به اتصال P-N ولتاژی اعمال کنیم گوییم آن را «بایاس» نموده‌ایم. بایاس کردن اتصال P-N به‌دوصورت «مستقیم» و «معکوس» انجام می‌گیرد :

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 ۱۸ــ۳ این بایاس را مشاهده می‌کنید.



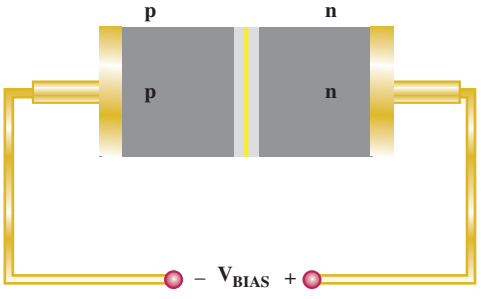
شکل ۱۸ــ۳

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 و جریانی را به وجود می‌آورند. در شکل ۱۹ــ۳ حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۹ــ۳

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 ۲۰ــ۳ این حالت نشان داده شده است.

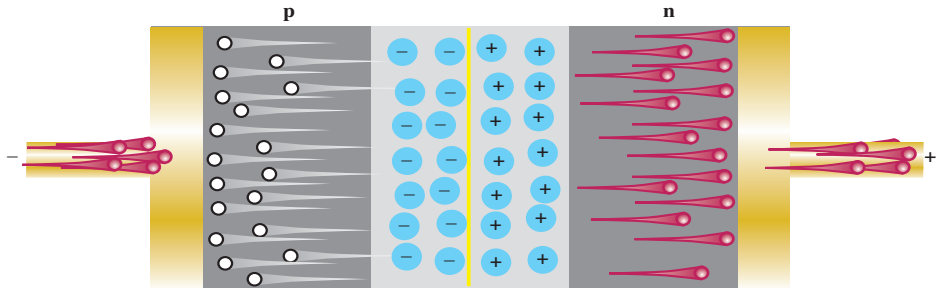


شکل ۲۰ــ۳

۱ــ Forward Bias

۲ــ Reverse Bias

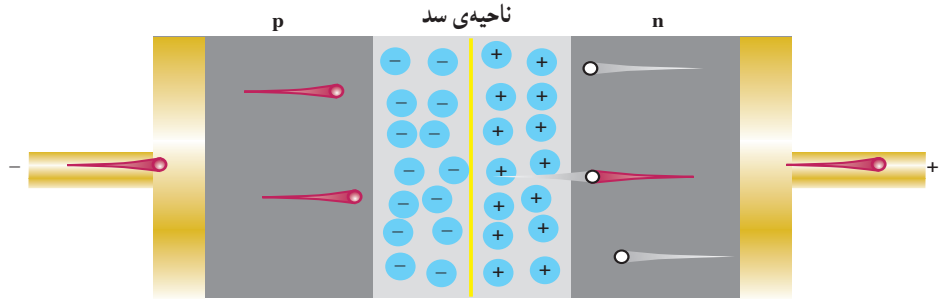
در این حالت قطب منفی باتری حفره‌ها را به‌سمت خود می‌کشد ؛ هم‌چنین قطب مثبت باتری الکترون‌های آزاد را به سمت خود جذب می‌کند و به این‌ترتیب، حفره‌ها و الکترون‌های آزاد از ناحیه‌ی اتصال دور می‌شوند و عرض لایه‌ی تخلیه زیاد می‌شود. در شکل ۲۱ــ۳ این حالت نشان داده شده است.



ناحیه‌ی سد

شکل ۲۱ــ۳

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 ۲۲ــ۳ این حالت نشان داده شده است.

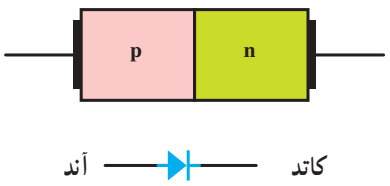


شکل ۲۲ــ۳

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.

