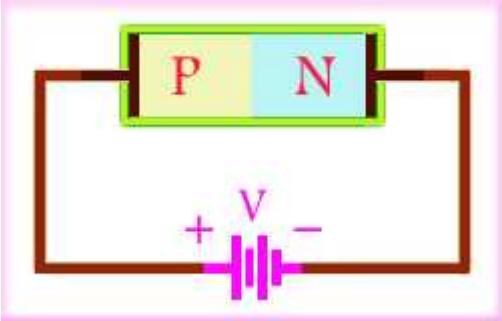
دیودها از نیمه هادی های نوع N و P ساخته می شوند . (برای آشنایی با نیمه هادی ها ، به صفحه آشنایی با نیمه هادی ها از همین وب سایت مراجعه فرمایید . (هرگاه دو کریستال نیمه هادی نوع N و P به هم اتصال یابند الکترونهای آزاد نیمه هادی نوع N که در نزدیکی محل اتصال P–Nقرار دارند به منطقه P نفوذ می نمایند و با حفره های کریستال نوع P ترکیب می شوند و به این ترتیب حفره هایی از بین می روند و الکترونهای آزاد به صورت الکترون های ظرفیت درمی آیند . عبور یک الکترون از محل اتصال سبب ایجاد یک جفت یون می شود زیرا وقتی الکترونی از ناحیه N به ناحیه P وارد می شود در ناحیه N یک اتم پنج ظرفیتی الکترونی را از دست داده و به یون مثبت تبدیل می شود و در مقابل ، در ناحیه P یک اتم سه ظرفیتی الکترونی را دریافت می کند و به یون منفی تبدیل می شود . به این ترتیب در اثر عبور تعداد زیادی الکترون از محل اتصال نیمه هادی ها ، در محل پیوند تعداد زیادی یون مثبت و منفی ایجاد می شود . این یون ها در کریستال ثابت هستند زیرا به علت پیوند کووالانس بین الکترونهای اتم ها ، نمی توانند مانند الکترونهای آزاد حرکت کنند . بنابراین در محل پیوند ناحیه ای به نام لایه تخلیه به وجود می آید که در آن حامل های هدایت الکتریکی یعنی الکترونها و حفره ها وجود ندارند . به ناحیه تخلیه ، ناحیه سد هم گفته می شود . یون های مثبت و منفی در ناحیه تخلیه سبب ایجاد میدان الکتریکی می شوند . این میدان الکتریکی با عبور الکترونهای آزاد از محل اتصال مخالفت می کند . هرگاه میدان ایجاد شده به حدی برسد که مانع عبور الکترون از محل اتصال گردد حالت تعادل به وجود می آید و به این صورت دیود کریستالی ساخته می شود . ولتاژ ایجاد شده در ناحیه تخلیه ، پتانسیل سد نامیده می شود

در این شکل یون های مثبت ومنفی در ناحیه تخلیه و میدان الکتریکی ایجاد شده بین یون ها و همچنین نیمه هادی های نوع N و P به خوبی نمایش داده شده است . در این شکل دایره های سفید رنگ ، بیانگر حفره ها و دایره های دنباله دار قرمز رنگ ، بیانگر الکترونهای آزاد در حال حرکت هستند . در ادامه می خواهیم به بررسی این موضوع بپردازیم که اگر ولتاژی به دو سر اتصال P–N اعمال شود چه اتفاقی روی می دهد .

بایاس کردن اتصال : P–N هرگاه به دو سر اتصال P–N ولتاژی اعمال کنیم گوییم آن را بایاس نموده ایم . بایاس کردن اتصال P–N به دو صورت مستقیم و معکوس انجام می گیرد .

