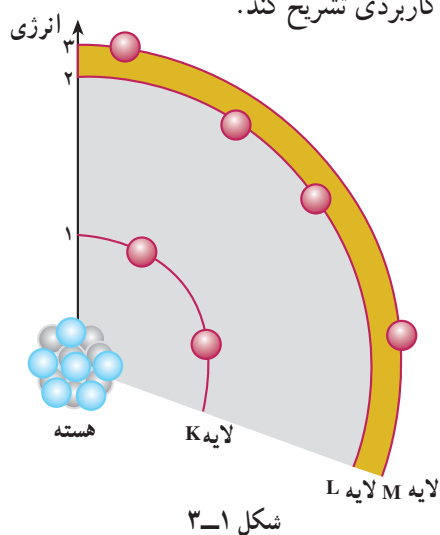


دیود نیمه‌هادی

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

- ۱- عناصر را از نظر هدایت الکتریکی بررسی کند.
- ۲- هادی‌ها و عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها را تعریف کند.
- ۳- عناصر گروه چهارم جدول تناوبی (سیلیکن و ژرمانیم) را معرفی کند.
- ۴- هدایت الکتریکی در نیمه‌هادی‌های سیلیکن و ژرمانیم را شرح دهد.
- ۵- نحوه‌ی افزایش هدایت در نیمه‌هادی‌های Si و Ge را توضیح دهد.
- ۶- نیمه‌هادی نوع P و N را تشریح کند.
- ۷- اتصال P و N را به‌عنوان یک دیود شرح دهد.
- ۸- دیود را به‌منزله‌ی یک کلید الکترونیکی ایده‌آل معرفی کند.
- ۹- چگونگی آزمایش و سالم بودن دیود را به کمک اهم‌متر شرح دهد.
- ۱۰- پارامترهای مهم در دیود (مقادیر حد) را شرح دهد.
- ۱۱- مشخصات دیود را از روی برگه‌ی مشخصات بخواند.
- ۱۲- کاربرد دیود را در یک سوسازی جریان متناوب به‌صورت نیم‌موج و تمام‌موج شرح دهد.
- ۱۳- مدار یک منبع تغذیه با ترانسفورماتور، یک سوساز و خازن صافی را رسم کند.
- ۱۴- دیود زبر و کاربرد آن در تثبیت ولتاژ را توضیح دهد.
- ۱۵- دیود نوردهنده (LED) را شرح دهد.
- ۱۶- کاربرد LED در نمایش اعداد و وضعیت کار سیستم‌ها را بیان کند.
- ۱۷- نقش دیود، آی‌سی رگولاتور و ... را در چند مثال کاربردی تشریح کند.

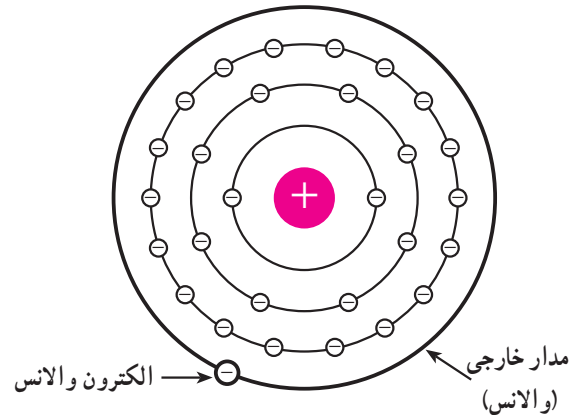


۳-۱- هدایت الکتریکی اجسام

اتم‌های عناصر دارای الکترون‌هایی هستند که در مدارهای مختلف به دور هسته در حال گردش‌اند. 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 بوده، اما وابستگی کم‌تری به هسته‌ی اتم دارند. در شکل ۳-۱ مشاهده می‌کنید که هرچه فاصله‌ی الکترون از هسته بیش‌تر باشد انرژی آن‌هم بیش‌تر است.

۳-۲ الکترون‌های ظرفیت یا والانس^۱

آخرین لایه‌ی هر اتم «لایه‌ی ظرفیت» یا «والانس» نام دارد و الکترون‌های این لایه نیز الکترون‌های ظرفیت یا والانس نام دارند. در شکل ۳-۲ اتم مس به همراه مدارهای آن، لایه‌ی والانس، هم‌چنین الکترون‌های لایه‌ی والانس نشان داده شده است.



شکل ۳-۲

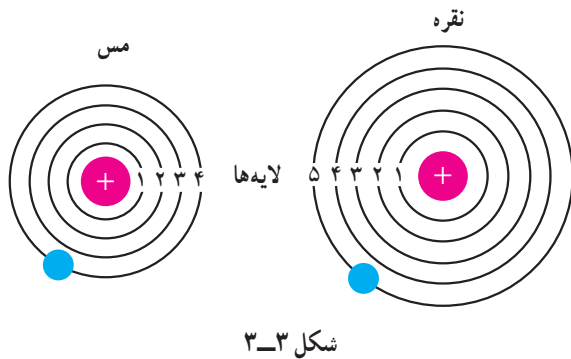
اگر الکترون‌های لایه‌ی ظرفیت در مدار بزرگی به دور هسته در حال گردش باشند و نیروی جاذبه‌ای که از هسته به این الکترون‌ها وارد می‌شود خیلی ضعیف باشد - با انرژی اندکی که از خارج به این الکترون‌ها وارد می‌شود - الکترون‌ها از قید هسته آزاد می‌شوند. به الکترونی که از قید هسته آزاد می‌شود «الکترون آزاد» گویند.

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.

۳-۳ هادی‌ها^۲

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

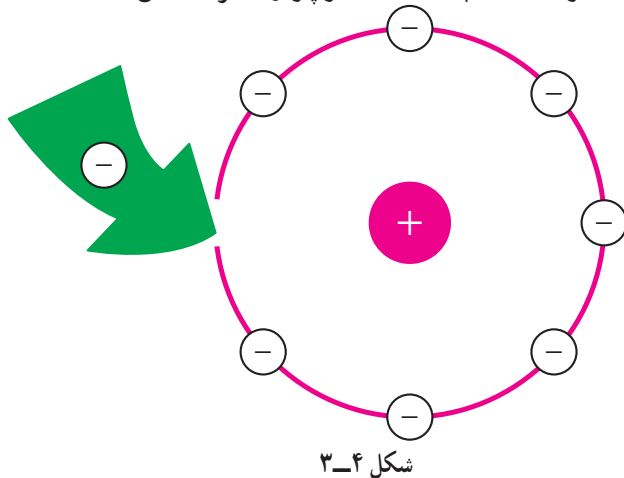


شکل ۳-۳

۳-۴ عایق‌ها^۳

لایه‌ی والانس اتم عایق‌ها معمولاً از ۴ الکترون بیش‌تر و حداکثر ۸ الکترون دارند. چون انرژی به کاررفته در اتم عایق میان تعداد زیادی الکترون لایه‌ی ظرفیت تقسیم می‌شود، انرژی هر الکترون بسیار ناچیز است. این الکترون‌ها به سختی 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 ۳-۴ 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 ۳-۴

۱- Valence Electron

۲- Conductor

۳- Insulator

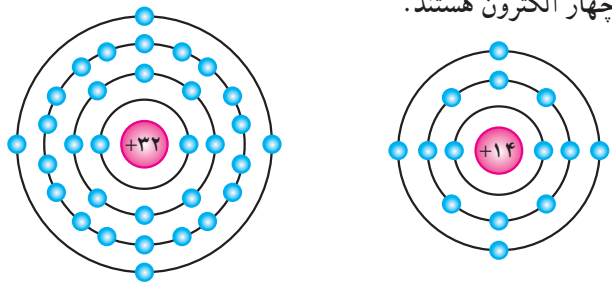
۵-۳- نیمه‌هادی‌ها^۱

به عناصری که اتم‌های آن در مدار آخر خود چهار الکترون دارند «نیمه‌هادی» گویند. نیمه‌هادی‌ها در صفر مطلق (273°C) تقریباً عایق هستند. در درجه‌ی حرارت معمولی (25°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.