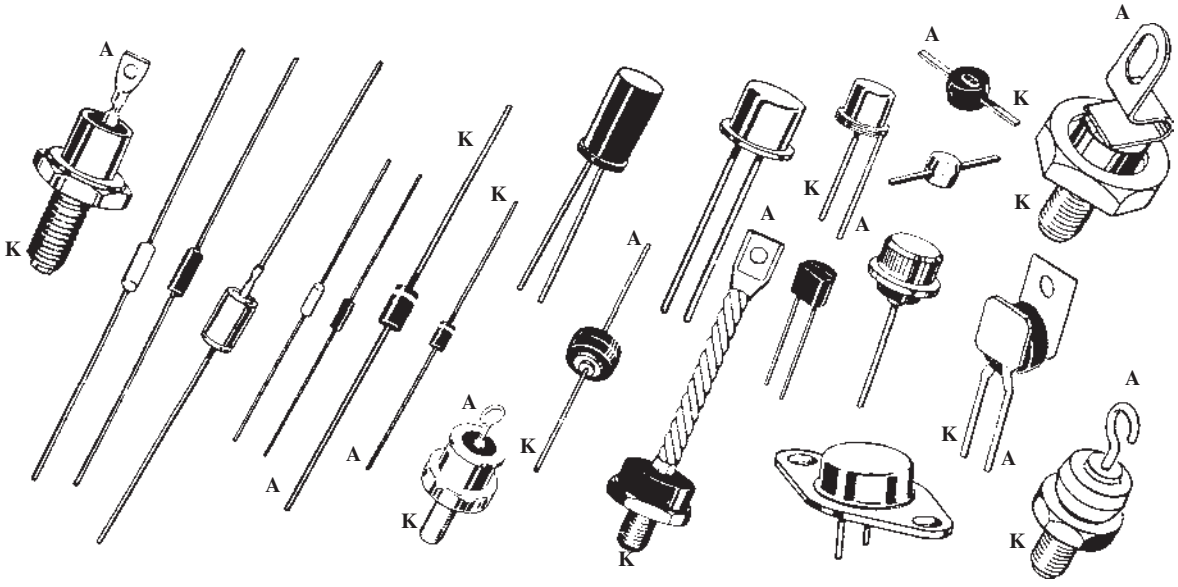
۱۸ــ۳ــ علامت اختصاری و شکل ظاهری دیود معمولی

در شکل ۲۳ــ۳ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری یک دیود معمولی نشان داده شده است.

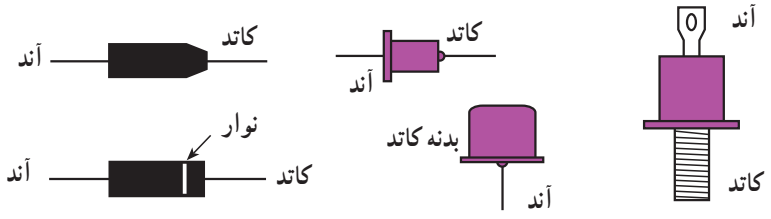


شکل ۲۳ــ۳

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 ۲۴ــ۳ شکل ظاهری چند دیود را مشاهده می‌کنید. در شکل ۲۵ــ۳ پایه‌های آند و کاتد از روی شکل ظاهری نشان داده شده است.



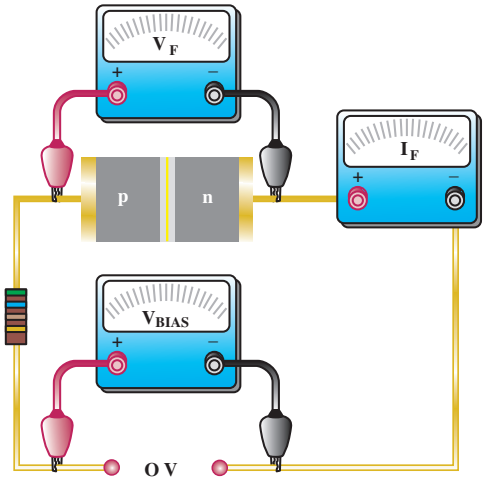
شکل ۲۴ــ۳



شکل ۲۵ــ۳

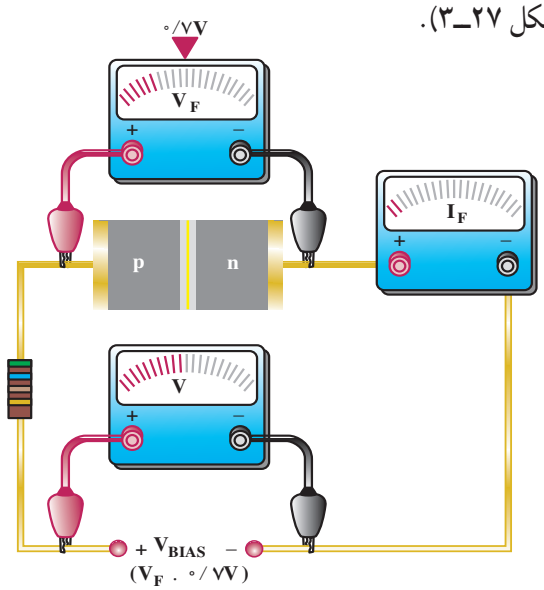
۱۹ــ۳ــ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود در بایاس مستقیم

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 ۲۶ــ۳).