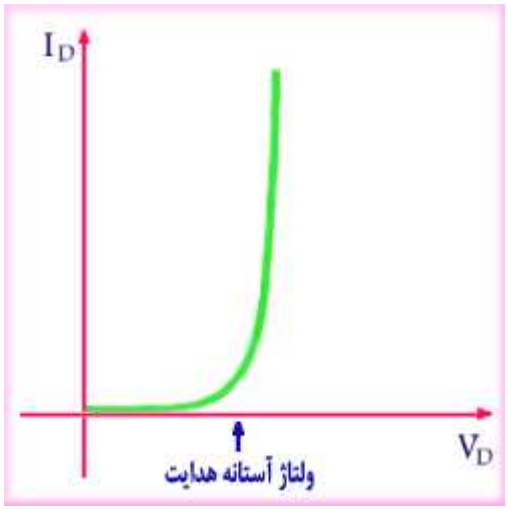
بایاس مستقیم : **(Forward Bias)** اگر قطب مثبت منبع تغذیه را به نیمه هادی نوع P و قطب منفی منبع تغذیه را به نیمه هادی نوع Nوصل کنیم ، دیود را در بایاس مستقیم یا موافق قرار داده ایم . در شکل (2) بایاس مستقیم دیود نمایش داده شده است.



شکل 2

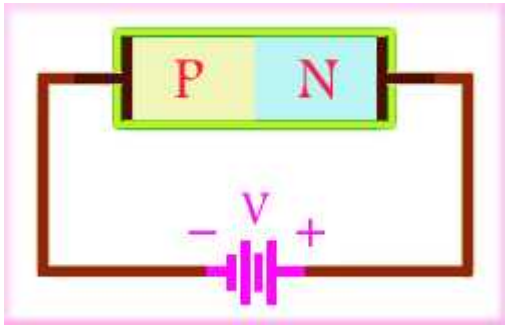
هنگامی که میدان الکتریکی ناشی از منبع تغذیه ، میدان الکتریکی پتانسیل سد را خنثی می کند ، منطقه تخلیه و پتانسیل سد از بین می رود و الکترونهای کریستال N به سمت محل پیوند رانده می شوند . این الکترونها وارد کریستال نوع P شده و در اثر ترکیب با حفره ها به الکترون

ظرفیت تبدیل می شوند . الکترونهای ظرفیت از حفره ای به حفره دیگر می روند تا به انتهای کریستال و سرانجام به قطب مثبت منبع تغذیه می رسند . چنین به نظر می رسد که حفره ها در کریستال نوع P در خلاف جهت حرکت الکترونها حرکت می کنند و جریانی را به وجود می آورند ، در حالی که عملاً آنها بدون حرکت هستند . در بایاس مستقیم دیود ، اگر ولتاژ دو سر دیود را به تدریج از صفر افزایش دهیم ، در ابتدا جریان کمی از مدار عبور خواهد کرد .همین که ولتاژ دو سر دیود به حدود ولتاژ تماس پیوند P–N رسید جریان شروع به افزایش می نماید . این ولتاژ حدی را ولتاژ آستانه هدایت دیود می گویند . در شکل (3) منحنی مشخصه ولت – آمپر دیود در بایاس مستقیم نمایش داده شده است.



شکل 3

بایاس معکوس : (Reverse Bias) اگر قطب مثبت منبع تغذیه را به کریستال نوع Nو قطب منفی آن را به کریستال نوع P متصل کنیم ، دیود را در بایاس معکوس یا مخالف قرار داده ایم . در شکل (4) بایاس معکوس دیود نمایش داده شده است.