۶-۳- 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 ۵-۳، ساختمان اتمی سیلیکن (Si) و ژرمانیم (Ge) نشان داده شده است.

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



ب- ژرمانیم

الف- سیلیکن

شکل ۵-۳

۷-۳- ساختمان کریستالی سیلیکن و ژرمانیم

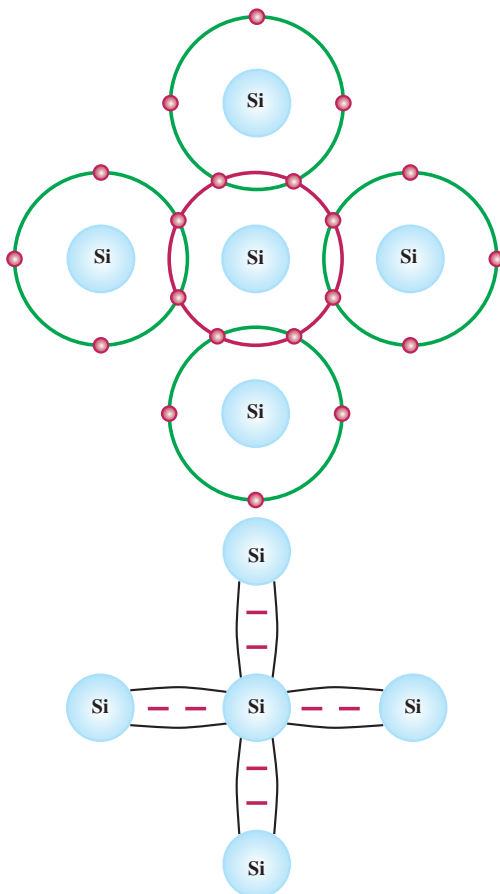
وقتی اتم‌های عناصر با نظم خاصی در کنار هم قرار می‌گیرند جسم جامدی را تشکیل می‌دهند که به آن «کریستال» گویند. ژرمانیم و سیلیکن نیز به‌صورت کریستال هستند.

۸-۳- پیوند اشتراکی (کووالانس)^۲ در اتم‌های

سیلیکن و ژرمانیم

هرگاه اتمی در مدار آخر خود دارای هشت الکترون باشد مدار آن کامل بوده، از نظر شیمیایی حالت پایداری پیدا می‌کند. نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها تمایل به دریافت 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 این منظور هر اتم یک الکترون با اتم مجاور به اشتراک می‌گذارد. (الکترون‌های ظرفیت هر اتم علاوه بر این که به دور هسته‌ی خود در گردش هستند، به دور هسته‌ی اتم مجاور هم گردش می‌کنند). این نوع پیوند بین اتم‌ها را «پیوند اشتراکی» یا «کووالانس» گویند. در شکل ۶-۳ پیوند اشتراکی بین اتم‌های سیلیکن را مشاهده می‌کنید.

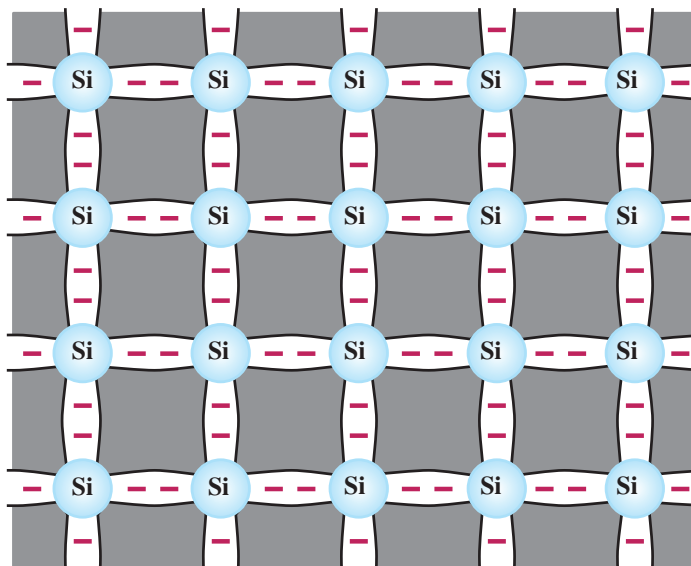


شکل ۶-۳

۱- Semiconductor = نیمه‌هادی

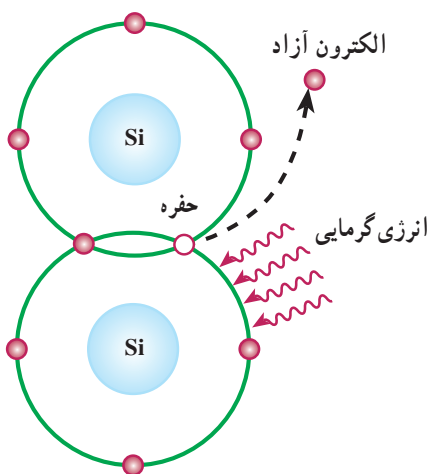
۲- Covalent Band

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 و عایق هستند. شکل ۳-۷ پیوند کووالانس در ساختمان کریستال را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷

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 ۳-۸

۳-۹- هدایت الکتریکی در سیلیکن و ژرمانیم خالص

در صفر مطلق (-273°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.

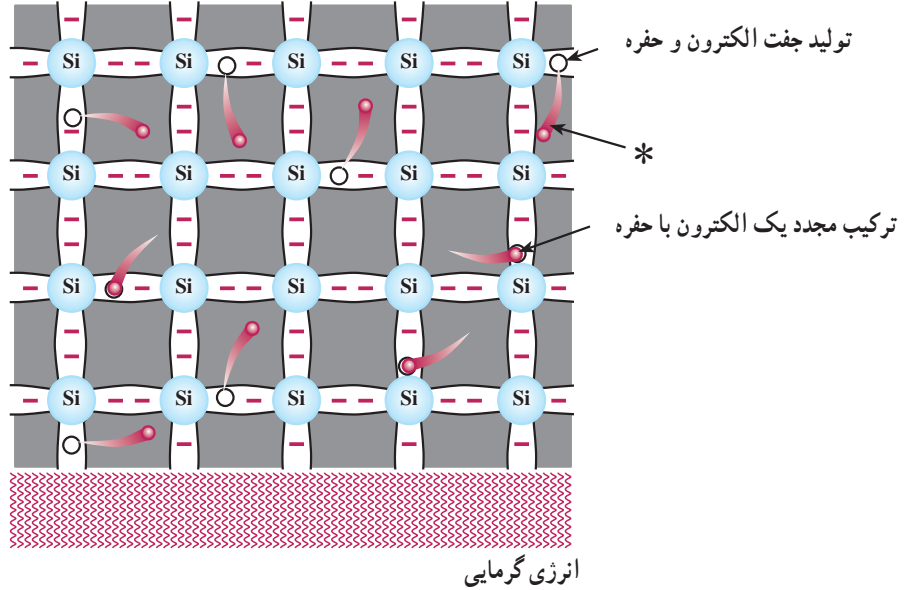
۳-۱۰- ایجاد حفره^۱

انرژی‌های خارجی نظیر حرارت می‌تواند باعث شکسته شدن پیوند شود و در نتیجه 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 ۳-۸

۳-۱۱- جریان الکترون‌های آزاد

اعمال نشود حرکت الکترون‌ها و جذب آن‌ها به وسیله‌ی حفره‌ها در کریستال به‌طور نامنظم ادامه می‌یابد. در شکل ۳-۹ کریستال سیلیکن، تولید الکترون، حفره و ترکیب مجدد الکترون، با حفره نشان داده شده است.

