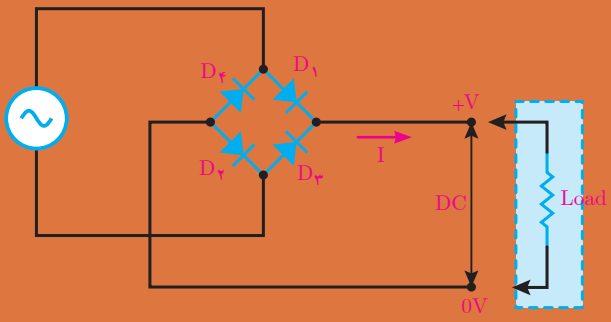
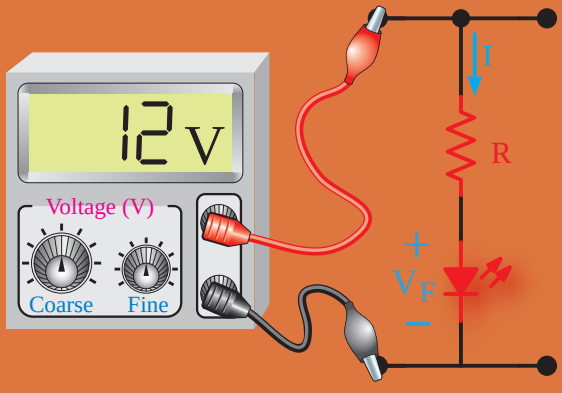
فصل ۳

تحلیل مدارهای الکترونیکی





واحد یادگیری ۳

تحلیل مدارهای دیودی

نوع درس: نظری ■ **کل ساعت:** ۳۰ ساعت ■ **ساعت نظری:** ۳۰ ساعت

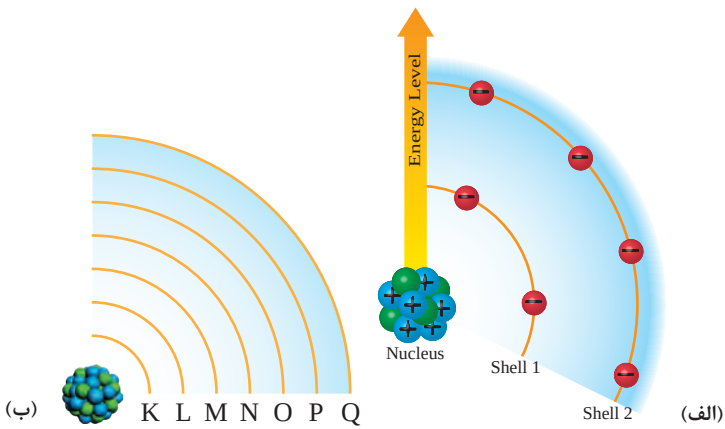
سؤالات پیشنهادی

- ناخالص کردن نیمه‌هادی‌ها چگونه است؟
- ساختمان دیود به چه شکلی است؟
- انواع دیودها چگونه و در کجا استفاده می‌شود؟
- جریان و ولتاژ در ترانزیستورها چگونه تجزیه و تحلیل می‌شود؟
- نواحی کار ترانزیستور و منحنی مشخصه ترانزیستور چگونه است؟
- مقاومت‌های بایاس را با معلوم بودن مشخصات نقطهٔ کار در بایاس مستقیم و اتوماتیک و سرخود چگونه محاسبه می‌شود؟
- اتم را تعریف کنید.
- قسمت‌های اصلی اتم را نام ببرید.
- تعداد الکترون‌های هر لایه اتم را با استفاده از رابطهٔ $2n^2$ محاسبه کنید.
- لایهٔ والانس و الکترون والانس را تعریف کنید.
- هادی‌ها، نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها را تعریف کنید.
- باندهای انرژی هادی‌ها، نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها را توضیح دهید.
- تجربهٔ ادیسون را تشریح کنید
- الکترودهای حباب خلأ را نام‌گذاری کنید.
- ساختمان لامپ خلأ دیود را تشریح کنید.
- کاربرد لامپ خلأ دیود را شرح دهید.
- ساختمان لامپ تریود را شرح دهید.
- لامپ خلأ را با ترانزیستور مقایسه کنید.
- نیمه‌هادی را تعریف کنید.
- انواع نیمه‌هادی را نام ببرید.

- باندهای انرژی نیمه‌هادی‌ها را تشریح کنید.
- باندهای انرژی را در ژرمانیم و سیلیسیم توضیح دهید.
- ساختمان اتمی ژرمانیم و سیلیسیم را شرح دهید.
- ساختمان کریستالی ژرمانیم و سیلیسیم را تشریح کنید.
- نحوهٔ پیوند اتم‌های کریستال ژرمانیم و سیلیسیم را توضیح دهید.
- هدایت الکتریکی در سیلیسیم و ژرمانیم خالص را توضیح دهید.
- حفره را تعریف کنید.
- چگونگی حرکت الکترون و حفره را در داخل کریستال توضیح دهید.
- چگونگی ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی برای تشکیل نیمه‌هادی نوع N را شرح دهید.
- چگونگی ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی برای تشکیل نیمه‌هادی نوع P را بیان کنید.
- هدف‌های مربوط به حیطهٔ عاطفی که در فصل اوّل آمده است را اجرا نمایید.
- اجسام از نظر هدایت به چند دسته تقسیم می‌شوند؟ نام ببرید؟
- دلیل استفاده از حباب خلأ در تجربهٔ ادیسون را شرح دهید.
- پدیدهٔ ترمویونیک را توضیح دهید.
- مقاومت مخصوص را تعریف کنید.
- چگونگی اتصال اتم‌ها را تشریح کنید.
- الکترون آزاد را توضیح دهید.
- چگونگی تشکیل نیمه‌هادی نوع N را شرح دهید.
- چگونگی تشکیل نیمه‌هادی نوع P را شرح دهید.
- مزیت استفادهٔ نیمه‌هادی سیلیسیم نسبت به ژرمانیم را توضیح دهید.
- اتصال PN را توضیح دهید.
- خصوصیات اتصال PN را بنویسید.
- پتانسیل سد را تعریف کنید. مقدار آن برای ژرمانیم چقدر است.
- شکل ظاهری و نماد دیود را رسم کنید.
- منحنی مشخصهٔ ولت آمپر دیود معمولی را برای ژرمانیم و سیلیسیم رسم کنید.
- مقاومت استاتیکی و دینامیکی دیود را تعریف کنید.
- مدار معادل دیود معمولی را بکشید.
- خصوصیات و اصول کار دیود زنر را توضیح دهید.
- برتری‌های LED بر لامپ معمولی را بنویسید.
- دیود واراکتور در چه بایاسی کار می‌کند. عامل متغیر در دیود واراکتور را نام ببرید.
- فتودید در چه بایاسی کار می‌کند. چگونگی تغییر جریان معکوس با بازتابش نور را توضیح دهید.
- چه المانی می‌تواند جایگزین فتودیود شود. نام ببرید.

مرور بر ساختمان اتمی عناصر

عناصر موجود در طبیعت از ذرات بسیار کوچکی به نام اتم تشکیل شده‌اند که دارای دو قسمت اصلی هسته و پوسته‌های الکترونی هستند. الکترون‌های هر اتم روی مدارهایی (پوسته shell_orbit) بیضی‌شکل دوران می‌کنند. در بسیاری از عناصر تعداد حداکثر الکترون‌های هر مدار از رابطهٔ $2n^2$ تعیین می‌گردد. در این رابطه n شمارهٔ مدار مورد نظر است و با حروف K،L،M،N،O،P،Q مشخص می‌شود. در شکل زیر الف هسته و بخشی از دو مدار اتمی را ملاحظه می‌کنید. در شکل زیر ب مدارها با حروف مختلف نشان داده شده‌اند.



