

فصل ۷ علی عمر

نیمه رساناها – بخش دوم (قطعات)

عناوین

۱- مقدمه

۲- پیوند p-n، دیودها (یکسوکننده ها)

مقدمه

در فصل ۶ راجع به اصول فیزیکی که بر رفتار نیمه‌رساناها حاکم است بحث شد. در این فصل کاربردهای این اصول را در قطعات الکترونیکی مورد توجه قرار می‌دهیم. توسعه این قطعات (بخصوص ترانزیستورها)، علاقه فراوانی در مطالعه فیزیک حالت جامد، علم مواد و مواد نیمه‌رسانا ایجاد کرده است. از اوایل دهه ۱۹۵۰، پژوهش در زمینه‌ی نیمه‌رساناها، درک ما را از ساختار این مواد گسترش داده است.

این فصل را با مطالعه‌ی خواص پیوند $p-n$ شروع می‌کنیم و خاصیت یکسو کنندگی این پیوند را توضیح می‌دهیم. سپس نشان می‌دهیم چگونه از ترکیب چنین پیوندهایی، ترانزیستور پیوندی ایجاد می‌شود که به عنوان یک تقویت کننده عمل می‌کند. این ترانزیستور به لحاظ کاربردهای عملی از مهم‌ترین قطعات حالت جامد است. سپس راجع به قطعات میکروموج که بر مبنای رسانایی

مقدمه

دیفرانسیلی منفی کار می کنند (بویژه دیودهای تونل و گان) و همچنین لیزر نیمه رسانا و قطعات دیگر نیمه رسانا بحث می کنیم. بخش آخر این فصل راجع به مدارهای مجتمع است که اهمیت روزافزونی در قطعات حالت جامد دارند.

پیوند P-N، دیودها (یکسوکننده ها)

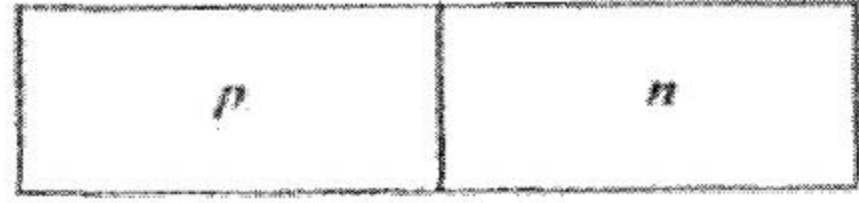
پیوند p-n یک نیمه رسانای تک بلور است که از دو ناحیه‌ی مجاور یعنی یک نیمه رسانای نوع n و یک نیمه رسانای نوع p تشکیل یافته است (شکل ۷-۱ الف).

ناحیه‌ی n با ناخالصی‌های بخشنده و ناحیه‌ی p با ناخالصی‌های پذیرنده آلائیده شده است. تغییرات چگالی اتم‌های بخشنده n_d و پذیرنده n_a در امتداد پیوند و در همسایگی آن در شکل (۷-۱ ب) رسم شده است. چنین پیوندی که چگالی‌های ناخالصی تدریجاً تغییر می‌کند پیوند تدریجی^۱ نامیده می‌شود. پیوند ناگهانی^۲ پیوندی است که همچون شکل (۷-۱ ج) ناخالصی‌ها به طور ناپیوسته تغییر می‌کند. چگالی اتم‌های بخشنده n_d در ناحیه‌ی n مقداری ثابت و در ناحیه‌ی p صفر است. چگالی اتم‌های پذیرنده رفتار مشابهی دارد. برای سادگی بحث، در این جا تنها پیوند ناگهانی را بررسی می‌کنیم. زیرا بدون درگیر شدن با پیچیدگی‌های غیر ضروری ریاضی می‌توان مفهوم فیزیکی آن را تصور کرد. توجه داشته باشید که یک پیوند ناگهانی صرفاً نمی‌توان