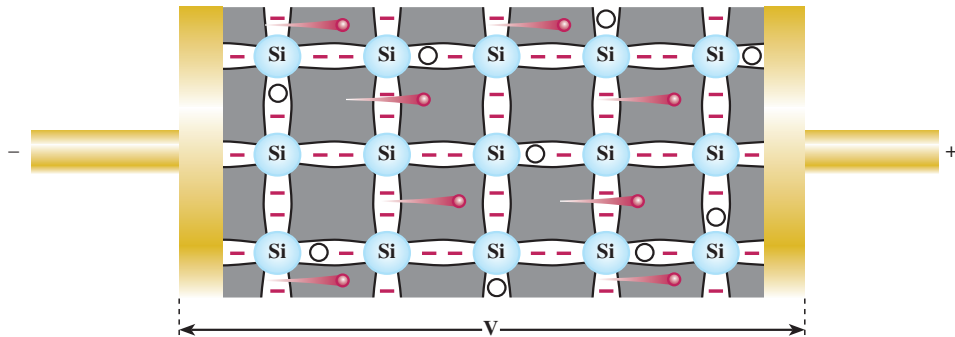
الکترون‌های آزاد شده در کریستال به‌صورت نامنظم حرکت می‌کنند. اگر به‌صورت اتفاقی الکترونی به حفره‌ای نزدیک شود جذب حفره می‌گردد. به این ترتیب، تا زمانی که نیرویی از خارج



شکل ۳-۹

و جریانی را در مدار به‌وجود می‌آورند که ناشی از حرکت الکترون‌هاست و به آن «جریان الکترون‌ها» گویند.

وقتی مطابق شکل ۳-۱۰ ولتاژی به دو سر کریستال اعمال شود، الکترون‌های آزاد به طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند



شکل ۳-۱۰

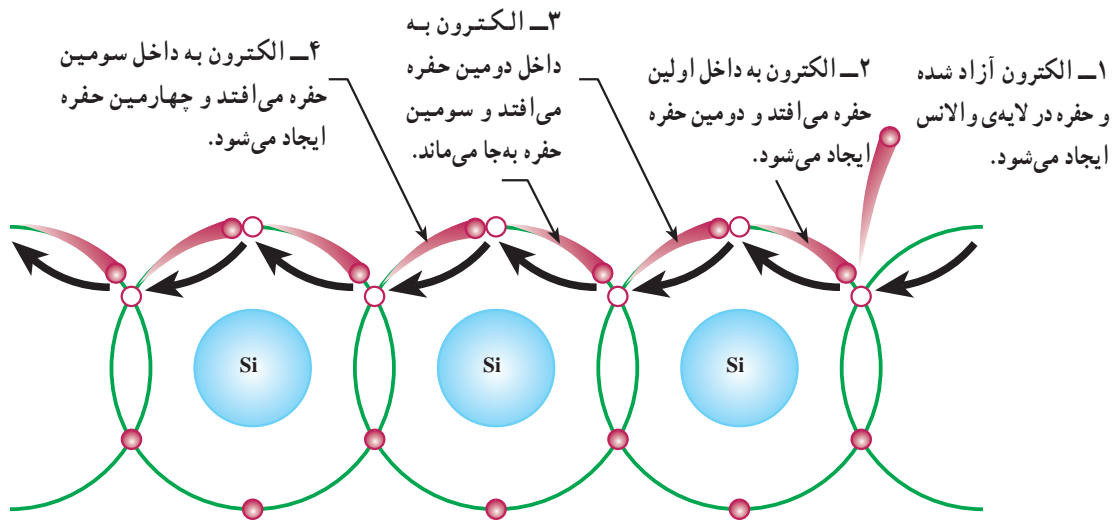
۳-۱۲- جریان حفره‌ها

الکترونی را جذب می‌کند، اما جای الکترون جذب شده حفره‌ی جدیدی ایجاد می‌گردد. به این ترتیب، به نظر می‌رسد وقتی الکترون از چپ به راست حرکت می‌کند حفره از راست به چپ در حرکت است.

جریان دیگری نیز در کریستال وجود دارد که ناشی از حرکت حفره‌هاست. وقتی در اتم حفره‌ای وجود دارد - به دلیل آن که حفره گرایشی به جذب الکترون دارد - از اتم مجاور،

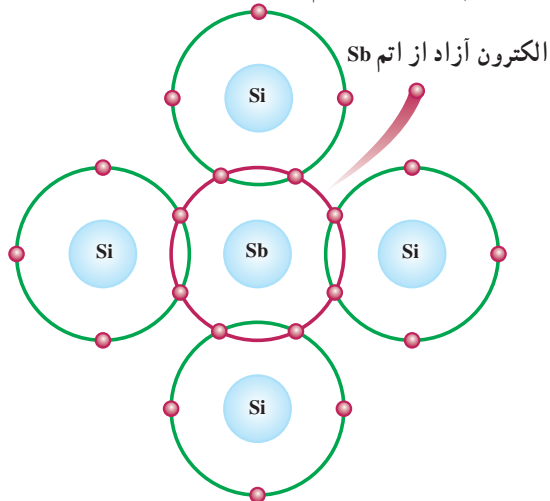
* شکل که معرف الکترون آزاد است، قسمت دایره () جهت حرکت الکترون را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱-۳ تصویری از جهت حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۳

اتم ناخالصی یک الکترون آزاد در کریستال ایجاد می‌شود. با تنظیم مقدار اتم ناخالصی تعداد الکترون‌های آزاد کریستال را کنترل می‌کنند. علاوه بر الکترون‌های آزادی که از افزودن اتم ناخالصی در کریستال به وجود 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 به صورت یون مثبت در می‌آید «اتم اهداکننده» نام دارد.



شکل ۱۲-۳

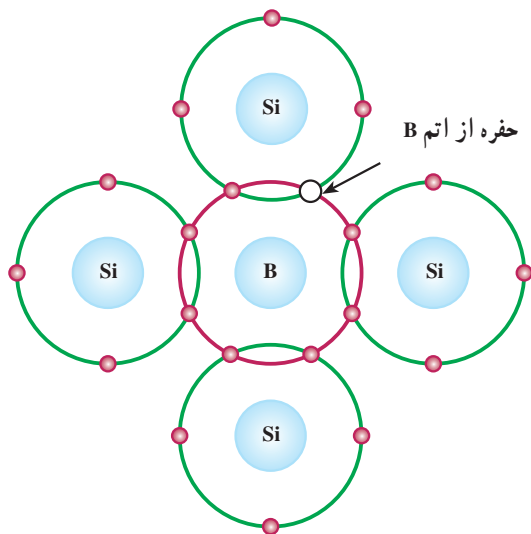
۱۳-۳ افزودن ناخالصی به کریستال نیمه‌هادی

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 نیمه‌هادی به آن ناخالصی اضافه می‌کنند. ناخالص کردن نیمه‌هادی به دو شکل (با اتم پنج ظرفیتی و اتم سه ظرفیتی) صورت می‌گیرد.

۱۴-۳ ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی با اتم

پنج ظرفیتی (نیمه‌هادی نوع N)

هرگاه یک عنصر پنج ظرفیتی مانند آرسنیک (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 ۱۲-۳ 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 به راحتی از قید هسته آزاد می‌گردد و به صورت الکترون آزاد در می‌آید؛ پس با افزودن هر



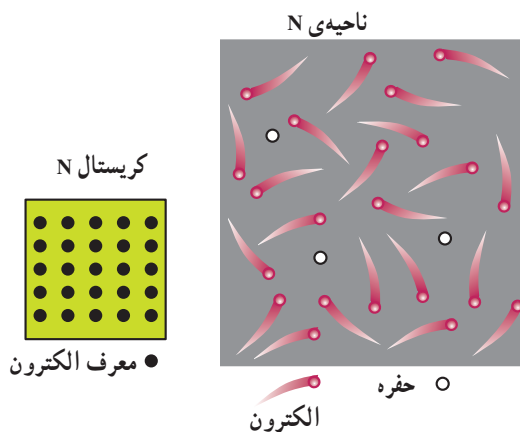
شکل ۱۴-۳

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. به اتم سه‌ظرفیتی که قادر است یک الکترون آزاد را جذب کند «اتم پذیرنده»^۲ گویند. اتم پذیرنده با دریافت الکترون به صورت یون منفی درمی‌آید. در اثر گرمای محیط تعداد اندکی الکترون نیز انرژی لازم را کسب می‌کنند و از هسته‌ی خود جدا می‌شوند و به صورت الکترون آزاد درمی‌آیند؛ بنابراین در کریستال علاوه بر تعداد زیادی حفره که حامل‌های اکثریت هستند، تعداد اندکی الکترون آزاد یعنی «حامل‌های اقلیت» نیز وجود دارند. به دلیل آن که حامل‌های اکثریت هدایت الکتریکی، حفره‌ها هستند و حفره‌ها مانند یک بار مثبت عمل می‌کنند، به این کریستال، کریستال نوع P^۳ گویند.