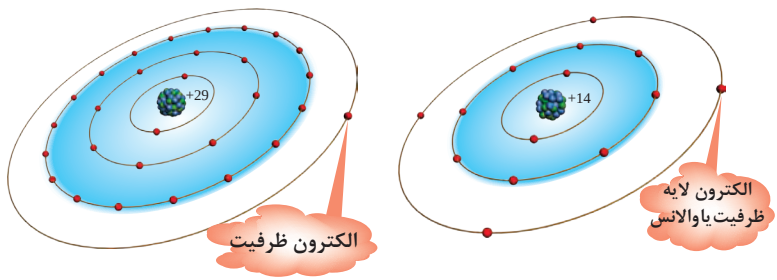
ساختمان اتم و لایه‌های آن

در این قسمت ما مدار (Orbit) یا پوسته (Shell) را اصطلاحاً لایه می‌نامیم و کلمهٔ لایه را مورد استفاده قرار می‌دهیم.

نحوهٔ توزیع الکترون‌ها روی لایه‌ها

همان‌طوری که گفته شد، پذیرش الکترون‌ها در هر لایه محدودیت دارد. برای مثال، لایهٔ اول (K)نمی‌تواند بیش از ۲ الکترون و لایهٔ دوم (L) بیش از ۸ الکترون و لایهٔ سوم (M) بیش از ۱۸ الکترون را بپذیرند. این محدودیت برای تمام لایه‌ها وجود دارد. از طرفی، با توجه به عدد اتمی عناصر، شرایطی پدید می‌آید که توزیع الکترون در لایه‌های آخر را با مشکل مواجه می‌سازد. در این قسمت به تشریح این

موضوع می‌پردازیم. می‌دانیم درصورتی‌که عدد اتمی عنصری ۱۰باشد، لایهٔ اول با ۲ الکترون و لایه دوم با ۸ الکترون کامل می‌شود و چون این آخرین حد برای لایهٔ دوم است، باید لایهٔ سوم شروع شود. برای عناصری با عدد اتمی ۱۱ تا ۱۸ لایهٔ اول با ۲ الکترون، لایهٔ دوم با ۸ الکترون و لایهٔ سوم با ۸ الکترون پر می‌شود و پس از آن لایهٔ چهارم شروع می‌شود. برای عناصری با عدد اتمی ۱۹ تا ۲۹ پس از پر شدن لایهٔ اول و دوم، لایهٔ سوم با حداکثر ظرفیت یعنی۱۸ الکترون پر می‌شود و پس از آن لایهٔ چهارم شروع می‌گردد. شکل زیر مدار لایه‌ای عناصر مس و سیلیسیم را با عدد اتمی آنها نشان می‌دهد. به آخرین لایهٔ اتم، که در آن تعداد الکترون‌ها پر نمی‌شوند، لایهٔ ظرفیت یا لایهٔ والانس (Valance) می‌گویند.



مدار لایه‌های اتم مس و اتم سیلسیم

رابطهٔ $2n^2$ عمومیت ندارد و برای برخی از عناصر صدق نمی‌کند.

کار در کلاس:

کاربرد هادی‌ها و نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها را بررسی کنید.

پاسخ:

هادی‌ها

که به‌راحتی جریان برق را از خود عبور می‌دهند. هادی‌ها به علت دارا بودن الکترون آزاد می‌توانند جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهند، فلزات یک تا سه ظرفیتی هادی‌ها هستند. مانند مس و آهن و...

نیمه‌هادی‌ها

به عناصری که اتم‌های آن در مدار آخر خود چهار الکترون دارند «نیمه‌هادی» گویند. نیمه‌هادی‌ها در صفر مطلق ($^{\circ}C$ ۲۷۳-) تقریباً عایق هستند. در درجهٔ حرارت معمولی ($^{\circ}C$ ۲۵) انرژی حرارتی باعث آزاد شدن تعدادی از الکترون‌های

لایه ظرفیت می‌شود و هدایت الکتریکی در جسم بالا می‌رود. با افزودن ناخالصی هم می‌تواند هدایت الکتریکی جسم را بالا ببرد. عناصری مانند کربن، سیلیسیوم (سیلیکون) و ژرمانیوم نمونه‌هایی از نیمه‌هادی‌ها به‌شمار می‌آیند. این دو عنصر در صنعت برق و الکترونیک کاربرد فراوان دارند.

عایق‌ها

عایق‌ها اجسامی هستند که درجه معمولی جریان برق را از خود عبور نمی‌دهند مانند شیشه و پلاستیک.

کار در کلاس:

جدول زیر را در کلاس کامل کرده و آن را بررسی کنید.

نام باند	نام انگلیسی	شرح
باند ظرفیت	Valence Band	در این باند الکترون‌های لایهٔ آخر هر اتم با تحریک انرژی خارجی از مدار جدا می‌شوند.
باند ممنوع یا شکاف انرژی	Energy Gap	این باند نشان می‌دهدکه چه مقدار انرژی لازم است تا الکترون‌ها از مدار آخر آزاد شوند.
باند هدایت	Conduction Band	در این باند الکترون‌های آزاد با تحریک خارجی از جمله میدان الکتریکی می‌توانند به راحتی در داخل اجسام به حرکت در می‌آیند.

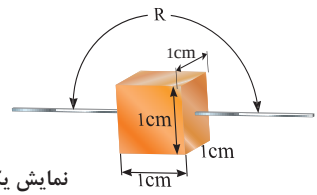
تحقیق کنید:

بررسی کنید چرا برای مقایسهٔ گروه نیمه‌هادی‌ها با اجسام هادی و عایق، از مقاومت مخصوص آنها استفاده می‌شود؟

پاسخ:

مقاومت مخصوص به‌وسیلهٔ قطعه‌ای از ماده به طول یک سانتی‌متر و سطح مقطع یک سانتی‌متر مربع، (مطابق شکل زیر) نشان داده می‌شود. مقاومت مخصوص را با ρ نمایش می‌دهند. واحد ρ اهم سانتی‌متر است که از رابطهٔ حاصل می‌شود.

$$\rho = \frac{RA}{L} = \frac{\Omega.Cm^{2}}{Cm} = \Omega.cm$$



نمایش یک اهم سانتی‌متر

اگر مقدار طول برحسب متر و سطح مقطع برحسب میلی‌متر مربع باشد مقاومت مخصوص برحسب اهم میلی mm خواهد بود.

تحقیق کنید:

باندهای انرژی نیمه‌هادی‌ها را بررسی کنید.

پاسخ:

نیمه‌هادی‌های ژرمانیم با توجه به کاربردشان در ساخت قطعات الکترونیکی، نسبت به بقیه از اهمیت زیادتری برخوردارند انرژی لازم برای عبور الکترون از منطقه ممنوعه در اتم ژرمانیم، حدود ۰/۷ الکترون ولت است. انرژی لازم برای عبور الکترون از منطقه ممنوعه در اتم سیلیسیم، حدود ۱/۲ الکترون ولت است.

باندهای انرژی نیمه‌هادی‌ها

نیمه‌هادی‌های ژرمانیم (Germanium) و سیلیکن (Silicon) با توجه به کاربردشان در ساخت قطعات الکترونیکی، نسبت به بقیه از اهمیت زیادتری برخوردارند.