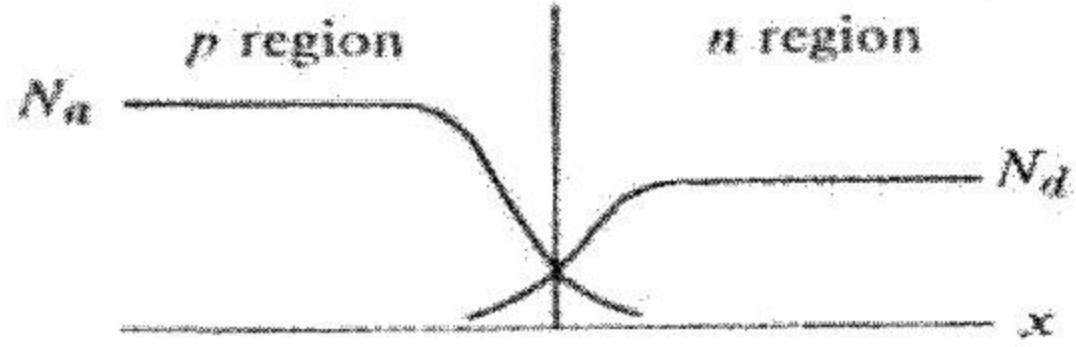
1. graded

2. abrupt

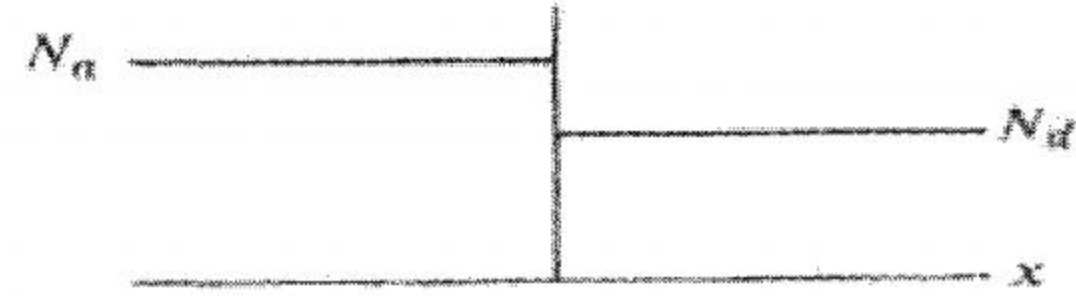
ایجاد کرد چون ناخالصی‌ها تا حدودی در طول پیوند پخش می‌شوند.



(a)



(b)



(c)

شکل ۱-۷، (الف) یک پیوند p-n (ب) پیوند تدریجی، (ج) پیوند ناگهانی.

وقتی از پیوند صحبت می‌کنیم، منظورمان ناحیه‌ای است که نواحی n و p به هم می‌رسند. در واقع دو قطعه‌ی مختلف به هم نپیوسته‌اند؛ بلکه پیوند، یک قطعه‌ی بلور است از همان ماده نیمه‌رسانا، و طرفین آن به گونه‌ای متفاوت آلایده شده‌اند.

دیود

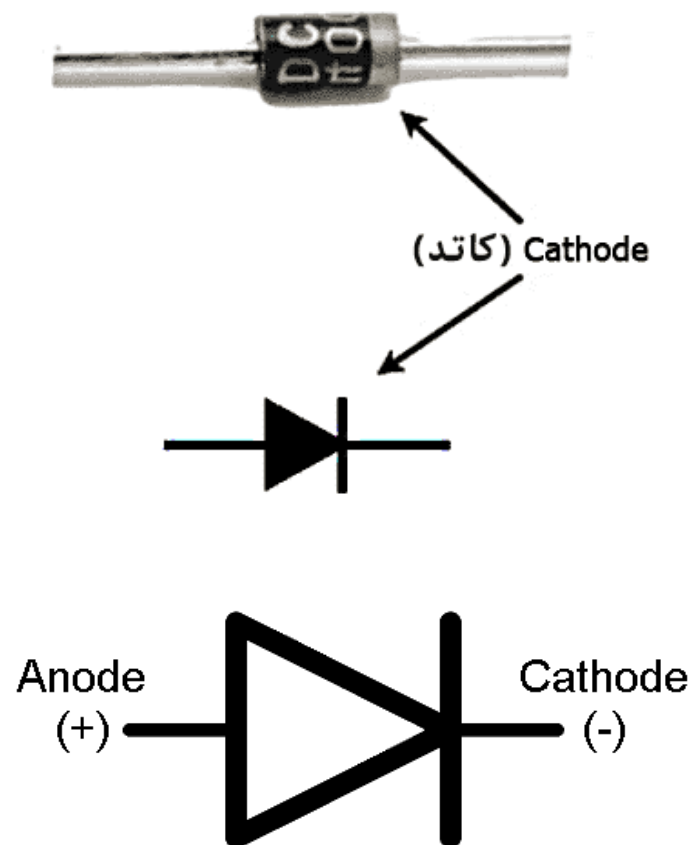
دیود، اولین قطعه تولید شده با نیمه رساناها است. دیود (به انگلیسی: Diode،) نام‌های دیگر: «دوقطبی الکتریکی»، «یکسوساز» (قطعه‌ای الکترونیکی است که دارای دو سر می‌باشد. دیود، جریان الکتریکی را در یک جهت از خود عبور می‌دهد (در این حالت، مقاومت (قطعه الکتریکی) دیود ایده‌ال، صفر است) و در جهت دیگر، در مقابل گذر جریان از خود، مقاومت (قطعه الکتریکی) بسیار بالایی (در حد بینهایت) نشان می‌دهد. این خاصیت دیود، باعث شده بود تا در سال‌های اولیه ساخت این قطعه الکترونیکی، به آن «دریچه» نیز اطلاق شود. این قطعه نیز در کنار خازن، ترانزیستور و مقاومت از اجزاء مهم در یک مدار الکترونیکی محسوب می‌شود.