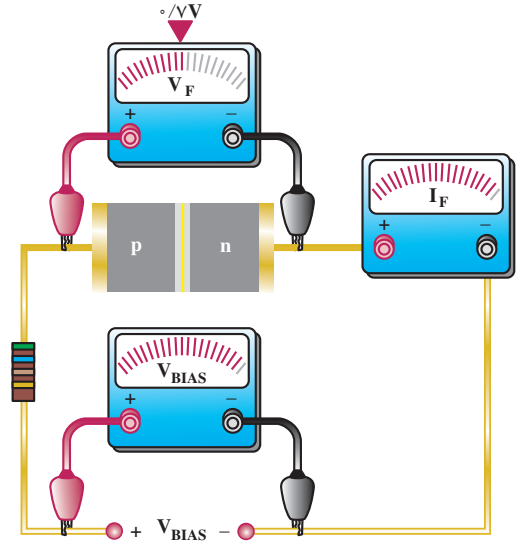
شکل ۲۶ــ۳

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 ۲۷ــ۳).



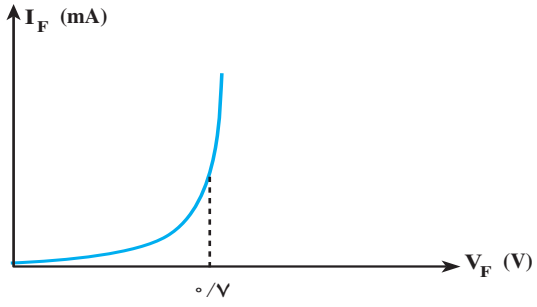
شکل ۲۷ ــ۳

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 ۲۸ــ۳).



شکل ۲۸ــ۳

در شکل ۲۹ــ۳ منحنی ولت‌آمپر در بایاس موافق نشان داده شده است.



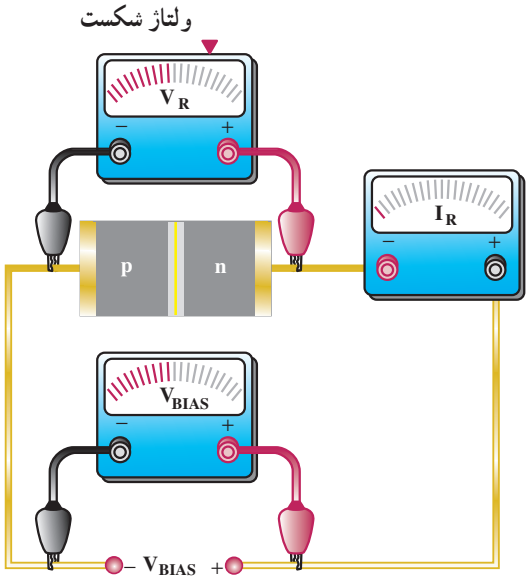
شکل ۲۹ ــ۳

۲۰ــ۳ــ 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.

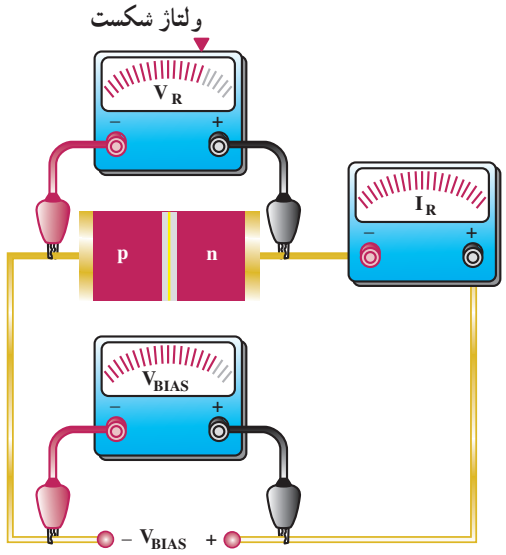
در شکل ۳۰ــ۳ ولتاژ بایاس مخالف که کم‌تر از ولتاژ شکست است نشان داده شده است.