در شکل ۱۵-۳ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال P و نمای مداری کریستال نشان داده شده است. البته کل کریستال P از نظر بار الکتریکی خنثی است.

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»^۱ می‌نامند.

در شکل ۱۳-۳ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال N و شمای مداری آن نشان داده شده است. البته کل کریستال N از نظر بار الکتریکی خنثی است، زیرا بارهای مثبت و منفی آن باهم برابرند.



شکل ۱۳-۳

۱۵-۳- ناخالص کردن 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 ۱۴-۳ جای خالی الکترون نشان داده شده است.

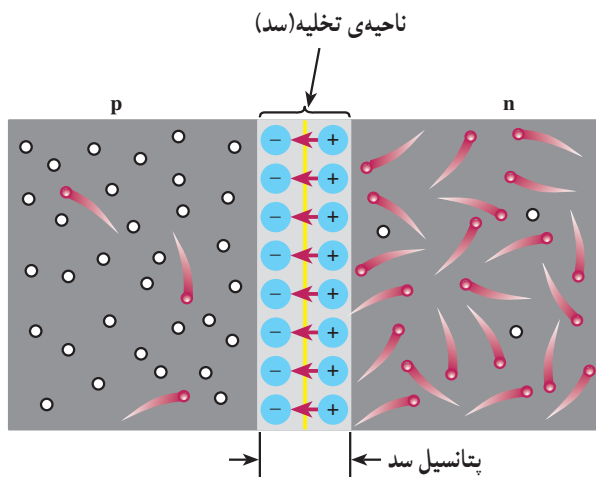
۱- N= Negative منفی

۲- Acceptor

۳- P=Positive

حفره‌ها در محل پیوند تعداد زیادی یون مثبت و منفی را ایجاد می‌کند. این یون‌ها در کریستال ثابت هستند، زیرا به علت پیوند کووالانس نمی‌توانند مانند الکترون‌های آزاد حرکت نمایند؛ سپس در محل پیوند ناحیه‌ای به نام «لایه‌ی تخلیه» به وجود می‌آید که در آن حامل‌های هدایت الکتریکی (الکترون‌ها و حفره‌ها) وجود ندارند. به ناحیه‌ی تخلیه ناحیه‌ی سد هم گفته می‌شود.

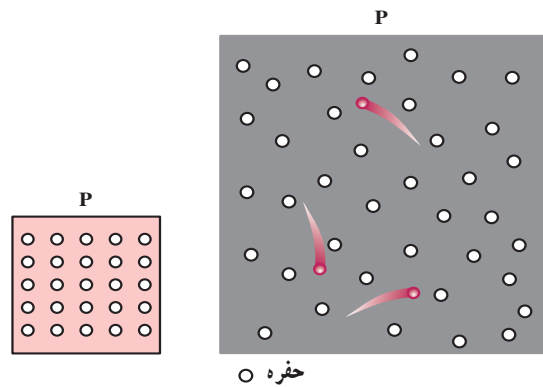
یون‌های مثبت و منفی در ناحیه‌ی تخلیه سبب ایجاد میدان الکتریکی می‌شوند. این میدان الکتریکی با عبور الکترون‌های آزاد از محل اتصال مخالفت می‌کند. هرگاه میدان ایجاد شده به حدی برسد که مانع عبور الکترون از محل اتصال گردد حالت «تعادل» به وجود می‌آید و به این صورت، «دیود کریستالی» ساخته می‌شود. در ناحیه‌ی تخلیه، ولتاژ ایجاد شده «پتانسیل سد» نام دارد. مقدار ولتاژ سد برای دیود سیلیکونی، حدود 0.7 ولت و برای دیود ژرمانیمی حدود 0.2 ولت است. در شکل ۳-۱۷ ناحیه‌ی تخلیه و پتانسیل سد نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۷

۳-۱۷- بایاس کردن اتصال P-N

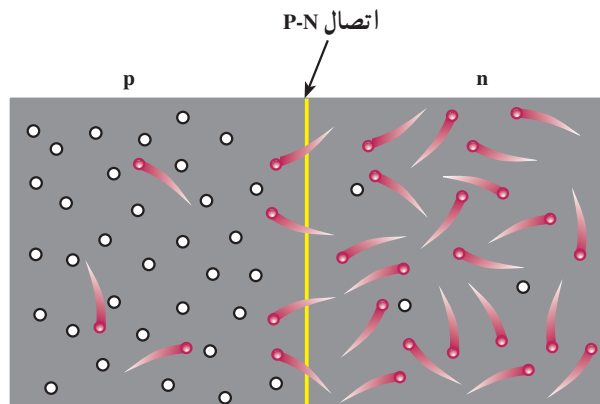
هرگاه به اتصال P-N ولتاژی اعمال کنیم گوییم آن را «بایاس» نموده‌ایم. بایاس کردن اتصال P-N به دو صورت «مستقیم» و «معکوس» انجام می‌گیرد:



شکل ۳-۱۵

۳-۱۶- اتصال P-N (دیود کریستالی)

هرگاه دو کریستال نیمه‌هادی نوع P و N به هم 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 این ترتیب، حفره‌هایی از بین می‌روند و الکترون‌های آزاد به صورت الکترون‌های ظرفیت درمی‌آیند. در شکل ۳-۱۶ ترکیب الکترون‌ها با حفره‌ها نشان داده شده است.

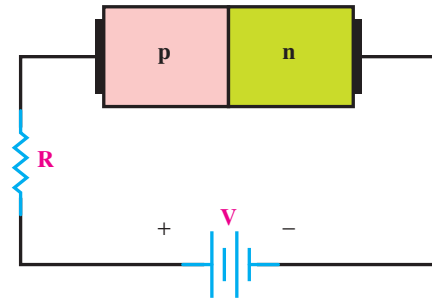


شکل ۳-۱۶

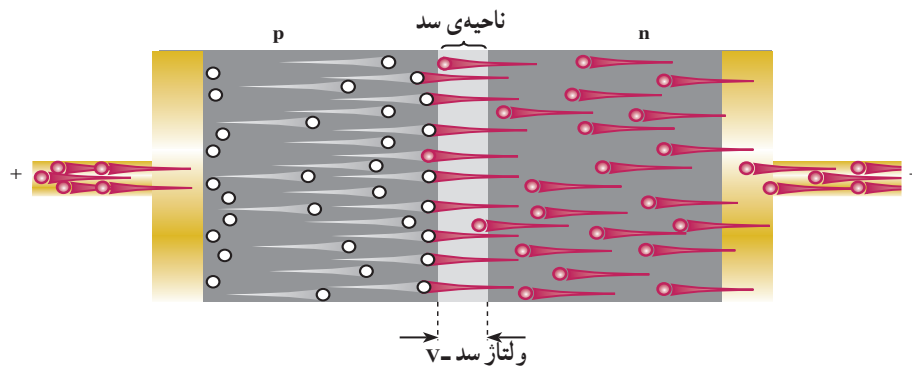
عبور یک الکترون از محل اتصال سبب ایجاد یک جفت یون می‌شود، زیرا وقتی الکترونی از ناحیه‌ی N به ناحیه‌ی P وارد می‌شود، در ناحیه‌ی N یک اتم پنج‌ظرفیتی الکترونی را از دست می‌دهد و به یون مثبت تبدیل می‌شود و در مقابل، در ناحیه‌ی P یک اتم سه‌ظرفیتی الکترونی را دریافت می‌کند و سرانجام، به یون منفی تبدیل می‌شود؛ از این رو، این ترکیب مجدد الکترون‌ها با

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 به نظر می‌آید حفره‌ها در کریستال P در جهت خلاف حرکت الکترون‌ها حرکت می‌نمایند و جریانی را به وجود می‌آورند. در شکل ۳-۱۹ حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها نشان داده شده است.