شکل 4

در این حالت الکترونهایی از قطب منفی منبع تغذیه وارد نیمه هادی نوع P می شوند و با حفره های مجاور ناحیه تخلیه ترکیب می شوند و به این ترتیب سبب افزایش عرض ناحیه تخلیه در نیمه هادی نوع P می شوند . همچنین در نیمه هادی نوع N ، الکترونهای اطراف ناحیه تخلیه جذب قطب مثبت منبع تغذیه می شوند و آن نواحی از الکترون تهی می شود و به این ترتیب در نیمه هادی نوع N نیز عرض ناحیه تخلیه افزایش می یابد . با افزایش ناحیه تخلیه ، پتانسیل سد نیز افزایش می یابد و این افزایش پتانسیل سد آنقدر ادامه می یابد تا پتانسیل سد با ولتاژ

منبع تغذیه برابر شود و پس از آن عرض ناحیه تخلیه ثابت خواهد ماند . علت این امر این است که زمانی که پتانسیل سد با ولتاژ منبع تغذیه برابر می شود در نیمه هادی نوع N ، نیروی دافعه بین یون های منفی و الکترونهای قطب منفی منبع تغذیه مانع نزدیک شدن این الکترونها به ناحیه تخلیه می شود و در نتیجه عرض ناحیه تخلیه در این نیمه هادی ثابت می ماند . همچنین در نیمه هادی نوع P نیز ، نیروی جاذبه بین یون های مثبت و الکترونهای اطراف ناحیه تخلیه ، مانع دور شدن این الکترونها از این نواحی می شود و در نتیجه در این نیمه هادی نیز عرض ناحیه تخلیه ثابت می ماند . البته توجه داشته باشید که در بایاس معکوس دیود ، جریان بسیار ضعیفی از دیود عبور می کند که جهت این جریان از طرف کاتد به طرف آند است و علت برقراری این جریان در دیود این است که در بایاس معکوس دیود ، در ناحیه تخلیه یک میدان الکتریکی قوی ایجاد می شود . تحت تأثیر این میدان و نیز انرژی حرارتی محیط ، بعضی از پیوند های کووالانسی بین یون ها و اتم ها شکسته شده و الکترونهایی آزاد می شوند . الکترونهای آزاد شده در خلاف جهت میدان حرکت کرده و خود را به قطب مثبت منبع تغذیه می رسانند . بعضی از این الکترونها در طول مسیر خود با حامل های اقلیت نیمه هادی نوع N یعنی حفره ها ترکیب می شوند و در اثر شکسته شدن پیوندها یی ، مجدداً همان تعداد الکترون آزاد می شود که به طرف قطب مثبت منبع تغذیه حرکت می کنند . هم زمان در نیمه هادی نوع P نیز ، حامل های اقلیت که الکترونها هستند وارد ناحیه تخلیه شده و با حفره های ایجاد شده ترکیب می شوند و همان تعداد الکترون از منبع تغذیه وارد نیمه هادی نوع P می شود و به این ترتیب جریان ضعیفی در دیود جاری می شود که به آن جریان اشباع معکوس دیود می گویند . بنابراین ، این حامل های اقلیت نیمه هادی ها هستند که سبب برقراری جریان اشباع معکوس در دیود می شوند . مقدار جریان اشباع معکوس دیود به درجه حرارت محیط وابسته است و پس از به اشباع رسیدن جریان معکوس دیود ، افزایش ولتاژ معکوس در مقدار آن تأثیری ندارد . اما آیا می توان هر مقدار ولتاژ معکوسی را به دو سر دیود وصل کرد ؟ این موضوع را در ادامه و تحت عنوان ولتاژ شکست معکوس دیود مورد بررسی قرار می دهیم .

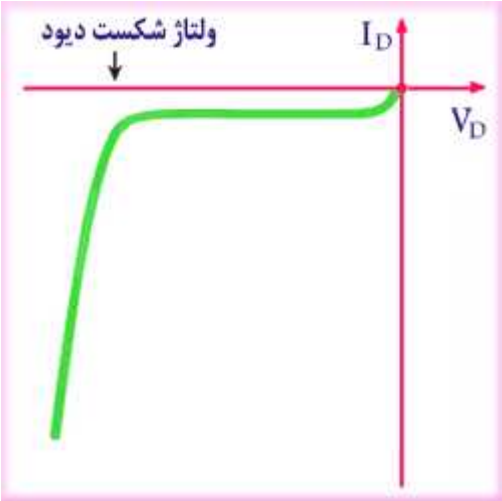
ولتاژ شکست معکوس دیود : زمانی که ولتاژ معکوس دو سر دیود از یک مقدار مشخصی بیشتر شود جریان معکوس دیود به سرعت و به شدت افزایش می یابد و این جریان زیاد ، حرارت زیادی در دیود تولید می کند که سبب سوختن دیود می شود . به پدیده ای که در این حالت رخ می دهد پدیده شکست و به ولتاژی که در آن ، این پدیده آغاز می شود ولتاژ شکست معکوس دیود می گویند . پدیده شکست دیود می تواند حاصل یکی از دو پدیده شکست ضرب بهمنی و یا شکست زنر باشد که در ادامه به بررسی آنها می پردازیم .