سؤال: چرا در شکل ۳۰ــ۳ از مقاومتی مانند مدار شکل ۲۸ــ۳ استفاده نشده است؟



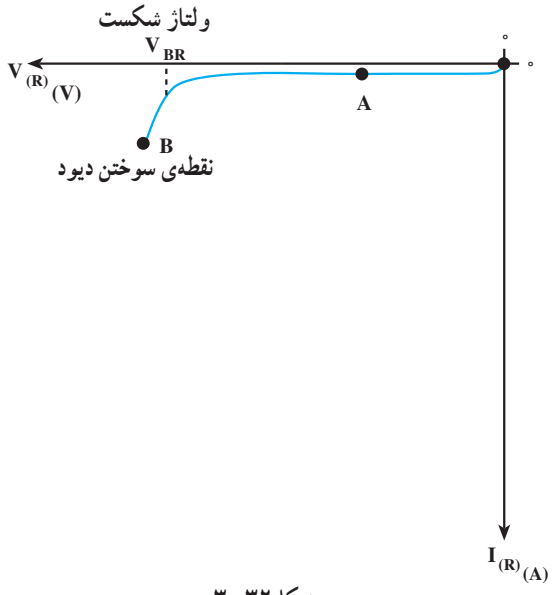
شکل ۳۰ــ۳

در شکل ۳۱ـ۳ 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 ۳۱ـ۳

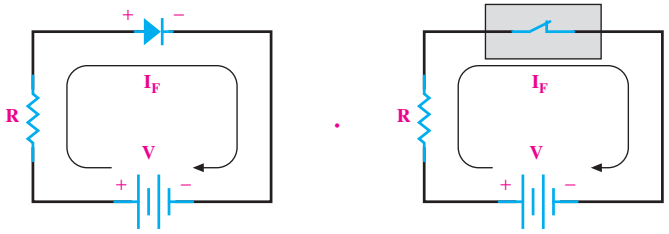
در شکل ۳۲ـ۳ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود در گرایش معکوس نشان داده شده است.



شکل ۳۲ـ۳

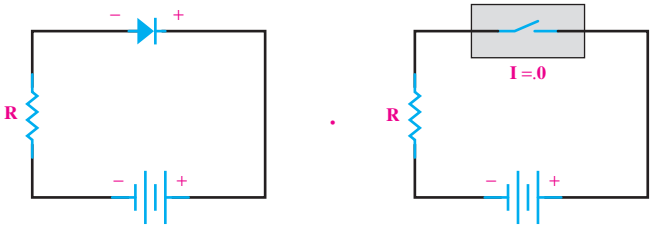
۲۱ـ۳ـ بررسی دیود در حالت ایده‌آل

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 ۳۳ـ۳ دیود ایده‌آل در بایاس موافق نشان داده شده است. مقاومت R در مدار به‌عنوان محدودکننده جریان به‌کار رفته است.



شکل ۳۳ـ۳

هم‌چنین در شکل ۳۴ـ۳ معادل دیود ایده‌آل در بایاس مخالف نشان داده شده است :

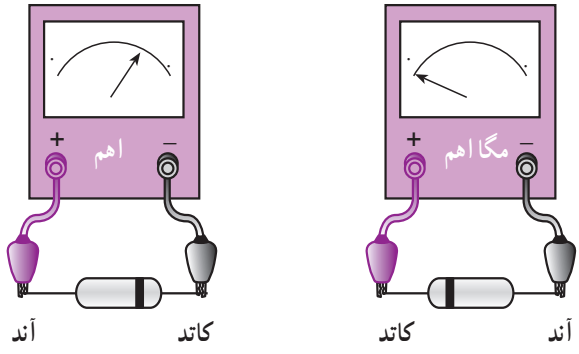


شکل ۳۴ـ۳

۲۲ـ۳ـ تشخیص آند و کاتد و سالم‌بودن دیود به‌وسیله‌ی اهم‌متر

۱ـ۲۲ـ۳ـ 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 ۳ــ۳۵ این دو حالت نشان داده شده است.



شکل۳ــ۳۵

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.

۲ــ۲۲ــ۳ــ 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 ۳ــ۳۶ این حالت را نشان می‌دهد.

شکل۳ــ۳۶

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 ۳ــ۳۷ این حالت را مشاهده می‌کنید.

شکل۳ــ۳۷

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 ۳ــ۳۸ این دو حالت دیده می‌شود.