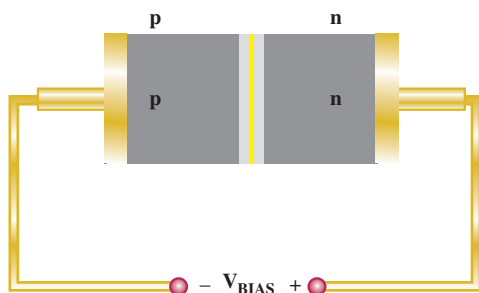
الف — بایاس مستقیم (بایاس موافق)^۱: اگر قطب مثبت باتری را به نیمه‌هادی نوع P و قطب منفی باتری را به نیمه‌هادی نوع N وصل کنیم، این حالت اتصال ولتاژ را «بایاس مستقیم» یا «بایاس موافق» گویند. در شکل ۳-۱۸ این بایاس را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۱۸



شکل ۳-۱۹



شکل ۳-۲۰

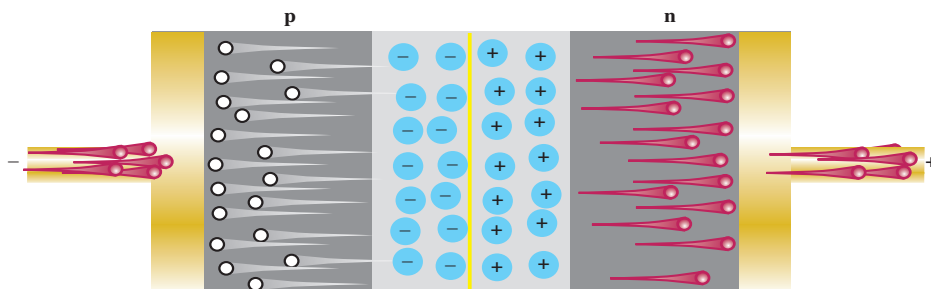
ب — بایاس معکوس (بایاس مخالف)^۲: اگر قطب مثبت باتری را به کریستال N و قطب منفی باتری را به کریستال P وصل کنیم، این حالت اتصال ولتاژ را «بایاس معکوس» یا «بایاس مخالف» گویند. در شکل ۳-۲۰ این حالت نشان داده شده است.

۱_ Forward Bias

۲_ Reverse Bias

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 ناحیه‌ی اتصال دور می‌شوند و عرض لایه‌ی تخلیه زیاد می‌شود. در شکل ۳-۲۱ این حالت نشان داده شده است.

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 ۳-۲۲ این حالت نشان داده شده است.

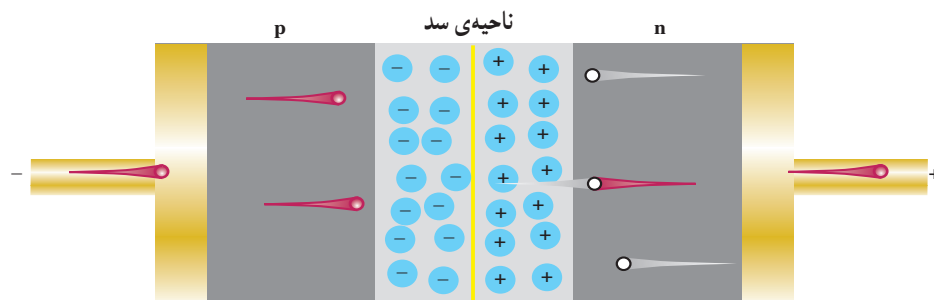


ناحیه‌ی سد

شکل ۳-۲۱

با بزرگ شدن ناحیه‌ی تخلیه جریان حامل‌های اکثریت صفر می‌شود. به دلیل 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 «نشستی» 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.

شکل ۳-۲۲ نشان می‌دهد که در این حالت، الکترون‌ها و حفره‌ها متوقف می‌شوند. در شکل ۳-۲۲ این حالت نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۲

۳-۱۸ علامت اختصاری و شکل ظاهری دیود معمولی

در شکل ۳-۲۳ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری

یک دیود معمولی نشان داده شده است.

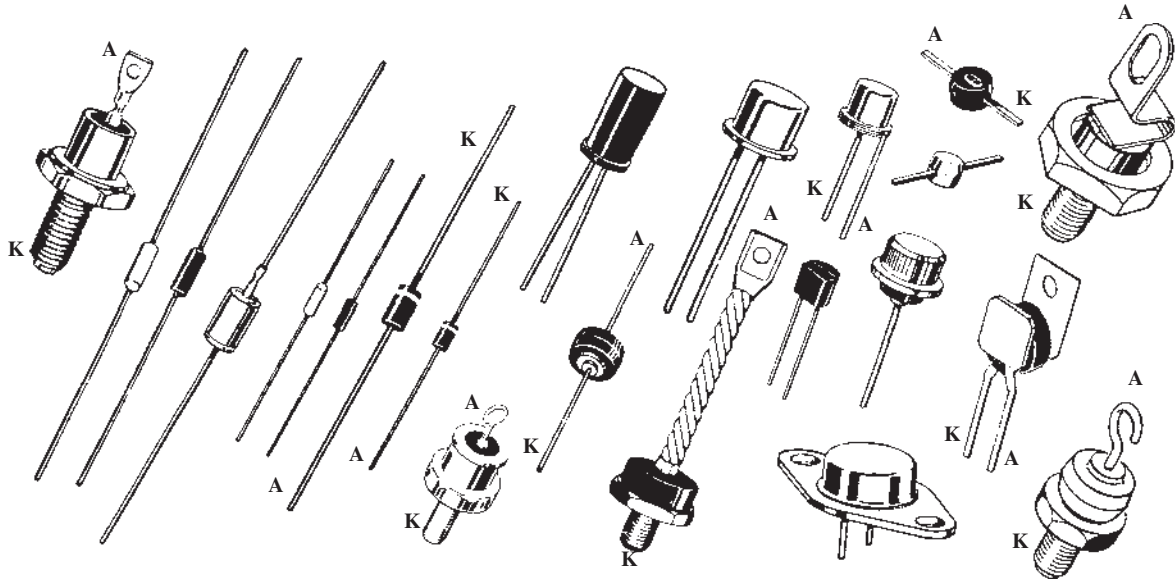


کاتد —▶— آنود

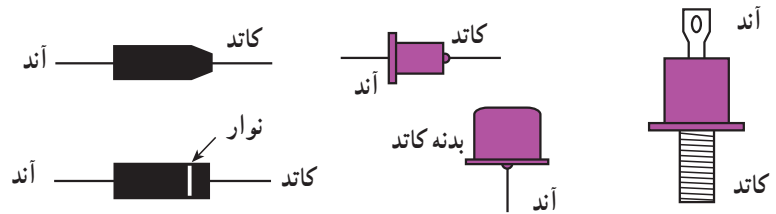
شکل ۳-۲۳

می‌کند. در شکل ۳-۲۴ شکل ظاهری چند دیود را مشاهده می‌کنید. در شکل ۳-۲۵ پایه‌های آند و کاتد از روی شکل ظاهری نشان داده شده است.