لامپ‌های خلاء که نخستین دیودها بودند، امروزه فقط در فناوری‌هایی که در ولتاژ بالا کار

می‌کنند استفاده می‌شوند.

بلور مربعی شکل نیمه‌رسانا در دیود

نماد دیود



با توجه به این که دیود جریان الکتریکی را تنها در یک جهت عبور می‌دهد، بنابراین نماد استفاده شده برای آن نیز بایستی بیان‌گر این موضوع باشد. در شکل مسیر جریان عبوری از یک دیود و هم‌چنین نماد استفاده شده برای آن نشان داده شده است.

بردار مشکی رنگ \blacktriangleright جهت جریان الکتریکی i را نشان می‌دهد. جهت مثبت دیود، پایه‌ای است که جریان الکتریکی به آن وارد و جهت منفی دیود، پایه‌ای است که جریان از آن خارج می‌شود. خط عمودی استفاده شده نشان می‌دهد که جریان، اجازه عبور از سمت راست به چپ را ندارد.

شکل ۱

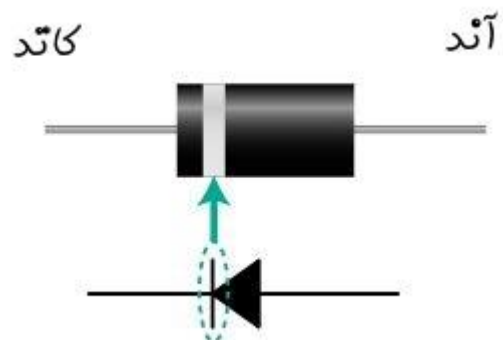
ترمینال

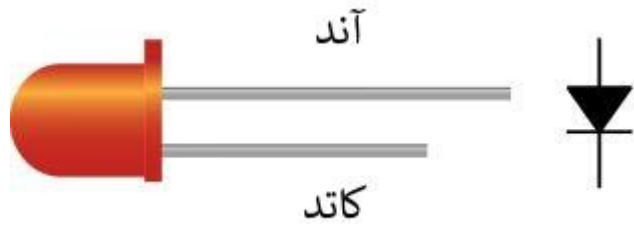


با توجه به آن چه که در بالا بیان شد، نماد دیود، جهت جریان الکتریکی را به ما نشان می‌دهد. به بخش مثبت دیود، «آند» و به بخش منفی آن، «کاتد» گفته می‌شود. در شکل ۱ این بخش‌ها نشان داده شده‌اند. این دو بخش ترمینال‌های یک دیود نامیده می‌شوند.

تشخیص ترمینال‌ها در یک دیود واقعی

دیودها به شکل قطعاتی بسیار کوچک غالباً از سیلیکون طراحی و ساخته می‌شوند. راه‌های مختلفی جهت تشخیص پایه‌های یک دیود وجود دارد. معمولاً در دیودهای به شکل شیشه یا پلاستیک مشکی، بخشی مجزا توسط یک نوار مشخص شده است. نوار مجزا شده، ترمینال کاتد دیود را نشان می‌دهد. در شکل دو نمونه از این گونه دیودها به نمایش در آمده است.