در اینجا فقط باندهای انرژی ژرمانیم و سیلیسیم را مورد بررسی قرار می‌دهیم.
شکل روبه‌رو باندهای انرژی ژرمانیم را، در دو درجهٔ حرارت صفر و ۳۰۰°K نشان می‌دهد.
انرژی لازم برای عبور الکترون از منطقهٔ ممنوعه در اتم ژرمانیم، حدود ۰/۷ الکترون ولت است.

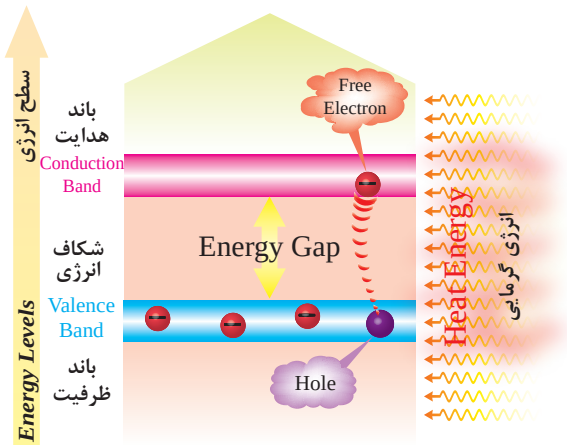
شکل باندهای اتم ژرمانیم

شکل باندهای انرژی سیلسیم

شکل باندهای انرژی سیلیسیم را در دو درجهٔ حرارت صفر و ۳۰۰°K نشان می‌دهد. انرژی لازم جهت عبور الکترون از منطقهٔ ممنوعه در اتم سیلیسیم حدود ۱/۲ الکترون‌ولت است.

باند ظرفیت سطح انرژی Energy Levels دومین لایه اولین لایه هسته باند هدایت

الکترون‌ها در باندهای انرژی تعریف شده قرار دارند و در باند هدایت هیچ الکترون آزادی وجود ندارد. این شرایط در درجهٔ حرارت صفرِ مطلق (۲۷۳- درجهٔ سانتی‌گراد) رخ می‌دهد. در این دما تمام الکترون‌ها شدیداً به اتم‌های کریستال متّصل‌اند و هیچ‌گونه انرژی خارجی از جمله گرما وجود ندارد تا پیوندها را بشکنند و الکترون آزاد تولید کند. بنابراین، در صفر درجهٔ مطلق، ژرمانیم و سیلیسیم، عایق به‌شمار می‌آیند. اگر به کریستال انرژی داده شود مثلاً کریستال در دمای محیط (۳۰۰°K = ۲۷°C) قرار گیرد، انرژی گرمایی محیط الکترون‌ها را (مطابق شکل) به باند هدایت انتقال می‌دهد و آن را به الکترون آزاد تبدیل می‌کند. این الکترون‌های آزاد، هدایت الکتریکی را در نیمه‌هادی بالا می‌برند. این هدایت را هدایت ذاتی کریستال می‌نامند. هدایت ذاتی فقط در اثر حرارت ایجاد می‌شود.



شکل انتقال الکترون به باند هدایت

باند هدایت باند ظرفیت شکاف انرژی سطح انرژی گرمایی

هدایت ذاتی الکتریکی ژرمانیم از سیلیسیم بیشتر است، زیرا در یک درجهٔ حرارت معین، پهنای باند ممنوع در کریستال ژرمانیم، از سیلیسیم کمتر است. لذا اگر به

کریستال حرارت دهیم در کریستال ژرمانیم پیوندهای بیشتری نسبت به سیلیسیم شکسته می‌شود و جریان بیشتری را می‌تواند در مدار جاری کند.
بنابراین لازم است نکته زیر را دقیقاً به خاطر بسپارید:
در یک درجه حرارت معین، تعداد الکترون‌های آزاد در کریستال ژرمانیم از تعداد الکترون‌های آزاد در کریستال سیلیسیم بیشتر است.

دانش‌افزایی

سحر و جادو در تجربهٔ ادیسون

ادیسون در ادامهٔ تحقیقات خود با مسئلهٔ عجیبی روبه‌رو شدکه ابتدا آن را سحر و جادو نامید. او در یکی از تجربه‌های خود طبق شکل زیر مشاهده کرد که با وجود خلأ در داخل لامپ، جریان الکتریکی در مدار خارجی برقرار است. با توجه به اینکه خلأ از نظر الکتریکی عایق است، ابتدا این مسئله غیرممکن به نظر می‌رسید.

عبور جریان از حباب خلأ

دانش‌افزایی

علت عبور جریان از حباب خلأ

ادیسون بعدها دریافت که علت برقراری جریان الکتریکی در مدار، انتشار الکترون از رشتهٔ حرارتی است. این الکترون‌ها که دارای بار منفی هستند پس از عبور از خلأ به صفحه‌ای که بار الکتریکی مثبت دارد، جذب می‌شوند و جریان الکتریکی را در مدار خارجی برقرار می‌نمایند. این پدیده را انتشار ترمویونیک (Thermoionic) یا انتشار الکترون در اثر گرما می‌نامند.

دانش‌افزایی

تعویض قطب‌های باتری

تحقیقات ادیسون ادامه یافت تا اینکه روزی تصادفی جهت قطب منبع تغذیهٔ متصل به صفحه را (طبق شکل زیر) تغییر داد و با کمال تعجب مشاهده کرد که جریانی در مدار برقرار نمی‌شود. مجدداً مدار را به حالت اول (شکل ۳) درآورد. مشاهده کرد جریان الکتریکی در مدار جاری شد، از این تجربیات نتیجه‌گیری کرد که حباب خلأ در یک جهت، جریان الکتریکی را عبور می‌دهد و در جهت دیگر جریان الکتریکی را متوقف می‌سازد. دلیل برقرار نشدن جریان الکتریکی نیروی دافعه موجود بین صفحه و الکترون‌ها است، که هر دو دارای بار منفی هستند.

تعویض قطب‌های باتری

دانش‌افزایی

نام‌گذاری حباب خلأ

پس از تجربیات فوق، ادیسون، حباب خلأ را لامپ خلأ (Vacuum Tube) نامید و نظر به اینکه در این لامپ از دو الکترود یا دو قطب استفاده شده بود. نام لامپ دیود دو قطبی (diode) را برای آن انتخاب کرد. رشتهٔ حرارتی را که الکترون پخش می‌کند کاتد (Cathode) و صفحه‌ای را که الکترون جذب می‌کند آند (Anode) می‌نامند. علامت اختصاری لامپ دیود و شکل ظاهری آن در شکل صفحهٔ بعد نشان داده شده است.

الف) علامت اختصاری

ب) شکل ظاهری لامپ

علامت اختصاری لامپ دیود و شکل ظاهری لامپ دیود

کار در کلاس:

الکترون‌ها در هر اتم روی لایه‌ها به‌صورت ..... حرکت می‌کنند و حداکثر تعداد الکترون‌های هر لایه از رابطه ..... به‌دست می‌آید.

پاسخ:

بیضی شکل ـ $2n^2$

دانش‌افزایی

کاربرد لامپ دیود و تکامل لامپ‌های خلأ:

در گذشته از لامپ‌های دیود به‌عنوان یکسوساز در تبدیل ولتاژ متناوب (AC) به ولتاژ مستقیم (DC) استفاده می‌شد. به تدریج لامپ‌های خلأ تکامل یافتند و لامپ‌های تریود (سه قطبی) Triode، تترود (چهار قطبی) Tetrode، پنتد (پنج قطبی) pentode و... ساخته شد.