نیمه‌هادی نوع P «آند» و نیمه‌هادی نوع N «کاتد» نام دارد. همان‌گونه که دیده می‌شود علامت اختصاری دیود مانند یک پیکان از سمت آند به جانب کاتد بوده که معرف این نکته است که جریان قراردادی به راحتی از سمت آند به کاتد عبور



شکل ۳-۲۴

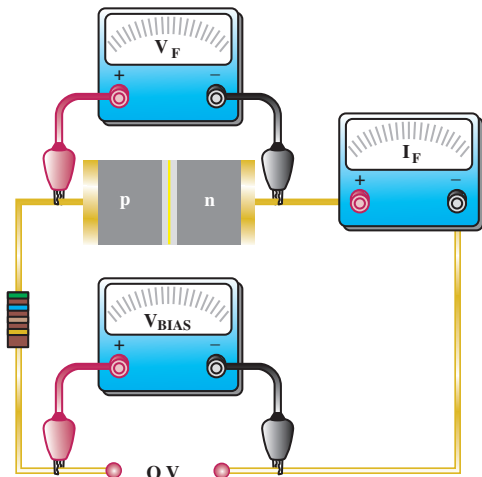


شکل ۳-۲۵

۳-۱۹- منحنی مشخصه‌ی ولت آمپر دیود در بایاس مستقیم

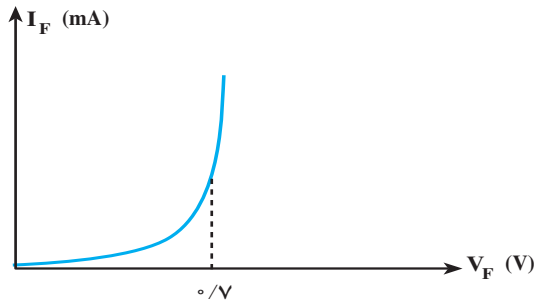
مستقیم

اگر به دو سر دیود ولتاژی به صورت بایاس مستقیم وصل کنیم و ولتاژ باتری را از صفر ولت افزایش دهیم و جریان عبوری از دیود را به وسیله‌ی میلی آمپر متری اندازه بگیریم، در ابتدا که ولتاژ صفر بوده جریان عبوری از دیود نیز صفر است (شکل ۳-۲۶).



شکل ۳-۲۶

در شکل ۳-۲۹ منحنی ولت آمپر در بایاس موافق نشان داده شده است.



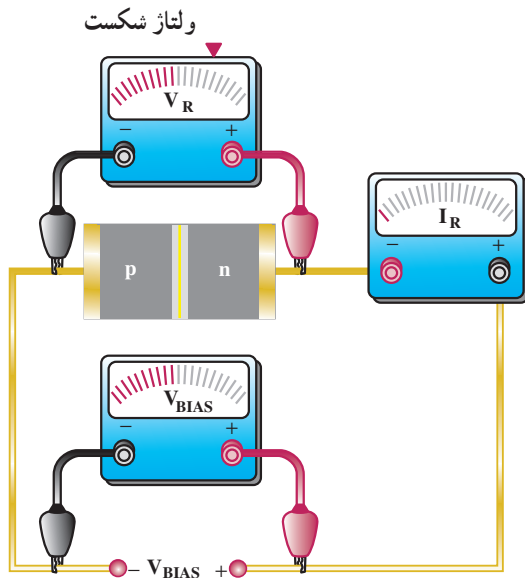
شکل ۳-۲۹

۳-۲۰- منحنی مشخصه‌ی ولت آمپر دیود در بایاس معکوس

اگر دیود را به طور 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 به سرعت افزایش می‌یابد و دیود آسیب می‌بیند.

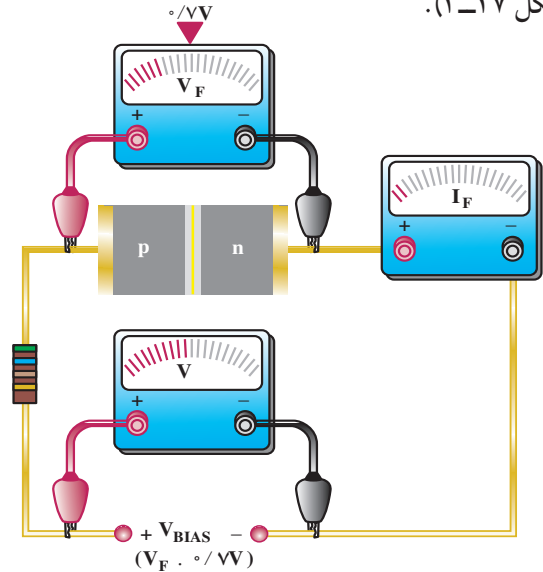
در شکل ۳-۳۰ ولتاژ بایاس مخالف که کم‌تر از ولتاژ شکست است نشان داده شده است.

سؤال: چرا در شکل ۳-۳۰ از مقاومتی مانند مدار شکل ۳-۲۸ استفاده نشده است؟



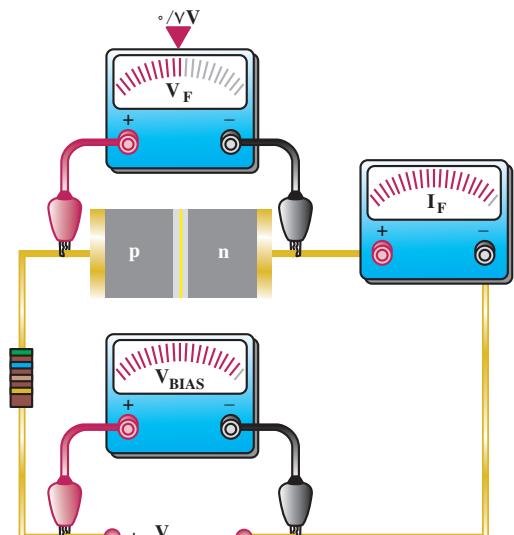
شکل ۳-۳۰

هرگاه ولتاژ افزایش یابد جریان عبوری از دیود هم افزایش می‌یابد، هنگامی که ولتاژ بایاس برای یک دیود سیلیکنی کم‌تر از $0.7V$ است جریان عبوری از دیود بسیار ناچیز خواهد بود (شکل ۳-۲۷).



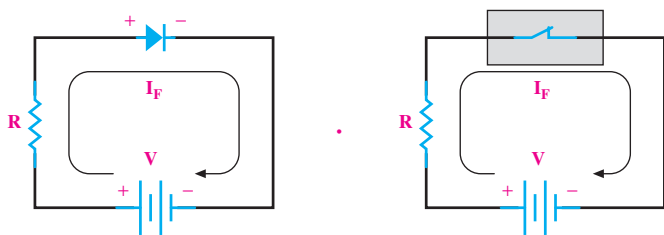
شکل ۳-۲۷

اگر ولتاژ بایاس زیاد شود (یعنی پتانسیل خارجی بیش‌تر از $0.7V$ ولت شود)، این پتانسیل بر پتانسیل سد غلبه می‌کند و سد شکسته می‌شود و در نتیجه مقاومت معادل دیود کم می‌شود و سرانجام جریان عبوری از دیود به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. برای محدود کردن جریان عبوری از دیود لازم است مقاومتی را با دیود سری کنیم (شکل ۳-۲۸).



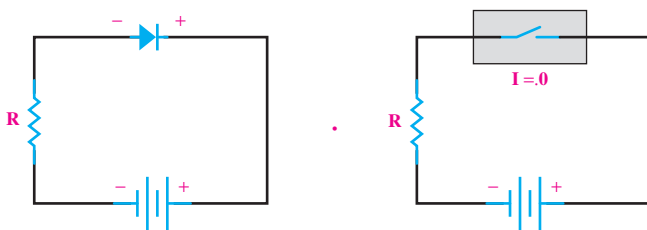
شکل ۳-۲۸

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 ۳-۳۳ دیود ایده‌آل در بایاس موافق نشان داده شده است. مقاومت R در مدار به‌عنوان محدودکننده جریان به کار رفته است.