پدیده شکست ضرب بهمنی : دیدیم که در بایاس معکوس دیود با زیاد شدن ولتاژ معکوس ، عرض ناحیه تخلیه بیشتر می شود و همچنین شدت میدان الکتریکی در این ناحیه افزایش می یابد . حال اگر ولتاژ معکوس دیود به مقدار خاصی برسد ، در اثر میدان الکتریکی قوی ایجاد شده ، حامل های اقلیت نیمه هادی نوع P در خلاف جهت میدان شروع به حرکت کرده و به سرعت شتاب می گیرند . این حامل ها با شتاب گرفتن خود می توانند با شدت زیاد با یون ها و اتم های واقع در ناحیه تخلیه برخورد نموده و ضمن شکستن پیوندهای کووالانس آنها ، تعدادی حامل جدید را نیز آزاد نمایند . حامل های جدید نیز تحت تأثیر میدان الکتریکی زیاد در ناحیه تخلیه قرار گرفته و پس از برخورد با یون ها و اتم های دیگر ، حامل های بیشتری را از پیوندهای کووالانس آنها جدا می سازند . بنابراین تعداد حامل هایی که می توانند در ایجاد جریان دخالت کنند بطور ناگهانی افزایش یافته و باعث افزایش سریع جریان می شوند . این پدیده را که موجب افزایش ناگهانی جریان معکوس دیود می شود ، پدیده شکست ضرب بهمنی گویند .

پدیده شکست زنر : با زیاد شدن ولتاژ معکوس دیود ، شدت میدان الکتریکی در ناحیه تخلیه ممکن است به حدی برسد که بتواند مستقیماً پیوندهای کووالانسی موجود در این ناحیه را شکسته و الکترونهای زیادی را آزاد نماید . در این حالت جدا شدن الکترونها ناشی از برخورد سایر

الکترونها با آنها نبوده ، بلکه ناشی از تأثیر مستقیم میدان الکتریکی ناحیه تخلیه بر آنها است . این پدیده نیز باعث افزایش سریع جریان معکوس دیود می شود .

در شکل (5) منحنی مشخصه ولت – آمپر دیود در بایاس معکوس نمایش داده شده است.



شکل 5

مقادیر حد در دیودها : برخی از کمیت های دیود اگر از میزان ماکزیمم بیشتر شوند به دیود آسیب می رسانند . مقادیر ماکزیمم این کمیت ها مقادیر حد دیود نام دارند . برخی از مقادیر حد که در کتاب مشخصات دیودها آورده می شوند و با توجه به طراحی می توان از آنها استفاده نمود عبارتند از :

1 -حداکثر ولتاژ معکوس : حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس می تواند در دو سر دیود قرار گیرد بطوری که دیود آسیب نبیند ، حداکثر ولتاژ معکوس دیود نام دارد . معمولاً چهار پارامتر برای حداکثر ولتاژ معکوس قید می شود که این چهار پارامتر عبارتند از :

الف (حداکثر ولتاژ معکوس : DC حداکثر ولتاژ DC اعمال شده به دو سر دیود در بایاس معکوس که دیود می تواند تحمل کند را حداکثر ولتاژ معکوس DC می گویند و آن را با V_R نمایش می دهند .