که با توجه به علم روز تحول شگفت‌آوری در زمینهٔ علم الکترونیک محسوب می‌گردید. با ساخت لامپ‌های مزبور مدارهای مختلف الکترونیکی، از قبیل تقویت‌کننده و رادیو نیز شکل گرفت.

دانش‌افزایی

توماس آلوا ادیسون (Tomas Alva Edison)

از او اختراعات زیادی به‌جا مانده است. لامپ خلأ، لامپ روشنایی، نیروگاه برق، دستگاه تلفن ساده، دستگاه تلگراف ساده و... از جمله اختراعات او است. ادیسون زندگی بسیار سختی را گذرانده و با کار و تلاش توانسته است به اهداف خود برسد. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد زندگی‌نامه و فعالیت‌های این دانشمند

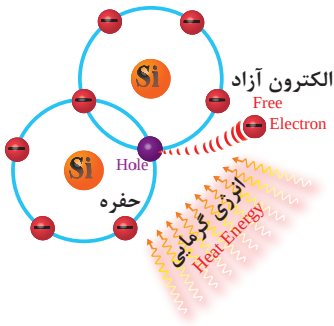
می‌توانید از طریق درج نام وی در یکی از موتورهای جستجو مانند Yahoo یا google اقدام کنید.

اولین لامپ ساخته شده توسط توماس ادیسون

دانش‌افزایی

تئوری حفره‌ها

همان‌طوری که گفته شد، در اثر انرژی خارجی (مثلاً گرما) پیوندها شکسته می‌شود و در نتیجه الکترون از اتم خود جدا می‌شود. بدین ترتیب در اتم نیمه‌هادی، کمبود الکترون حاصل می‌شود جای خالی الکترون در اتم را حفره می‌نامند. یک حفره به منزلهٔ یک بار مثبت است، زیرا می‌تواند الکترونی را که از دست داده دوباره پس بگیرد. در یک کریستال ژرمانیم یا سیلیسیم خالص، تعداد الکترون‌های آزاد و حفره‌ها با هم برابرند. الکترون‌های آزاد به‌طور نامنظم، درون کریستال در حال حرکت‌اند. شکل روبه‌رو یک الکترون آزاد و یک حفره را که بر اثر شکسته شدن پیوند، در یک کریستال نیمه‌هادی به‌وجود آمده‌اند، نشان می‌دهد.

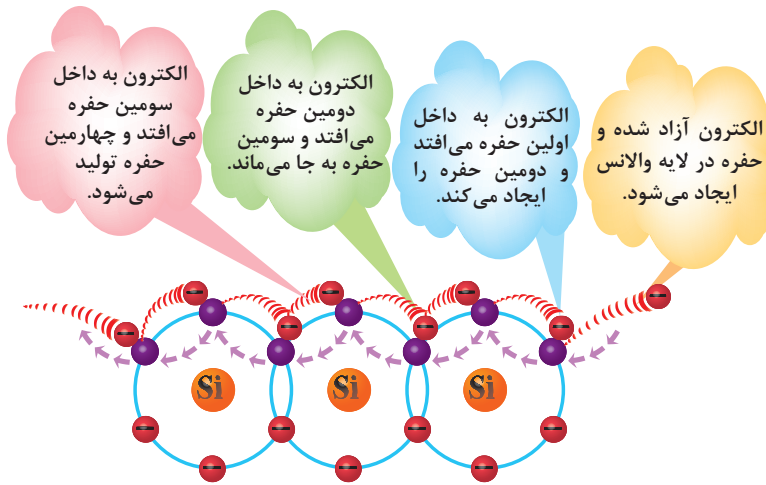


نمایش حفره و الکترون آزاد

حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها داخل کریستال نیمه‌هادی

بعد از شکستن پیوندها و ایجاد الکترون‌ها و حفره‌ها، الکترون‌ها مرتب جذب حفره‌ها می‌شوند و از حالت آزاد بودن خارج می‌گردند. بنابراین هنگامی که الکترون‌ها در داخل کریستال نیمه‌هادی حرکت می‌کنند، وقتی از کنار حفره که بار مثبت دارد می‌گذرند جذب حفره می‌شوند. در شرایط معمولی، یعنی در صورت وجود انرژی گرمایی، شکست پیوندها ادامه می‌یابد. حرکت فرضی حفره‌ها عکس جهت حرکت الکترون‌هاست.

البته حفره‌ها حرکت نمی‌کنند. و همان‌طور که گفته شد، حفره‌ها فقط جای خالی الکترون‌ها هستند. شکل زیر تصویری از جهت حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها را نشان می‌دهد.



حرکت الکترون و حرکت فرضی حفره در جهت عکس یکدیگر است.

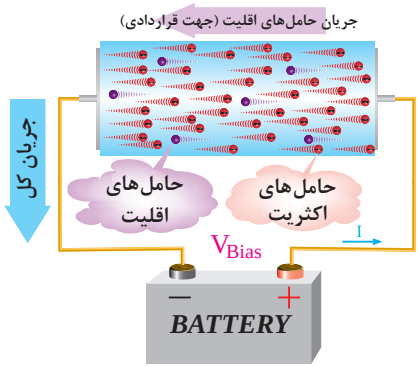
الکترون آزاد شده و حفره در لایه والانس ایجاد می‌شود الکترون به داخل اولین حفره می‌افتد و دومین حفره را ایجاد می‌کند الکترون به داخل دومین حفره می‌افتد و سومین حفره به‌جا می‌ماند الکترون به داخل سومین حفره می‌افتد و چهارمین حفره تولید می‌شود.

هنگامی که نیروی خارجی اعمال نمی‌شود حرکت الکترون‌ها و جذب شدن آنها توسّط حفره‌ها، به‌طور نامنظم در کریستال ادامه دارد.

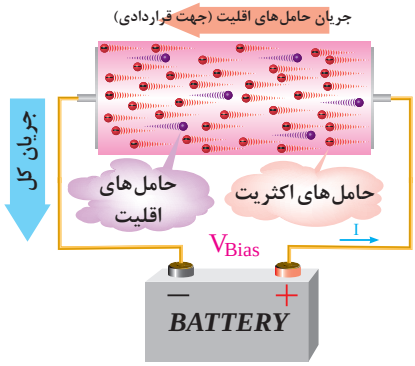
اگر کریستال‌ها به باتری اتصال داده شوند. جریان‌های ناشی از حامل‌های اقلیّت

(حفره‌ها) و حامل‌های اکثریت (الکترون‌ها) عملاً در کریستال نوع N با هم جمع می‌شوند و جریان کل را تشکیل می‌دهند. این موضوع برای کریستال نوع P نیز صدق می‌کند. (شکل روبه‌رو الف و ب)

لازم است یادآوری شود که مقدار ناخالصی بسیار کم است (حدود تقریبی یک اتم ناخالصی در مقابل ۱۰۷ اتم ژرمانیم یا سیلیسیم). باز هم به‌طور تقریب می‌توان گفت که این مقدار ناخالصی، مقاومت نیمه‌هادی را حدود ۱۶ برابر کم می‌کند اگر به ۱۰۷ اتم ژرمانیم یا سیلیسیم تعداد دو اتم ناخالصی اضافه شود، مقاومت نیمه‌هادی حدود ۱۶۰ برابر کمتر خواهد شد به عبارت دیگر، هدایت آن ۱۶۰ برابر افزایش می‌یابد.