در LED ها نیز پایه‌ها با اندازه متفاوت ساخته می‌شوند. جریان از سمت پایه بلندتر به دیود وارد شده و از سمت پایه کوتاه‌تر خارج می‌شود. از این رو پایه بلندتر آند و کوتاه‌تر، کاتد را نشان می‌دهند. شکل شماتیک روبرو یک LED و ترمینال‌هایش را ترسیم کرده است.

بایاس مستقیم و بایاس معکوس

به لحاظ الکتریکی، یک دیود، هنگامی جریان را از خود می‌گذراند که با برقرار کردن ولتاژ (بایاس کردن) در جهت درست (+) به آند و - به کاتد که به آن بایاس مستقیم گفته می‌شود) آن را آماده کار کنید. مقدار ولتاژی که باعث می‌شود تا دیود شروع به رسانش جریان الکتریکی نماید، ولتاژ آستانه نامیده می‌شود که چیزی حدود ۰٫۶ تا ۰٫۷ ولت (برای دیودهای سیلیکون) و ۰٫۲ تا ۰٫۳ ولت (برای دیود ژرمانیوم) می‌باشد. اما هنگامی که ولتاژ معکوس به دیود متصل شود، (+ به کاتد و - به آند که به آن بایاس معکوس می‌گویند) جریانی از آن، نمی‌گذرد؛ مگر جریان بسیار کمی که به «جریان نشتی» معروف است و در حدود چند میکروآمپر یا حتی کمتر می‌باشد.

این مقدار جریان معمولاً در اغلب مدارهای الکترونیکی قابل چشم پوشی است و تأثیری در رفتار سایر المان‌های مدار نمی‌گذارد.

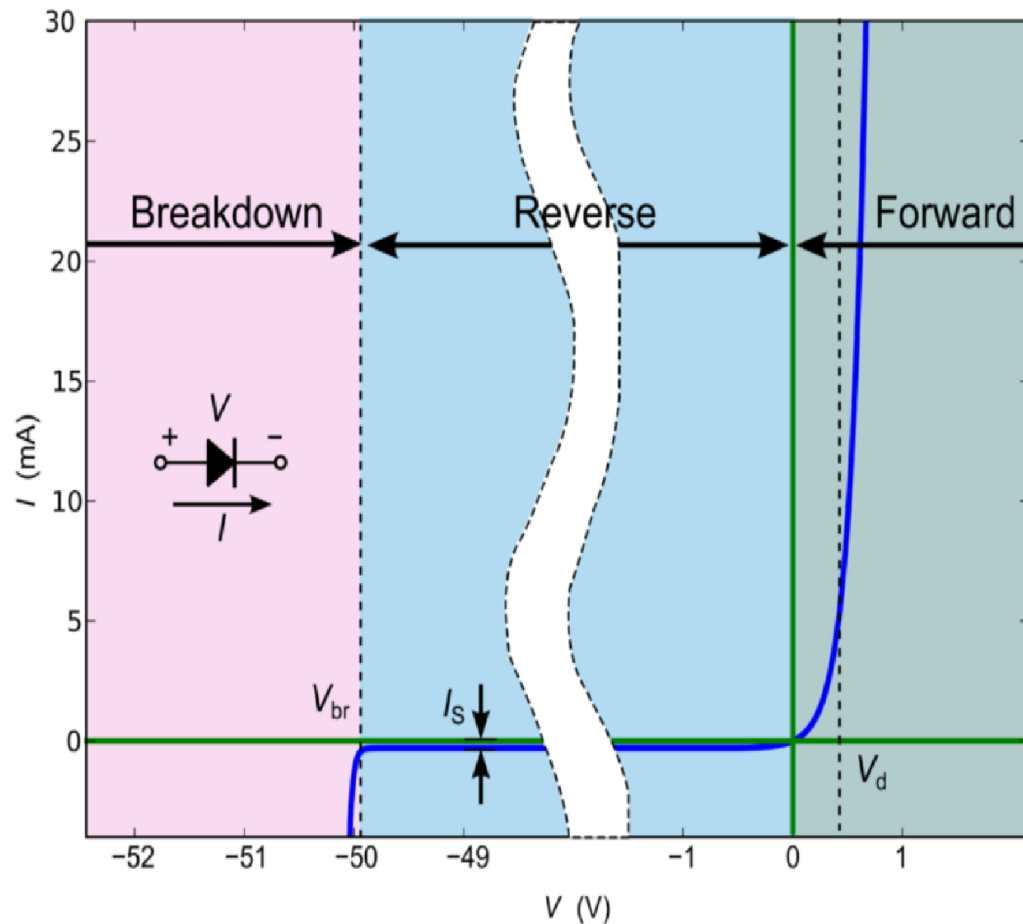
هرچه جنس بلور به کاررفته در ساخت دیود، به لحاظ ساختار، منظم‌تر باشد، دیود مرغوب‌تر و جریان نشتی، کمتر خواهد بود. مقدار جریان نشتی در دیودهای با فناوری جدید، عملاً به صفر می‌گراید. اما نکته مهم آنکه تمام دیودها یک آستانه برای بیشینه ولتاژ معکوس دارند که اگر ولتاژ معکوس، بیش از آن شود، دیود می‌سوزد (بلور ذوب می‌شود) و جریان را در جهت معکوس نیز می‌گذرانند. به این ولتاژ آستانه، «ولتاژ شکست» گفته می‌شود.