شکل۳ــ۳۸

اگر دیود اتصال کـوتاه باشد در هر دو وضع اتصال مولتی‌متـر به دیـود روی صفحه‌ی دستگاه ولتـاژ صفر نشان داده خواهد شد. در شکل ۳ــ۳۹ این حالت نشان داده شده است.

شکل۳ــ۳۹

۲۳ــ۳ــ 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 :

۱ــ۲۳ــ۳ــ 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.

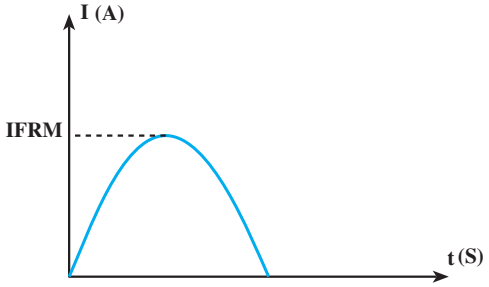
الف ــ ولتاژ معکوس (VR)[1]**:** حداکثر ولتاژ DC اعمال‌شده به دو سر دیود در بایاس معکوس که دیود می‌تواند تحمل کند، VR نام دارد.

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.

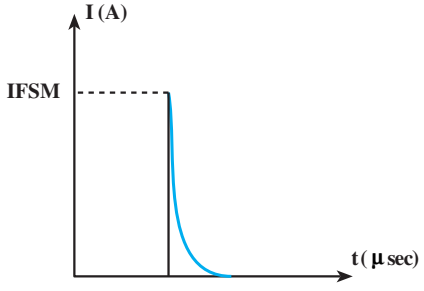
۲ــ۲۳ــ۳ــ حداکثر جریان مستقیم (IF)[4]**:** حداکثر جریان DC یا متوسط که می‌توان از دیود در گرایش مستقیم عبور داد ؛ به‌گونه‌ای که دیود آسیب نبیند «IF» نام دارد. در اثر عبور این جریان در محل اتصال «P-N» حرارت ایجاد می‌شود. اگر در هوای آزاد حرارت ایجاد شده به‌خوبی دفع نشود باید دیود را روی گرماگیر نصب نمود (کارخانه‌ی سازنده، نصب روی گرماگیر را مشخص می‌سازد).

۳ــ۲۳ــ۳ــ حداکثر جریان بایاس مستقیم تکراری (IFRM)[5]**:** حداکثر جریانی است که به‌صورت تکرار سیکل‌ها درگرایش مستقیم می‌تواند از دیود عبور کند. در شکل ۴۰ــ۳ این جریان را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۰ــ۳

۴ــ۲۳ــ۳ــ 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 ۴۱ــ۳ این جریان نشان داده شده است.



شکل ۴۱ــ۳

۱ــ VR = Reverse voltage

۲ــ VRRM = Peak Repeatative Reverse voltage

۳ــ VRWM = Working Peak Reverse Voltage درحال کار

۴ــ IF = Forward current

۵ــ IFRM = Maximum Repeatative Peak forward current

۶ــ IFSM = Maximum Surge current

در جدول ۱ــ۳ یکی از برگه‌داده‌های دیود را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱ــ۳

TYPE	Manufacturer	Germanium Cllicon	V_R V	I_F mA	I_{FRM} mA	T_j 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
- و .
- ولتاژ معکوس
- و .
- مقاومت بار
- کاربرد
- شکل ظاهری و ابعاد دیود

توجه: نیازی نیست هنرجویان اعداد و اصطلاحات جدول‌های ۱ــ۳ و ۲ــ۳ را به خاطر بسپارند.

در جدول ۲ــ۳ بعضی داده‌های دیودهای معمولی ۱N۴۰۰۱ تا ۱N۴۰۰۷ آورده شده است.

جدول ۲ــ۳

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 حال کار 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 یکسوشده در بایاس موافق در درجه حرارت محیط TA = ۲۵ C
آمپر A	۳۰(for۱cycle)							I_{FSM}	حداکثر جریان لحظه‌ای غیرتکراری
C درجه سانتی‌گراد	−۶۵to+۱۷۵							Tj	درجه حرارت پیوند