ب) حداکثر ولتاژ معکوس مؤثر : حداکثر ولتاژ مؤثری که به صورت معکوس می تواند در دو سر دیود قرار گیرد به طوری که دیود آسیب نبیند و آن را با $V_{R(rms)}$نمایش می دهند .

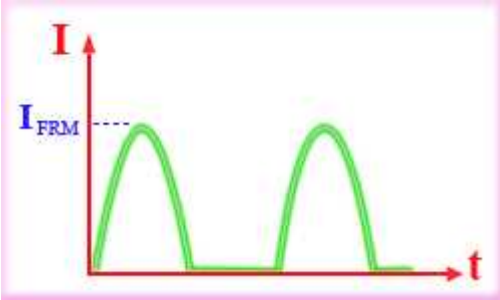
ج) ولتاژ معکوس قابل تحمل در وضعیت کار عادی : حداکثر ولتاژ معکوس قابل تحمل توسط دیود در وضعیت کار عادی را ولتاژ معکوس قابل تحمل در وضعیت کار عادی می گویند و آن را با V_{RWM} نمایش می دهند .

د) ماکزیمم ولتاژ معکوس تکرار سیکل ها : حداکثر ولتاژ معکوسی که به صورت تکرار سیکل ها می تواند در دو سر دیود قرار بگیرد بطوری که دیود آسیب نبیند را ماکزیمم ولتاژ معکوس تکرار سیکل ها می گویند و آن را با V_{RRM} نمایش می دهند .

2 -حداکثر جریان مستقیم : به حداکثر جریان DC یا متوسط که می توان از دیود در گرایش مستقیم عبور داد به گونه ای که دیود آسیب نبیند حداکثر جریان مستقیم دیود می گویند و آن را با I_F نمایش می دهند . در اثر عبور این جریان در محل اتصال P–N حرارت ایجاد می شود

. اگر در هوای آزاد ، حرارت ایجاد شده در دیود خوب دفع نشود دیود را روی گرماگیر نصب نمود .

3 -حداکثر جریان تکرای : حداکثر جریانی که به صورت تکرار سیکل ها در بایاس مستقیم در دیود جاری می شود را حداکثر جریان تکراری دیود می گویند و آن را با I_{FRM} نمایش می دهند . در شکل (6) یک نمونه جریان تکراری نمایش داده شده است.



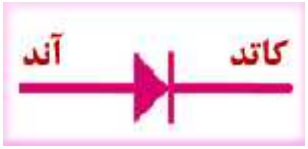
شکل 6

4 -حداکثر جریان لحظه ای : حداکثر جریانی که در زمان بسیار کوتاه (حدود چند میکروثانیه) می تواند از دیود عبور کند به گونه ای که به دیود آسیب نرسد را حداکثر جریان لحظه ای دیود گویند و آن را با I_{FSM} نمایش می دهند .

5 -درجه حرارت محل پیوند : حداکثر حرارتی که در یک دیود ، در محل پیوند نیمه هادی های N و P می تواند ایجاد شود به طوری که به دیود آسیب نرسد و آن را با T_j نمایش داده می شود .

انواع دیود : دیودها انواع مختلفی دارند که در ادامه به بررسی آنها می پردازیم .