ولتاژ شکست معکوس دیود

چنانچه ولتاژ معکوس دیود را تا حدّ مشخصی بیفزاییم، جریان معکوس دیود بطور ناگهانی شروع به افزایش سریع می‌کند. پدیده‌ای که در این حالت رخ می‌دهد را «پدیده شکست» و ولتاژی که در آن این پدیده آغاز می‌شود را ولتاژ شکست دیود دیود گویند و با VBR نشان می‌دهند.

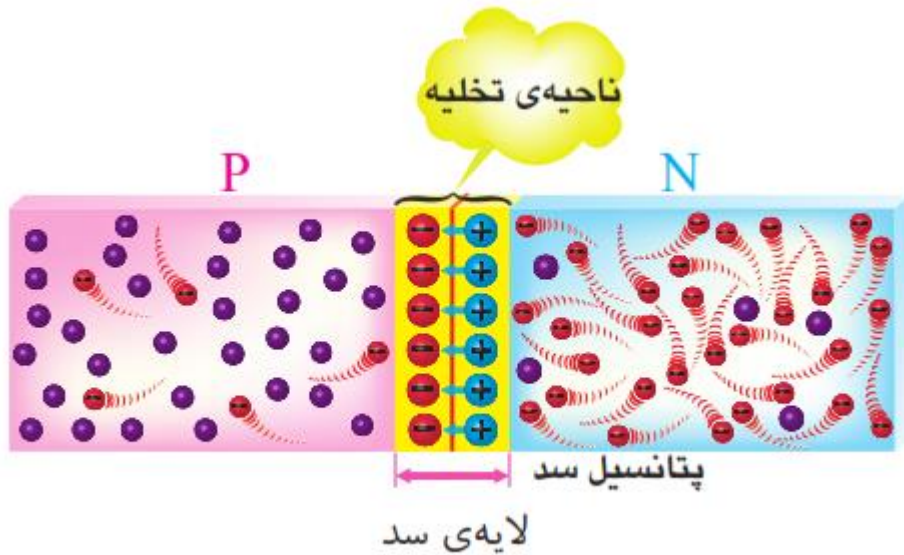
ولتاژ شکست دیود، به ساختمان پیوند P-N و غلظت ناخالصی آن بنحو نسبتاً شناخته شده‌ای بستگی دارد؛ شکست دیود می‌تواند حاصل یکی از دو پدیده شکست بهمینی و شکست زنر باشد. احتمال وقوع پدیده شکست بهمینی در دیودهای سیلیکونی که ولتاژ شکست آنها بیش از ۶ولت است، بیشتر می‌باشد. درحالی‌که شکست زنر به صورت پدیده غالب، تنها در دیودهایی با ولتاژ شکست کمتر از ۶ولت یافت می‌شود.