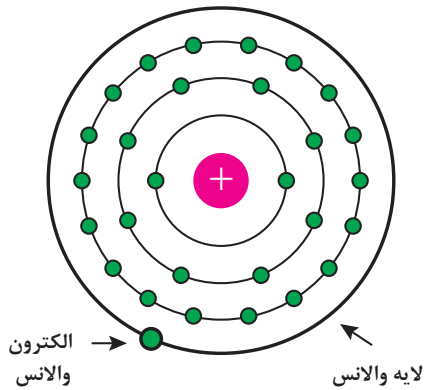
الف) جریان در کریستال نوع N



ب) جریان در کریستال نوع P

کار در کلاس:

شکل روبه‌رو را تجزیه و تحلیل کنید:



پاسخ:

الکترون لایهٔ والانس

این نیمه‌هادی، در سال ۱۸۸۶ توسط وینکلر (Winkler) کشف شد. ژرمانیم، دارای چگالی ۵/۳۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب است و در حرارت ۹۳۷/۴ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شود.

سیلیسیم، دارای عدد اتمی ۱۴ است و الکترون‌های لایه‌های آن به ترتیب عبارت‌اند: از ۲ـ۸ـ۴،

این نیمه‌هادی، در سال ۱۸۱۰ توسط گیلوساک (Gilosake) و تنارد (Tanard) کشف شد. سیلیسیم در حرارت ۱۴۱۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شود و دارای چگالی ۲/۳۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

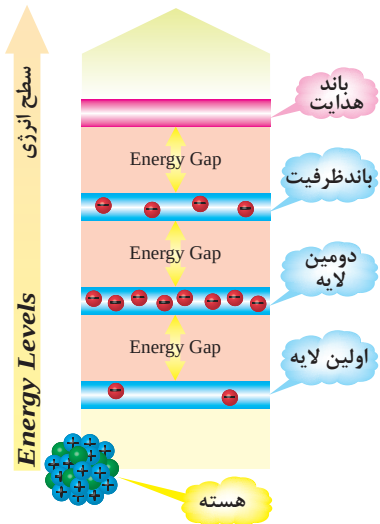
لایهٔ والانس و الکترون والانس

با توجه به مطالب فوق، اگر چه لایهٔ سوم می‌تواند تا ۱۸الکترون داشته باشد ولی هرگز قبل از اینکه لایهٔ چهارم شروع شود بیش از ۸ الکترون نمی‌پذیرد. این مطلب در مورد لایهٔ چهارم نیز، صادق است، یعنی با وجود اینکه لایهٔ چهارم می‌تواند حداکثر ۳۲ الکترون بپذیرد، اما هرگز قبل از شروع لایهٔ پنجم بیشتر از ۸ الکترون را قبول نمی‌کند. این یک قانون کلّی است.

آخرین لایهٔ هر اتم (لایهٔ خارجی) نمی‌تواند بیشتر از ۸ الکترون داشته باشد. به آخرین لایهٔ هر اتم لایهٔ والانس یا ظرفیت می‌گویند. همچنین الکترون‌های لایهٔ ظرفیت، الکترونی‌های والانس یا ظرفیت نامیده می‌شوند. این الکترون‌ها هستند که ماهیت هدایتی اجسام را شکل می‌دهند.

کار در کلاس:

با توجه به شکل روبه‌رو هدایت الکتریکی در سیلیسیم و ژرمانیم خالص چگونه است؟



پاسخ:
الکترون‌ها در باندهای انرژی تعریف شده قرار دارند و در باند هدایت هیچ الکترون آزادی وجود ندارد. این شرایط در درجه حرارت صفر مطلق رخ می‌دهد در این دما تمام الکترون‌ها شدیداً به اتم‌های کریستال متصل‌اند و هیچ‌گونه انرژی خارجی از جمله گرما وجود ندارد تا پیوندها را بشکنند و الکترون آزاد تولید کند.
هدایت ذاتی ژرمانیم از سیلیسیم بیشتر است، زیرا در یک درجه حرارت معین پهنای باند ممنوع در کریستال ژرمانیم، از سیلیسیم کمتر است.

کار در کلاس:
منظور از حامل‌های اکثریت و حامل‌های اقلیت در نیمه‌هادی نوع N چیست؟

پاسخ:
تعداد الکترون‌ها از تعداد حفره‌ها بسیار بیشتر است؛ و الکترون‌ها عمل هدایت جریان را نیز انجام می‌دهند. به الکترون‌ها حامل‌های اکثریت و به حفره‌ها حامل‌های اقلیت می‌گویند. یادآوری می‌شود که تعداد حامل‌های اکثریت، حدود یک میلیون برابر تعداد حامل‌های اقلیت است.

دانش‌افزایی

با مراجعه به منابع مختلف از جمله سایت‌های اینترنتی مواردی را بیابید به چه دلایلی نیمه‌هادی‌ها به‌جای لامپ‌های خلأ در دستگاه‌های الکترونیکی مورد استفاده قرار گرفت.

پاسخ:
با توجه به کشف نیمه‌هادی‌ها، لامپ‌های خلأ نتوانستند به مدت طولانی دوام پیدا کنند و در دستگاه‌های الکترونیکی مورد استفاده قرار گیرند، زیرا به‌تدریج قطعات نیمه‌هادی، از قبیل دیود و ترانزیستور جایگزین لامپ‌ها شدند. در نتیجه طولی نکشید که استفاده از لامپ‌ها در دستگاه‌های الکترونیکی معمولی کنار گذاشته شد. در عین حال به دلیل خاصیت‌های ویژه‌ای که لامپ‌های خلأ در قدرت‌های بالا و فرکانس بالا دارند کاملاً از رده خارج نشدند امروزه از لامپ‌های خلأ در اسیلوسکوپ، لامپ تصویر تلویزیون، رادار، صفحهٔ نمایش کامپیوتر، دستگاه مولد

اشعهٔ x، طبقات خروجی فرستنده‌های پر قدرت و سیستم‌های مایکروویو استفاده می‌شود.

کار در کلاس:
منظور از حامل‌های اکثریت و حامل‌های اقلیت در نیمه‌هادی نوع P چیست؟

پاسخ:
تعداد حفره‌ها از تعداد الکترون‌ها بیشتر است. به حفره‌ها حامل‌های اکثریت و به الکترون‌ها حامل‌های اقلیت گویند.

تحقیق کنید:
دلایل استفادهٔ بیشتر از نیمه‌هادی سیلیسیم در مقایسه با ژرمانیم را بیان کنید.

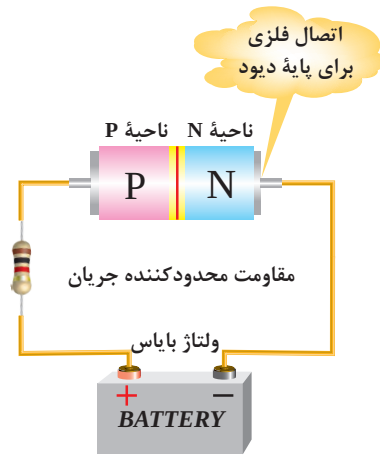
پاسخ:
در حال حاضر در کلیهٔ موارد، به جز چند مورد خاص (مثلاً در دیودهای آشکارساز)، از نیمه‌هادی سیلیسیم استفاده می‌شود، زیرا: سیلیسیم به مقدار زیاد و به‌صورت سیلیس (SiO_2) در طبیعت یافت می‌شود. خالص کردن سیلیسیم به مراتب ساده‌تر از ژرمانیم است.
تکنولوژی ساخت دیود، ترانزیستور و مدارات مجتمع (IC) با سیلیسیم ساده‌تر است.
تحمل درجهٔ حرارت سیلیسیم از ژرمانیم بیشتر است.
باند ممنوعهٔ سیلیسیم پهن‌تر است، لذا جریان ناشی از هدایت ذاتی سیلیسیم کمتر است.
چگالی جریان Si از Ge بیشتر است، چگالی جریان برای سیلیسیم در حدود ۲۰۰ آمپر بر میلی‌متر مربع و برای ژرمانیم در حدود ۱۵۰ آمپر بر میلی‌مترمربع است.
امروزه تقریباً بیش از ۹۰ درصد قطعات نیمه‌هادی، از سیلیسیم ساخته می‌شود.