دیود معمولی : دیودهای معمولی سیلیسیمی در بایاس مستقیم و به ازای ولتاژهای کمتر از 0.5 ولت جریانی را از خود عبور نمی دهند . اگر ولتاژ بایاس بین 0.5تا حدود 0.65 ولت شود ، جریان ضعیفی در دیود برقرار می شود و اگر ولتاژ بایاس بیشتر از این مقدار شود جریان دیود به طور ناگهانی افزایش می یابد . بنابراین ولتاژ آستانه هدایت دیود معمولی سیلیسیمی حدود 0.65 ولت می باشد .دیودهای معمولی ژرمانیومی دارای ولتاژ آستانه هدایت 0.2 ولت می باشند . این دیودها در بایاس مستقیم ، به ازای ولتاژ بایاس کمتر از 0.1 ولت جریانی را از خود عبور نمی دهند و اگر ولتاژ بایاس بین 0.1 تا 0.2ولت شود ، جریان ضعیفی در دیود برقرار می شود و در صورتی که مقدار ولتاژ بایاس از 0.2 ولت بیشتر شود ، جریان دیود به طور ناگهانی افزایش می یابد . دیودهای معمولی دارای ولتاژ شکست معکوس بالایی هستند که مقدار ولتاژ شکست معکوس هر نوع دیود توسط کارخانه سازنده آن مشخص می شود . دیودهای معمولی ، از نظر شکل ظاهری انواع مختلفی دارند اما علامت اختصاری همه آنها یکسان است . در شکل (7) علامت اختصاری دیود معمولی نمایش داده شده است.



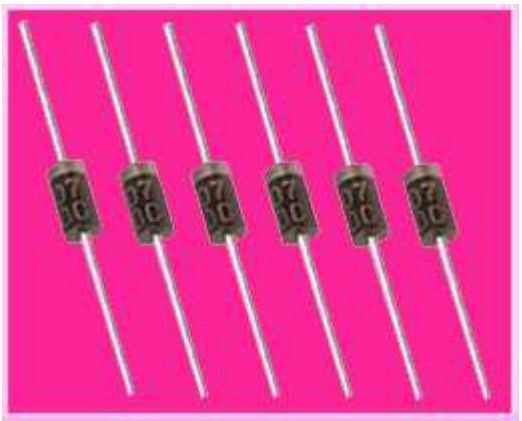
شکل 7

در شکل (7) ، علامت مثلث ، جهت جریان قراردادی در دیود به ازای بایاس مستقیم را نشان می دهد . همچنین نیمه هادی نوع P ، آند و نیمه هادی نوع N ، کاتد نام گذاری شده است و شرط هدایت دیود این است که ولتاژ آند حداقل به اندازه ولتاژ آستانه هدایت دیود ، بیشتر از کاتد باشد . معمولاً بر روی دیود ، پایه کاتد توسط یک نوار رنگی و یا یک نقطه مشخص می شود و گاهی نیز بر روی دیود علامت اختصاری آن را درج می کنند که در این صورت تشخیص پایه های دیود مطابق شکل (7) می باشد . تعدادی از دیودهای معمولی که کاربرد زیادی دارند دیودهای 1 N4001تا 1 N4007هستند . این دیودها در مدارهای مختلف از جمله در مدارهای یکسوساز به وفور مورد استفاده قرار می گیرند . در جدول شماره (1) این دیودها از نظر مقادیر حد ، با یکدیگر مقایسه شده اند.

حروف اختصاری	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	واحد
V_{RRM} V_{RWM} V_R	50	100	200	400	600	800	1000	ولت
V_{RSM}	60	120	240	480	720	1000	1200	ولت
$V_{R(rms)}$	35	70	140	280	420	560	700	ولت
I_F	1							آمپر
I_{FSM}	30برای یک سیکل							آمپر
T_j	– 65 to +175							درجه سانتی گراد

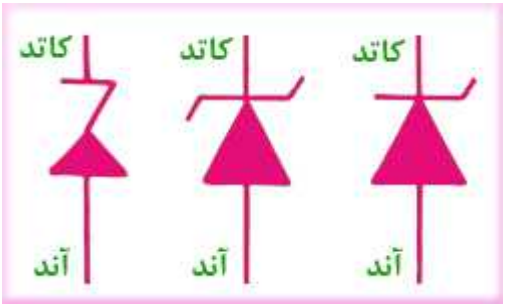
جدول شماره 1

در شکل (8) تصویری از چند دیود معمولی 1 N4007نمایش داده شده است.