شکل ۳-۳۳

هم‌چنین در شکل ۳-۳۴ معادل دیود ایده‌آل در بایاس مخالف نشان داده شده است:

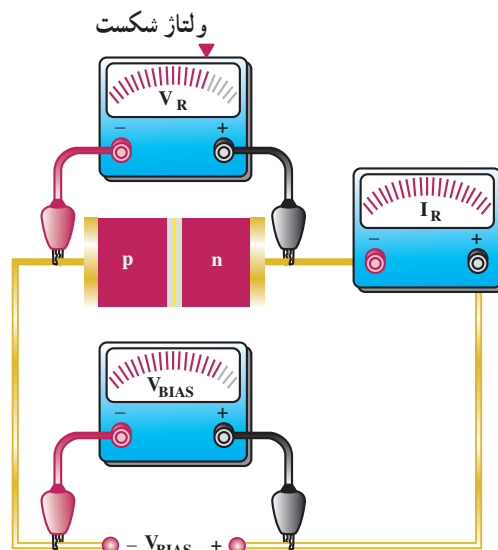


شکل ۳-۳۴

۳-۲۲- تشخیص آند و کاتد و سالم بودن دیود به‌وسیله‌ی اهم‌متر

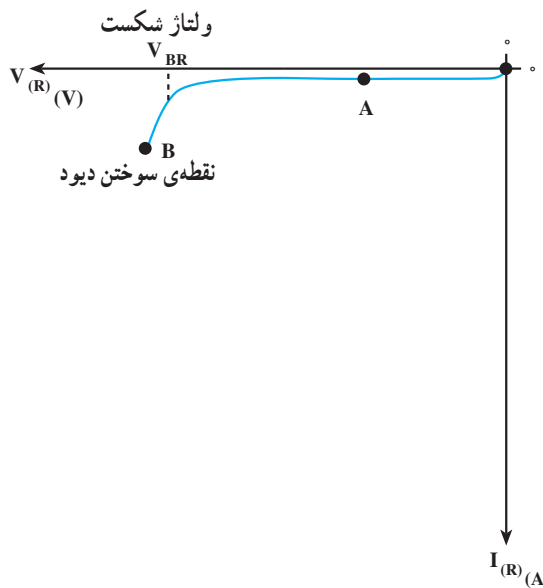
۳-۲۲-۱- استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای: اگر اهم‌متر عقربه‌ای را به دو سر دیود وصل کرده و اهم آن را اندازه بگیرید، سپس اتصال دیود را برعکس کرده مجدداً اهم آن را اندازه بگیرید در یک حالت اهم‌متر، اهم کم و در حالت دیگر اهم‌متر، اهم زیاد را نشان می‌دهد واضح است در حالت اهم کم دیود به‌وسیله‌ی باتری داخلی اهم‌متر در بایاس مستقیم قرار گرفته است

در شکل ۳-۳۱ 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 ۳-۳۱

در شکل ۳-۳۲ منحنی مشخصه‌ی ولت‌آمپر دیود در گرایش معکوس نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۲

۳-۲۱- 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



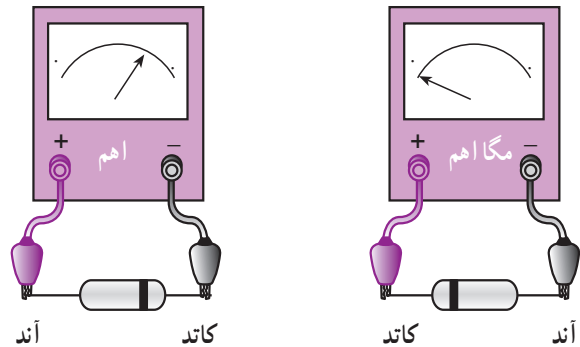
شکل ۳-۳۶

اگر دیود در بایاس مخالف قرار گیرد، مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف اعمال شده به وسیله‌ی دستگاه را در دو سر دیود نشان می‌دهد. این ولتاژ ممکن است $1/5$ تا 3 ولت باشد. در شکل ۳-۳۷ این حالت را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۳۷

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 ۳-۳۵ این دو حالت نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۵

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 این ترتیب، 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.

۲-۲۲-۳ 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 به وسیله‌ی مولتی‌متر در بایاس موافق قرار بگیرد مولتی‌متر دیجیتالی ولتاژ بایاس دیود را نشان می‌دهد که این ولتاژ برای دیودهای سیلیکونی حدود 0.7 ولت و برای دیودهای از جنس ژرمانیم حدود 0.2 ولت است. شکل ۳-۳۶ این حالت را نشان می‌دهد.

اگر دیود اتصال کوتاه باشد در هر دو وضع اتصال مولتی متر به دیود روی صفحه‌ی دستگاه ولتاژ صفر نشان داده خواهد شد. در شکل ۳۸-۳ این حالت نشان داده شده است.

پس در حالتی که مولتی متر 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 مولتی متر به دیود، روی صفحه‌ی آن ولتاژ باتری داخلی نشان داده می‌شود. در شکل ۳۸-۳ این دو حالت دیده می‌شود.



شکل ۳۸-۳

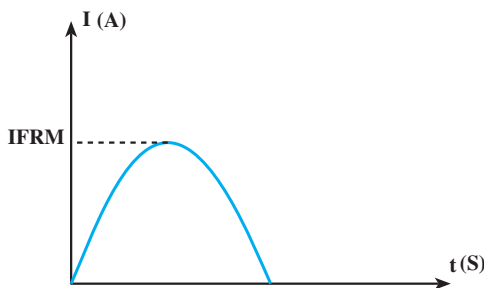
شکل ۳۹-۳

۳-۲۳-۳- مقادیر حد در دیود

دیود را روی گرماگیر نصب نمود (کارخانه‌ی سازنده، نصب روی گرماگیر را مشخص می‌سازد).

۳-۲۳-۳- حداکثر جریان بایاس مستقیم تکراری

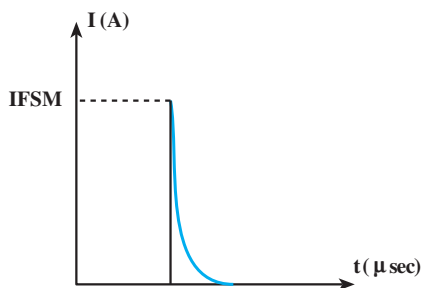
(IFRM)^۵: حداکثر جریانی است که به صورت تکرار سیکل‌ها در گرایش مستقیم می‌تواند از دیود عبور کند. در شکل ۳-۴۰ این جریان را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۴۰

۳-۲۳-۴- حداکثر جریان لحظه‌ای (IFSM)^۶:

حداکثر جریانی که در زمان بسیار کوتاه (حدود چند میکروثانیه) می‌تواند از دیود عبور کند؛ به گونه‌ای که به دیود آسیب نرسد، «IFSM» نام دارد. در شکل ۳-۴۱ این جریان نشان داده شده است.



شکل ۳-۴۱

برخی از کمیته‌های دیود اگر از میزان ماکزیمم بیش‌تر شوند به دیود آسیب می‌رسانند. مقدار ماکزیمم این کمیته‌ها «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:

۳-۲۳-۱- حداکثر ولتاژ معکوس: حداکثر ولتاژی

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

الف- ولتاژ معکوس (VR)^۱: حداکثر ولتاژ DC

اعمال‌شده به دو سر دیود در بایاس معکوس که دیود می‌تواند تحمل کند، VR نام دارد.

ب- ماکزیمم ولتاژ معکوس تکرار سیکل‌ها

(VRRM)^۲: حداکثر ولتاژ معکوس که به صورت تکرار سیکل‌ها در دو سر دیود قرار می‌گیرد؛ به گونه‌ای که دیود آسیب نبیند «VRRM» نام دارد.

ج- ولتاژ معکوس قابل تحمل در وضعیت کار

عادی (VRWM)^۳: حداکثر ولتاژ معکوس در وضعیت کار عادی VRWM نام دارد.

۳-۲۳-۲- حداکثر جریان مستقیم (IF)^۴: حداکثر

جریان DC یا متوسط که می‌توان از دیود در گرایش مستقیم عبور داد؛ به گونه‌ای 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 به خوبی دفع نشود باید

۱- VR = Reverse voltage

۲- VRRM = Peak Repeatative Reverse voltage

۳- VRWM = Working Peak Reverse Voltage در حال کار

۴- IF = Forward current

۵- IFRM = Maximum Repeatative Peak forward current

۶- IFSM = Maximum Surge current

در جدول ۳-۱ یکی از برگه داده‌های دیود را مشاهده

می‌کنید.