نمودار تغییرات جریان - ولتاژ در دیودها



شکل‌گیری ناحیه تخلیه در یک پیوند P-N

در فیزیک نیمه هادی‌ها، ناحیه تخلیه، لایه سد، لایه تخلیه، ناحیه پیوند و یا ناحیه بار فضایی، یک ناحیه عایق مابین دو ناحیه نیمه هادی است که همه حامل‌های بار آزاد (الکترون و حفره) را از خود به بیرون می‌رانند. تنها ذره‌های باقی‌مانده در درون این لایه، اتم‌های یونیزه شده ناخالصی دهنده و گیرنده است.

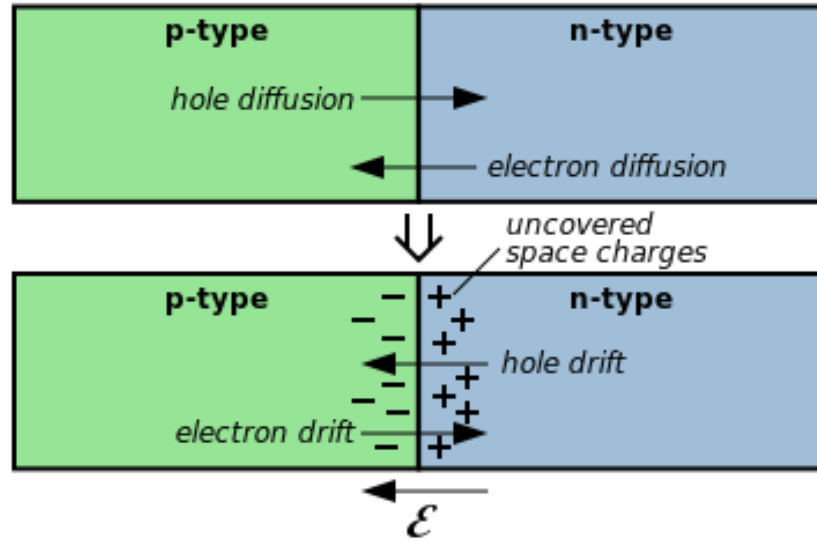


علت نامگذاری ناحیه تخلیه بدین اسم اینست که این منطقه از یک ناحیه نیمه رسانا تشکیل شده است که تمامی حامل‌های بار (جریان الکتریکی) از درون آن تخلیه شده است. درک مفهوم ناحیه تخلیه یا لایه سد، کلیدی برای توضیح ادوات نیمه هادی مدرن مانند دیود، ترانزیستور دو قطبی، ترانزیستور اثر میدان و غیره است.

لایه سد بلافاصله بعد از تشکیل p-n پیوند بوجود می‌آید. فرض کنید درون کاسه‌ای پر از آب، یک قطره جوهر آبی رنگ بچکانیم. در این صورت، جوهر شروع به پخش شدن در سراسر کاسه آب می‌کند به طوری که بعد از گذشت زمان مشاهده می‌شود که آب درون کاسه به رنگ آبی کم رنگ درآمده است. علت این پدیده، فرایند نفوذ (دیفوژن) است. موقع اتصال دو نوع نیمه هادی n و نیمه هادی نوع p، الکترون‌ها و حفره‌ها مانند جوهر و نیمه هادی‌های n و p مانند کاسه آب عمل می‌کنند. در نیمه هادی نوع n، تعداد الکترون‌ها بسیار بیشتر از تعداد آن‌ها در نیمه هادی نوع p است (حامل اکثریت) و همچنین در نیمه هادی نوع p، تعداد حفره‌ها بسیار بیشتر از تعداد آن‌ها در نیمه هادی نوع n است. به همین دلیل در زمان اتصال دو نوع نیمه هادی n و p به یکدیگر، الکترون‌ها به داخل نیمه هادی p و حفره‌ها به داخل نیمه هادی n نفوذ می‌کنند. (درست مانند نفوذ مولکول‌های جوهر در بین مولکول‌های آب)