شکل 8

دیود زنر : (Zener Diode) دیود زنر هم مانند دیود معمولی از اتصال دو کریستال P و N ساخته می شود . جنس نیمه هادی های این دیود از سیلیسیم بوده و در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی سیلیسیمی عمل می کند . بر خلاف دیود های معمولی که در بایاس مخالف ، در منطقه شکست آسیب می بینند ، دیودهای زنر به گونه ای ساخته می شوند تا بتوانند در منطقه شکست کار کنند . وقتی ولتاژ بایاس مخالف دیود زنر را به تدریج افزایش دهیم ، در یک ولتاژ خاص دیود شروع به هدایت می کند. ولتاژی که دیود زنر به ازای آن در بایاس معکوس هادی می شود به ولتاژ شکست زنر معروف است . در کارخانه های سازنده دیود زنر ، با تنظیم میزان ناخالصی در این دیودها ، دیودهایی با ولتاژهای شکست مختلف ساخته می شوند . با هادی شدن دیود در ولتاژ شکست دیود ، ولتاژ دو سر دیود تقریباً ثابت می ماند و جریان عبوری از دیود افزایش می یابد . از این خاصیت دیود زنر برای تثبیت ولتاژ استفاده می شود . منحنی مشخصه ولت – آمپر دیود زنر شبیه به منحنی مشخصه ولت – آمپر دیود معمولی است . در شکل (9 (علائم اختصاری دیود زنر نمایش داده شده است.



شکل 9

استاندارد ولتاژهای زنر :دیود زنر در ولتاژهای شکست مختلف مطابق استاندارد سری E ساخته می شود . دو سری استاندارد E_{12} و E_{24} متداول تر است . ولتاژ زنر معمولاً از 2.4 ولت تا 200 ولت ساخته می شود. سری E_{12} دارای تلرانس 10 درصد و سری E_{24} دارای تلرانس 5 درصد است . معمولاً تلرانس همراه با ولتاژ شکست بر روی دیود نوشته می شود . حرف C برای تلرانس 5 درصد و حرف D برای تلرانس 10 درصد به کار می رود .

توان دیودهای زنر : جریانی که در بایاس معکوس ، از دیود زنر عبور می کند اگر زیاد شود باعث سوختن دیود می شود . زیرا این جریان باعث به وجود آمدن حرارت در محل پیوند P–N می شود . حداکثر جریانی که به ازای آن ، دیود معیوب نمی شود بستگی به توان زنر و ولتاژ شکست زنر دارد . توان دیود زنر از رابطه زیر به دست می آید.

که در این رابطه P_Z توان دیود زنر ، V_Zولتاژ شکست زنر و I_Z حداکثر جریانی است که می تواند در بایاس معکوس از دیود زنر عبور کند .

بنابراین در صورت داشتن توان زنر و ولتاژ شکست آن ، می توان با استفاده از فرمول بالا حداکثر جریانی که می تواند در بایاس معکوس از دیود عبور کند به طوری که دیود آسیب نبیند را به دست آورد . دیددهای زنر معمولاً برای توان های 0.15وات تا 50 وات ساخته می شوند . در شکل (10)یک نمونه دیود زنر توان پایین و در شکل (11)نیز یک نمونه دیود زنر توان بالا نمایش داده شده است.