جدول ۳-۱

TYPE	Manufacturer	Germanium Cllicon	V_R	I_F	I_{FRM}	T_j	R_{thj-a}	I_F	V_F	C_D	V_R	t_{tr}	I_F	V_R	R_L	USE	CASE
			V	mA	mA	C	C/W	at mA	at V	at pF	at V	from sec	to mA	at V	Ω		
IN91	G_e	G	۶۵	۱۵۰	۲۵A	۱۰۵		۱۰۰	۰.۳۸							۸	
شماره دیود	نام کارخانه‌ی سازنده	جنس دیود															شکل ظاهری و ابعاد دیود
S سیلیسیم	G ژرمانیم																کاربرد
		ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز															مقاومت بار و ولتاژ معکوس و ولتاژ معکوس و جریان عبوری از مدار به‌ازای . زمان بازیابی دیود این مقدار ولتاژ معکوس
		مقدار متوسط جریان مجاز															ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای مقدار ولتاژ معکوس ردیف بالا
		مقدار ماکزیمم جریان مجاز تکراری															افت ولتاژ دوسر دیود به وجود می‌آید.
		ماکزیمم درجه حرارت قابل تحمل محل پیوند PN															
		مقاومت حرارتی دیود از محل پیوند PN به محیط															
		به‌ازای عبور این جریان از دیود															

توجه: نیازی نیست هنجریان اعداد و اصطلاحات جدول‌های ۳-۱ و ۳-۲ را به خاطر بسپارند.

در جدول ۲-۳ بعضی داده‌های دیودهای معمولی ۱N۴۰۰۱ تا ۱N۴۰۰۷ آورده شده است.

جدول ۲-۳

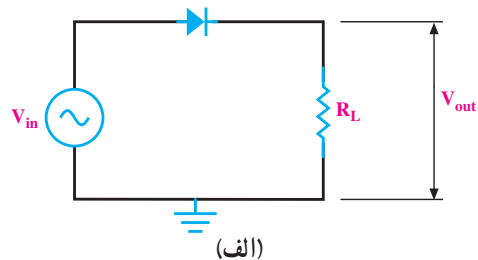
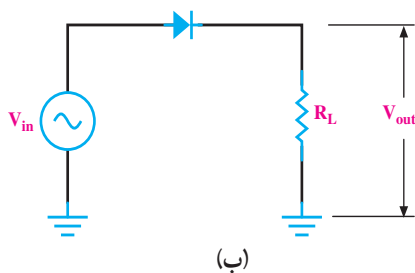
واحد	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	حروف اختصاری	
ولت V								V_{RRM}	حداکثر ولتاژ معکوس تکراری
	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	V_{RWM}	حداکثر ولتاژ معکوس در حال کار
								V_R	حداکثر ولتاژ معکوس DC
ولت V	۶۰	۱۲۰	۲۴۰	۴۸۰	۷۲۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	V_{RSM}	ولتاژ ماکزیمم معکوس غیر تکراری
ولت V	۳۵	۷۰	۱۴۰	۲۸۰	۴۲۰	۵۶۰	۷۰۰	$V_{R(rms)}$	ولتاژ معکوس مؤثر
آمپر A								I_F	معدل جریان یکسو شده در بایاس موافق در درجه حرارت محیط $T_A = 25^\circ C$
آمپر A								I_{FSM}	حداکثر جریان لحظه‌ای غیر تکراری
C درجه سانتی‌گراد								T_j	درجه حرارت پیوند

۳-۲۴ کاربرد دیود به عنوان یک سوساز

«مدارهای یک سوکننده دیودی» مدارهایی هستند که ولتاژ متناوب را به یک ولتاژ مستقیم (یک طرفه) تبدیل می‌نمایند، زیرا دیود از یک طرف جریان را عبور می‌دهد و از جهت دیگر، جریان قطع است. عنصر اصلی مدارهای یک سوکننده دیود است. به طور کلی سه نوع یک سوکننده تک فاز وجود دارد.

۳-۲۴-۱ یک سوکننده نیم موج: ساده ترین

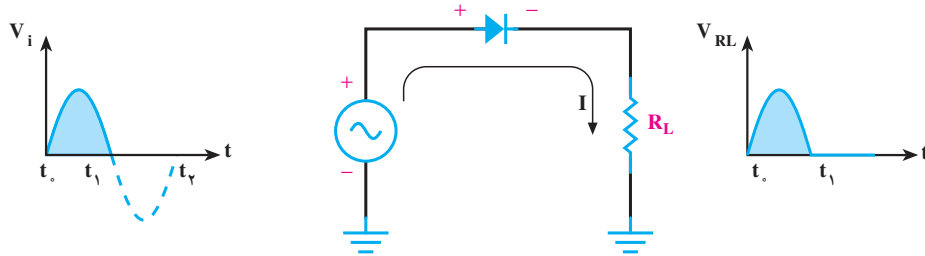
مداری که به کمک آن می‌توان جریان متناوب را به جریان یک طرفه تبدیل نمود یک سوکننده نیم موج است. در شکل ۳-۴۲ الف مدار یک سوکننده نیم موج نشان داده شده است. علامت ⏏ نشانه‌ی اتصال زمین است. تمام اتصال زمین‌ها در یک مدار به وسیله‌ی خطوط ارتباطی به هم وصل هستند. پس شکل ۳-۴۲ الف را می‌توان به صورت شکل ۳-۴۲ ب نیز رسم کرد.



شکل ۳-۴۲

ایده آل فرض شود دیود مانند یک کلید وصل بوده و جریان در مدار جاری می شود و در دو سر بار R_L افت ولتاژی مطابق شکل موج ورودی پدید می آید (شکل ۳-۴۳).

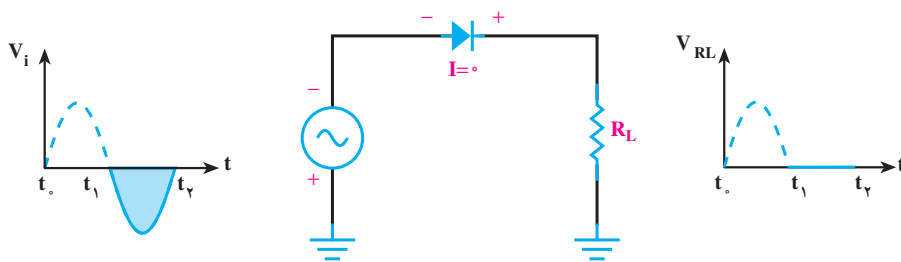
۲-۲۴-۳- طرز کار یک سوکننده ی نیم موج: با توجه به شکل ۳-۴۳ در زمان t_0 تا t_1 یعنی در نیم سیکل مثبت موج ورودی، آند دیود نسبت به کاتد مثبت است و اگر دیود



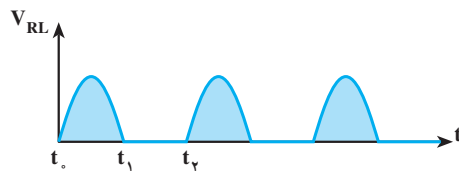
شکل ۳-۴۳

ولتاژی پدید نمی آید (شکل ۳-۴۴). به طور کلی شکل موج دوسر بار مانند شکل ۳-۴۵ است.

در زمان t_1 تا t_2 دیود در گرایش معکوس قرار دارد و جریان عبوری از دیود صفر است؛ از این رو در دو سر بار افت



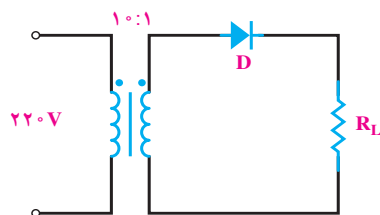
شکل ۳-۴۴



شکل ۳-۴۵

۳-۴۶ مدار یک سوکننده ی نیم موج را با ترانسفورماتور مشاهده می کنید.

معمولاً برای تولید موج یک سو شده از برق شهر (از یک ترانسفورماتور) استفاده می کنند. ترانسفورماتور به کاررفته معمولاً کاهنده است تا برق شهر را به ولتاژی کم تر تبدیل کند. در شکل



شکل ۳-۴۶