کار در کلاس:
مقدار پتانسیل سد برای دیودهای سیلیسیمی و برای دیودهای ژرمانیمی حدود چند ولت است.

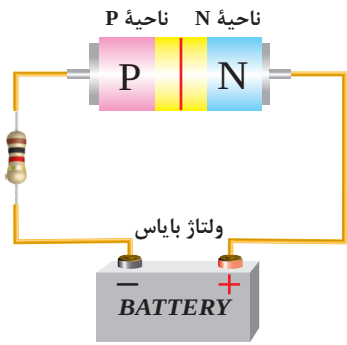
پاسخ:
برای سیلیسیمی ۰/۷ ولت و برای ژرمانیم ۰/۲ است.

کار در کلاس:

با توجه به لایه سد که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ می‌بینید رفتار دیود در بایاس مستقیم و بایاس معکوس را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید و نتیجه را به کلاس ارائه کنید.



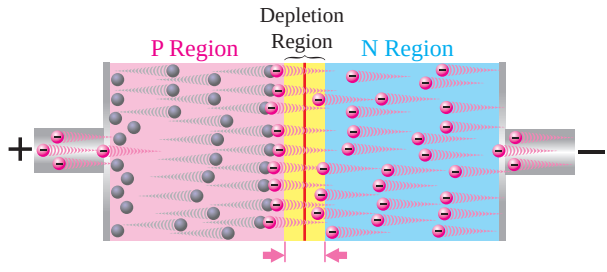
شکل ۱۰ــ پیوند PN در بایاس موافق



شکل ۱۱ــ پیوند PN در بایاس مخالف

پاسخ:

رفتار دیود در بایاس مستقیم (بایاس موافق ـ گرایش مستقیم): شکل زیر اتصال یک دیود PN را به ولتاژ باتری در بایاس مستقیم نشان می‌دهد.



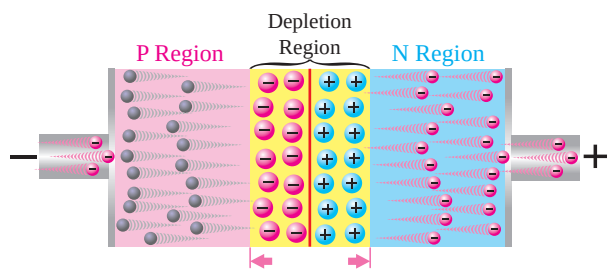
رفتار دیود در بایاس مستقیم

اگر در این بایاس، ولتاژ باتری بیشتر از پتانسیل سد باشد، میدان الکتریکی ناشی از ولتاژ باتری، میدان الکتریکی پتانسیل سد دیود را خنثی می‌کند (زیرا جهت میدان باتری، عکس میدان پتانسیل سد است). لذا منطقهٔ تخلیه و پتانسیل سد از بین می‌رود به عبارت دیگر لایهٔ سد، در اثر میدان الکتریکی ولتاژ باتری می‌شکند. در نتیجه، الکترون‌های آزاد واقع در نیمه‌هادی نوع N، توسط بار الکتریکی منفی باتری، به سمت محل پیوند رانده می‌شوند و از محل پیوند عبور می‌کنند و بعد از عبور از نیمه‌هادی نوع P، جذب پتانسیل مثبت باتری می‌گردند. در همین حال، حفره‌ها که در اثر ولتاژ مثبت باتری به سمت محل پیوند رانده شده‌اند وارد نیمه‌هادی نوع N می‌گردند و جذب قطب منفی باتری می‌شوند. به این ترتیب، الکترون‌ها از قطب منفی خارج می‌شوند و وارد قطب مثبت می‌گردند. یعنی در مدار، جریان برقرار می‌شود. به این نکته توجه داشته باشیم که، وقتی الکترون‌ها از محل پیوند عبور می‌کنند وارد نیمه‌هادی نوع P می‌شوند و مرتباً با حفره‌ها ترکیب می‌گردند. پیوندهای تشکیل شده، به سبب میدان خارجی مرتباً شکسته می‌شود و الکترون آزاد می‌کند. الکترون آزاد شده با حفره مجاور ترکیب می‌شود، به این ترتیب با ترکیب‌های زیاد و شکسته شدن‌های مجدد پیوندها، الکترون‌ها از نیمه‌هادی نوع P عبور می‌کنند و جذب قطب مثبت باتری می‌گردند. بنابراین الکترون‌ها از طریق حفره‌ها به قطب مثبت می‌رسند. همان‌طور که حفره‌ها نیز عکس جهت حرکت الکترون‌ها، حرکت می‌کنند و جذب قطب منفی می‌شوند.

اگر نیمه‌هادی نوع P به قطب مثبت باتری و نیمه‌هادی نوع N به قطب منفی آن وصل شود و ولتاژ باتری از پتانسیل سد دیود بیشتر باشد، در مدار، جریان برقرار خواهد شد.

رفتار دیود در بایاس معکوس (مخالف)

شکل زیر اتصّال بایاس معکوس یک دیود را نشان می‌دهد.



بایاس معکوس (مخالف)

الکترون‌های آزاد واقع در نیمه‌هادی نوع N، به سبب پتانسیل مثبت باتری، به سمت راست و حفره‌ها نیز به دلیل پتانسیل منفی باتری، به سمت چپ کشیده می‌شوند. در این حالت، عرض ناحیهٔ تخلیه زیادتر می‌گردد و ولتاژ باتری، پتانسیل سد را تشدید می‌کند. لذا، به دلیل افزایش پتانسیل سد و تهی‌تر شدن ناحیهٔ تخلیه از الکترون‌ها و حفره‌ها، جریانی در مدار برقرار نخواهد شد.

اگر قطب مثبت باتری به نیمه‌هادی نوع N و قطب منفی باتری به نیمه‌هادی نوع P وصل شود، جریانی در مدار نخواهیم داشت. به عبارت دیگر، در بایاس معکوس جریانی در مدار برقرار نمی‌شود.

دانش‌افزایی

رفتار دیود در در بایاس مستقیم و بایاس معکوس در مدارهای الکتریکی چه کاربردی می‌تواند داشته باشد؟

پاسخ:

در بایاس مستقیم جریان در مدار جریان برقرار می‌شود و در بایاس معکوس در مدار جریان برقرار نمی‌شود.

تحقیق کنید:

آیا از نظر شکل ظاهری انواع دیگری از دیودها را می‌شناسید؟ نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

پاسخ:

دیود یکسوکنندهٔ معمولی Rectifiers Diods :

این نوع دیود برای یکسوسازی یا یک‌طرفه کردن ولتاژهای متناوب (معمولاً سینوسی) به‌کار می‌رود و با جریان متوسط I_F حدود ۵۰mA تا ۱۰۰۰ آمپر ساخته می‌شود. دیودهای یکسوکنندهٔ معمولی در محدوده فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز کار می‌کنند. لذا برای یکسوسازی فرکانس‌های بالاتر باید از دیودهای سریع استفاده شود.