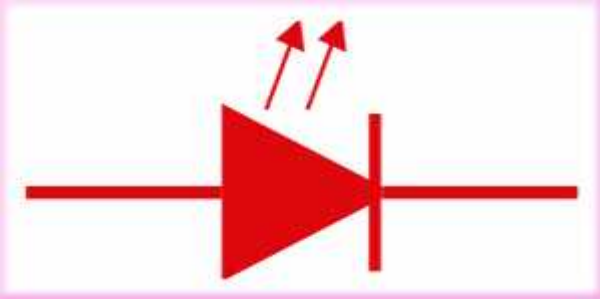
شکل 10

شکل 11

ضریب حرارتی دیود زنر :مقدار ولتاژ دیود زنر در اثر گرما تغییر می کند . کارخانجات سازنده برای هر دیود زنر ضریبی را تعیین می کنند که این ضریب بیانگر این است که به ازای تغییر حرارت به اندازه یک درجه ، ولتاژ زنر چه تغییری می کند . این ضریب را ضریب حرارتی دیود زنر می نامند . ضریب حرارتی دیود زنر با ولتاژ شکست 5.1 ولت تا 5.6ولت تقریباً صفر است و برای ولتاژهای کمتر از این مقدار ضریب حرارتی منفی و برای ولتاژهای بیشتر از این مقدار ضریب حرارتی مثبت می باشد .

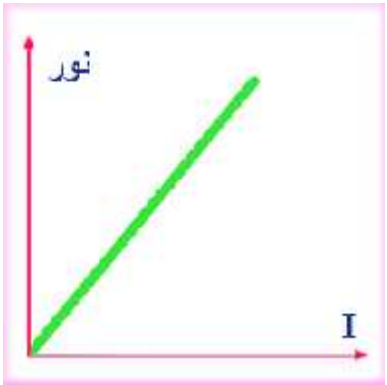
دیود نور دهنده یا : LED واژه LEDاز عبارت Light Emitting Diode به معنای دیود منتشر کننده نور گرفته شده است . دیود نور دهنده از دو نیمه هادی نوع N و P ساخته شده است . هرگاه این دیود در بایاس مستقیم قرار گیرد و جریان به اندازه کافی باشد ، دیود از خود نور تولید می کند . نور تولیدی در محل اتصال نیمه هادی های N و Pایجاد می شود . رنگ نور تولیدی به جنس نیمه هادی های استفاده شده در دیود بستگی دارد و این دیودها معمولاً دارای نورهایی به رنگ های آبی ، قرمز ، زرد ، نارنجی ، سفید و سبز هستند . نور تولید شده ، نتیجه بعضی از ترکیبات بین الکترونها و حفره ها می باشد که به صورت پالس های نور ظاهر می شود . لازم به تذکر است که این عمل برای دیودهای معمولی نیز اتفاق می افتد ولی در این دیودها فرکانس نور تولید شده به اندازه ای است که نور قابل رؤیت نمی باشد . بیشترین نور در محل اتصال نیمه هادی های نوع N و P تولید می شود زیرا در این محل ، الکترونها و حفره های بیشتری با یکدیگر ترکیب می شوند . در شکل (12) تصویری از چند LED و در شکل (13) علامت اختصاری آن نمایش داده شده است.

شکل 12



شکل 13

در شکل (14) منحنی نور تولید شده توسط دیود نور دهنده ، نسبت به جریان عبوری از آن نمایش داده شده است . همانطور که مشاهده می کنید این منحنی کاملاً خطی است . بنابراین به وسیله دیود نور دهنده می توان سیگنال های الکتریکی را به نور تبدیل نمود و آنها را به روشهای مختلف از جمله با استفاده از فیبرهای نوری ارسال کرد و در انتهای مسیر مجدداً نور دریافت شده را که بدون اعوجاج است به سیگنال های الکتریکی تبدیل نمود.



شکل 14

مقدار نوری که از دیود نور دهنده خارج می شود به وسیله شکل فیزیکی آن کنترل می شود . شکل نیم کره ای قادر به خارج کردن نور بیشتری است و به همین دلیل این شکل فیزیکی بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد . اما استفاده از دیود نور دهنده مزایای زیادی دارد از جمله کوچک بودن اندازه آن ، داشتن عمر کارکرد بالا (حدود یکصد هزار ساعت) ، داشتن سرعت بالا در قطع و وصل نور ، تلفات حرارتی کم ، داشتن ولتاژ کار کم (بین 1.7 تا 3.3 ولت) ، مصرف جریان کم)حدود چند میلی آمپر) و داشتن توان کم حدود 10 تا 150 میلی وات