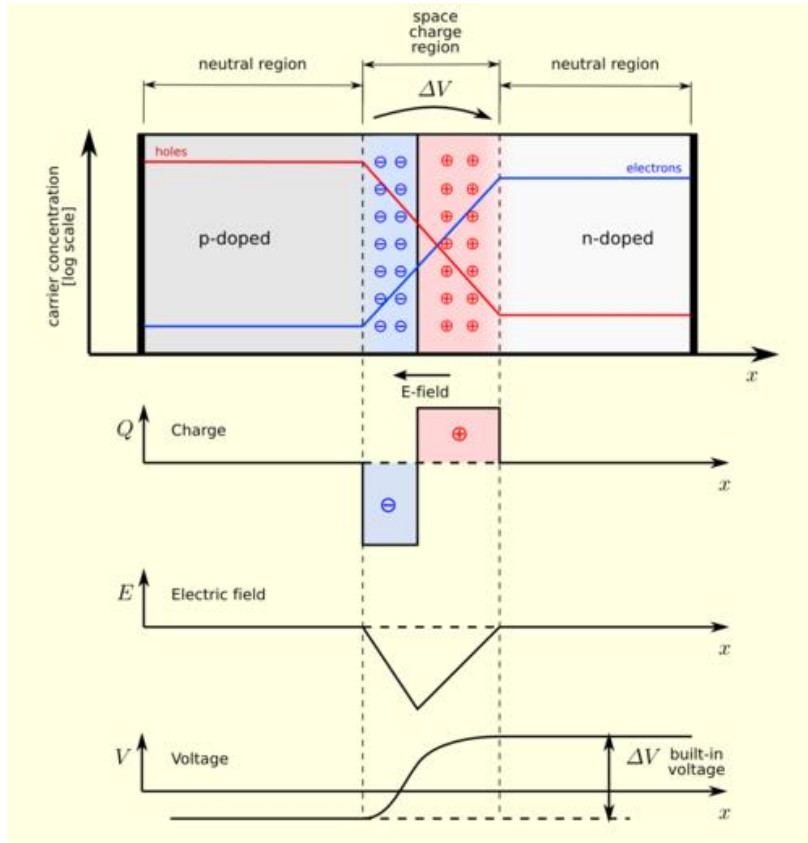
نفوذ یک الکترون از ناحیه n به ناحیه p سبب به وجود آمدن یک یون مثبت دهنده در نیمه هادی n و همچنین به طور مشابه، نفوذ یک حفره سبب پیدایش یک یون منفی پذیرنده در ناحیه p

می‌شود



بالا: پیوند p-n در لحظه اتصال؛ پایین: پس از تشکیل لایه سد

ولتاژ اتصال یا پتانسیل سد



بالا: تراکم حفره و الکترون در طول پیوند؛
دوم از بالا: چگالی بار؛ سوم: میدان
الکتریکی؛ Bottom: پتانسیل الکتریکی

پس از نفوذ الکترون به ناحیه p، این الکترون با یکی از حفره‌های موجود در طرف p، بازترکیب (خشتی) می‌شود. این فرایند در مورد حفره‌های نفوذ کرده به ناحیه n نیز صادق است. همان‌طور که در بالا اشاره شد، هر الکترون و حفره نفوذ کرده به سمت مقابل، یک یون باردار در نزدیکی مرز نیمه هادی n و p بر جای می‌گذارد. این یونها دارای بار مثبت در طرف نیمه هادی n و بار منفی در طرف نیمه هادی p هستند و به علت جرم بسیار بالا نسبت به الکترون و حفره (هسته اتم هزاران بار سنگین تر از الکترون است)، نمی‌توانند حرکت کرده و یکدیگر را خشتی سازند و در نتیجه یک ناحیه با بارهای مثبت و منفی جدا از هم و در کنار هم به وجود می‌آید. این حالت سبب تشکیل یک میدان الکتریکی در این ناحیه (ناحیه تخلیه) می‌شود. این میدان الکتریکی از ادامه نفوذ الکترون‌ها و حفره‌ها به طرف مقابل جلوگیری می‌کند. جهت این میدان الکتریکی از سمت ناحیه n به سمت ناحیه p است. در لحظه‌ای که شدت میدان الکتریکی به اندازه‌ای برسد که نفوذ الکترون‌ها و حفره‌ها را متوقف کند، حالت تعادل به وجود می‌آید و به ولتاژ به وجود آمده در دو سر لایه سد (ناحیه تخلیه)، ولتاژ اتصال یا پتانسیل سد گفته می‌شود. (این ولتاژ در

دیود سیلیسیوم معمولی حدود ۰,۷ ولت است)