قطعات نصب سطحی دیود Surface Mount Device (SMD)

قطعات نصب سطحی را SMD می‌نامند. شکل زیر دیودهای نصب سطحی را نشان می‌دهد. دیود نصب سطحی، روی سطح مس فیبر مدار چاپی نصب می‌شوند. این

دیودها معمولاً برای عبور از سوراخ مدار چاپی پایهٔ مستقل ندارند و مستقیماً روی سطح مس مدار چاپی لحیم می‌شوند.

چند نمونه دیود نصب سطحی

کار در کلاس:

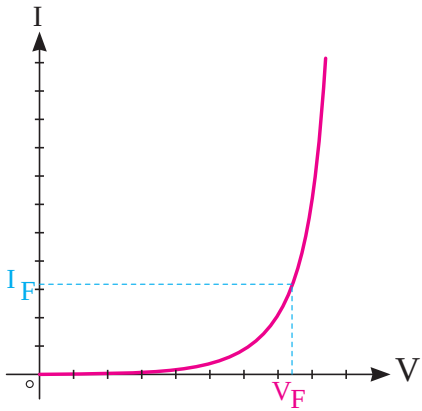
دیود در حالت ایده‌آل را بررسی کنید.

پاسخ:

یک دیود در حالت ایده‌آل مانند کلیدی است که در بایاس مستقیم به‌صورت کلید بسته و در بایاس معکوس به‌صورت کلید باز عمل می‌کند.

کار در کلاس:

برای مشخصهٔ شکل زیر مقاومت استاتیکی DC را در جریان‌های ۲۰mA، ۲mA، ۲μA- به‌دست آورید.



پاسخ:

$I_f = ۲۰\ mA \longrightarrow V_f = ۰/۸\ v$

$$r_{dc} = \frac{V_f}{I_f} = \frac{۰/۸\ v}{۲۰\ mA} = ۴۰\ \Omega$$

$I_f = ۲\ mA \longrightarrow V_f = ۰/۵\ v$

$$r_{dc} = \frac{V_f}{I_f} = \frac{۰/۵\ v}{۲\ mA} = ۲۵۰\ \Omega$$

$I_f = -۲\ \mu A \longrightarrow V_f = -۱۰\ v$

$$r_{dc} = \frac{V_f}{I_f} = \frac{-۱۰\ v}{-۲\mu A} = ۵\ M\Omega$$

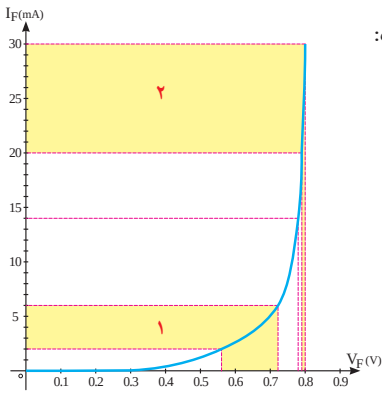
کار در کلاس:

برای مشخصهٔ شکل روبه‌رو مطلوب است:

الف) مقاومت AC برای ناحیهٔ ۱

ب) مقاومت AC برای ناحیهٔ ۲

ج) مقایسه مقاومت نواحی ۱ و ۲



پاسخ:

الف) برای ناحیه ۱

$\Delta V_F = ۰/۷۲ - ۰/۵۷ = ۰/۱۵\ v$

$\Delta I_F = ۶ - ۲ = ۴\ mA$

$$r_{ac_۱} = \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f} = \frac{۰/۱۵}{۴} = ۳۷/۵\ \Omega$$

ب) برای ناحیهٔ ۲

$\Delta V_F = ۰/۸ - ۰/۷۸ = ۰/۰۲\ v$

$\Delta I_F = ۳۰ - ۲۰ = ۱۰\ mA$

$$r_{ac_۲} = \frac{\Delta V_f}{\Delta I_f} = \frac{۰/۰۲}{۱۰} = ۲\ \Omega$$

ج) مقایسهٔ مقاومت دینامیکی نواحی ۱ و ۲

$$\text{نسبت مقاومت‌ها} = \frac{۳۷/۵}{۲} \cong ۱۹$$

تحقیق کنید:

با جست‌وجو در اینترنت مقادیر حد در دیودها را تحقیق کرده و نتیجه را به‌طور پرده‌نگار نمایش دهید.

پاسخ:

الف) مشخصه‌های جریان

مشخصه‌های جریان، مقادیری از جریان هستند که در بایاس موافق از دیود عبور می‌کنند. کارخانهٔ سازنده حداکثر مقدار مجاز آنها را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. اگر مقادیری که از دیود عبور می‌کند از مقادیر اعلام شده توسط کارخانهٔ سازنده بیشتر باشد، دیود آسیب می‌بیند. مهم‌ترین مشخصه‌های جریان عبارت‌اند از:

ماکزیمم جریان مستقیم یا متوسط دیود: مقدار ماکزیمم جریان عبوری مستقیم، عبارت است از مقدار جریان dc یا متوسط که مُجاز هستیم از دیود عبور دهیم. درصورتی‌که بر اثر عبور این جریان، حرارت ایجاد شده در اتصّال PN، در هوای آزاد به خوبی نتواند دفع شود باید دیود را روی گرماگیر نصب نمود. لازم است یادآوری کنیم که اگر قرار باشد دیود روی گرماگیر نصب شود، کارخانهٔ سازنده مشخص می‌کند.

ماکزیمم جریان تکراری (FRM): ماکزیمم جریان تکراری، عبارت است از حداکثر دامنهٔ جریانی که به‌صورت تکرار سیکل‌ها در دیود جاری می‌گردد.

ماکزیمم جریان لحظه‌ای (FRM): عبارت است از حداکثر جریانی غیرتکراری که دیود می‌تواند در لحظه‌ای بسیار کوتاه (حدود چند میکرو ثانیه یا میلی ثانیه) تحمّل کند اگر این جریان چند بار پشت سر هم به دیود اعمال شود، دیود ممکن است بسوزد.

ب) مشخصه‌های ولتاژ

مشخصه‌های ولتاژ مقادیری از انواع ولتاژها هستند که در بایاس معکوس دیود مطرح می‌شوند. کارخانه‌های سازنده حداکثر مقدار مجاز این ولتاژها را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهند. اگر مقادیری که به دیود اعمال می‌شود از مقادیر اعلام شده توسط کارخانهٔ سازنده بیشتر باشد، احتمال آسیب دیدن دیود زیاد است. مهم‌ترین مشخصه‌های ولتاژ عبارت‌اند از:

ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز V_R: ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز، عبارت است از حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس، دو سر دیود قرار می‌گیرد. این ولتاژ می‌تواند جمع ولتاژهای لحظه‌ای و ثابت یا ماکزیمم دامنهٔ سیکل‌های تکراری باشد. معمولاً کارخانجات سازنده، حداکثر ولتاژ معکوس مجاز که در دو سر دیود قرار می‌گیرد

را برای ولتاژهای ثابت و ولتاژهای متناوب به‌طور جداگانه در اختیار می‌گذارند و علامت V_R را برای ولتاژهای ثابت و علامت V_{RM} را برای ولتاژهای متناوب به‌کار می‌برند.