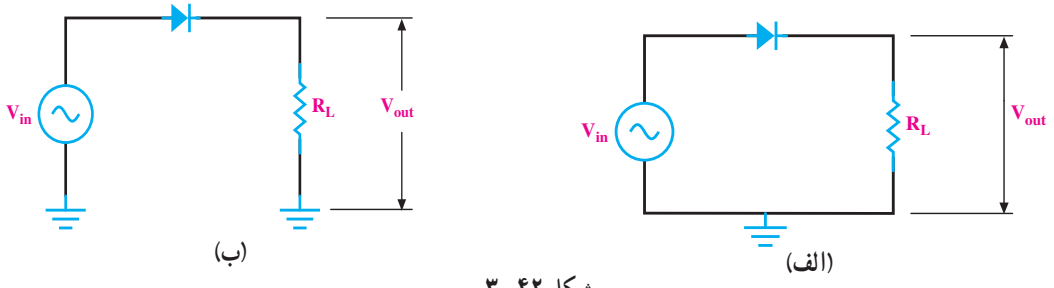
۲۴ــ۳ــ کاربرد دیود به‌عنوان یک‌سوساز

«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 نوع یک‌سوکننده‌ی تک‌فاز وجود دارد.

۱ــ۲۴ــ۳ــ یک‌سو کننده‌ی نیم‌موج:

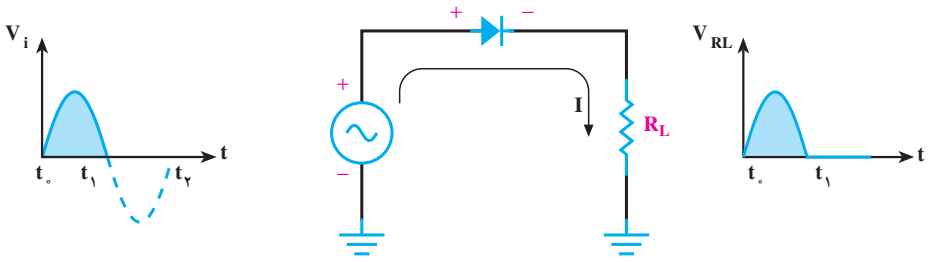
ساده‌ترین مداری که به‌کمک آن می‌توان جریان متناوب را به جریان یک‌طرفه تبدیل نمود یک‌سوکننده‌ی نیم‌موج است. در شکل ۴۲ــ۳ــ الف مدار یک‌سوکننده‌ی نیم‌موج نشان داده شده است.

علامت ⏚ نشانه‌ی اتصال زمین است. تمام اتصال زمین‌ها در یک مدار به‌وسیله‌ی خطوط ارتباطی به هم وصل هستند. پس شکل ۴۲ــ۳ــ الف را می‌توان به صورت شکل ۴۲ــ۳ــ ب نیز رسم کرد.



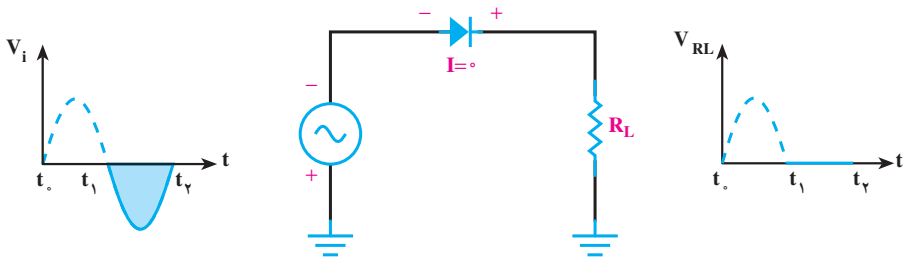
شکل ۴۲ــ۳

۲ــ۲۴ــ۳ــ طرز کار یک‌سوکننده‌ی نیم‌موج: با توجه به شکل ۴۳ــ۳ 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 ۴۳ــ۳).

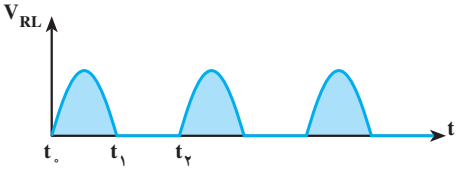


شکل ۴۳ــ۳

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 ۴۴ــ۳). به‌طور کلی شکل موج دوسر بار مانند شکل ۴۵ــ۳ است.

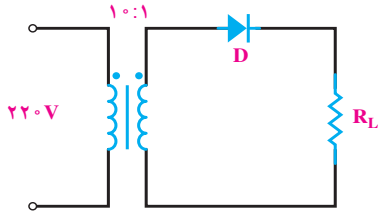


شکل ۴۴ــ۳



شکل ۴۵ــ۳

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 ۴۶ــ۳ مدار یک‌سوکننده‌ی نیم موج را با ترانسفورماتور مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۶ــ۳