ماکزیمم ولتاژ معکوس غیرتکراری V_{RSM}: حداکثر ولتاژی است که دیود می‌تواند به‌صورت غیرتکراری در بایاس معکوس تحمل کند و در صورت تکرار، دیود آسیب می‌بیند.

تحقیق کنید:

منظور از کتاب اطلاعات Data Book و برگهٔ اطلاعات Data Sheet چیست؟

پاسخ:

همان‌طور که اشاره شد کلیهٔ قطعات از جمله قطعات نیمه‌هادی مانند دیودها دارای مقادیر حد مجاز هستند. برای مثال، ولتاژ معکوس بیشینهٔ دو سر دیود از مقادیری است که باید توسط کارخانهٔ سازنده مشخص شود. موارد دیگری از قبیل جریان متوسط بیشینه (ماکزیمم)، جریان اشباع معکوس و... نیز وجود دارد که باید توسط کارخانهٔ سازنده ارائه گردد. این مقادیر معمولاً در کتاب اطلاعات (Data Book) یا در برگهٔ اطلاعات Data Sheet درج می‌شود. کتاب و برگهٔ اطلاعات معمولاً در دسترس مصرف‌کننده و طراح قرار می‌گیرد. همچنین افراد می‌توانند از طریق سایت‌های اینترنتی مانند All Data sheet.com به این اطلاعات دست یابند. برگه‌های اطلاعاتی به‌صورت‌های مختلف عرضه می‌شوند که تعدادی از آن به شرح زیر است.

دستهٔ اول: آن بخش از برگه‌های اطلاعاتی که در این گروه قرار دارند معمولاً دارای مشخصات عمده و کاربردی قطعات هستند. معمولاً قطعات براساس شماره و الفبا تقسیم‌بندی می‌شوند و در هر صفحه تعدادی قطعه جای می‌گیرد. این مجموعه در کتابی به نام کتاب اطلاعات Data Bookثبت می‌شود. از نمونهٔ کتاب‌های اطلاعات می‌توان کتاب Towers International را نام برد که در آن مشخصات عمومی متجاوز از بیست هزار قطعهٔ نیمه‌هادی قرار دارد. از کتاب اطلاعات Data Book برای پیدا کردن قطعات جایگزین استفاده می‌کنند.

دستهٔ دوم: در این دسته معمولاً اطلاعات بیشتری از قطعات در یک یا دو صفحه عرضه می‌شود. شکل ظاهری، مشخصات مهم، مقادیر مجاز ویژگی‌های حرارتی، نمودارها و... از جمله اطلاعاتی است که در برگه‌ای اطلاعاتی Data Sheet درج می‌شود. با استفاده از این برگه‌های اطلاعات می‌توان انتخاب قطعه و طراحی‌های اولیه را انجام داد.

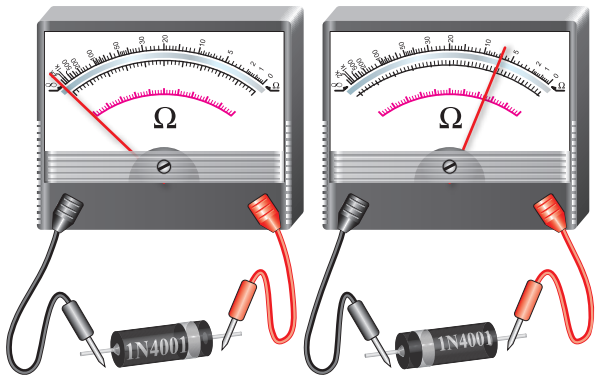
دستهٔ سوم: در این گروه اطلاعات کامل‌تری از قطعه را در اختیار می‌گذارند و

مدارهای کاربردی و عملی آن را نیز ارائه می‌نمایند. منحنی‌های تغییرات جریان در اثر حرارت، فرکانس و... نیز از جمله مواردی است که در برگه‌های اطلاعات Data Sheets می‌آید.
غالباً در کتاب‌های اطلاعات Data Books نحوهٔ شماره‌گذاری قطعات مشخص می‌شود.

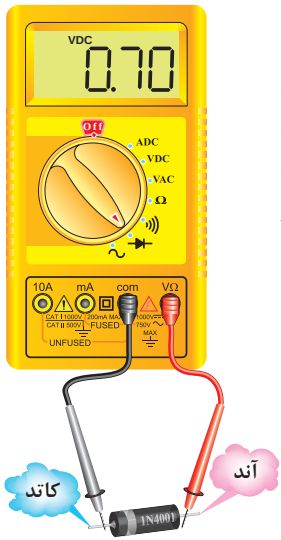
دانش‌افزایی

تشخیص پایه‌ها و سالم بودن دیود با مولتی‌متر

استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای: سالم بودن یک دیود را به راحتی می‌توان با یک اهم‌متر قطبی مشخّص کرد. اهم‌متر قطبی، اهم‌متری است که ترمینال‌های + و - آن از داخل به ترتیب به قطب‌های مثبت و منفی باتری داخلی اهم‌متر متصل است. یعنی ترمینال‌های مشخص شده روی اهم‌متر همان قطب‌های باتری داخلی است. دیود را به ترمینال‌های اهم‌متر قطبی، وصل می‌کنیم (سلکتور اهم‌متر روی R×۱۰۰ باشد) اگر عقربه حرکت کرد و اهم کمی را نشان داد، اتصّال دیود را معکوس می‌کنیم. این بار، عقربه نباید حرکت کند. یعنی باید مقاومت بی‌نهایت را نشان دهد. پس هدایت دیود از یک جهت و هدایت نکردن آن در جهت دیگر، دلیل بر سالم بودن آن است. اکنون برای شناسایی پایه‌های آن، حالتی را که اهم‌متر اهم کمی را نشان می‌دهد، در نظر می‌گیریم. پایه‌ای که به قطب مثبت اهم‌متر قطبی وصل شده است آند و پایه دیگر کاتد خواهد بود. درصورتی‌که مقاومت دیود از هر دو طرف کم باشد، مفهوم آن این است که دو سر دیود از داخل به هم وصل شده است و برعکس، اگر مقاومت دیود از هر دو طرف بی‌نهایت باشد دیود از داخل قطع شده است. شکل زیر طرز آزمایش دیود را نشان می‌دهد.

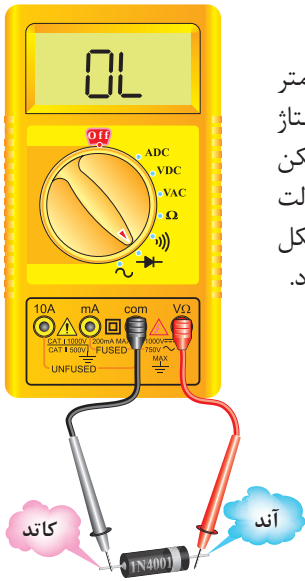


نحوهٔ آزمایش سالم بودن دیود



آزمایش دیود در ولتاژ موافق

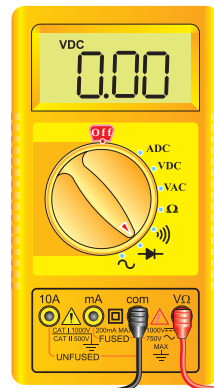
استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی: اغلب مولتی‌مترهای دیجیتالی دارای وضعیت تست دیود هستند. هرگاه کلید سلکتور مولتی‌متر دیجیتالی را در وضعیت تست دیود قرار دهیم و دیود را به گونه‌ای به مولتی‌متر وصل کنیم که مولتی‌متر دیجیتالی دیود را در بایاس موافق قرار دهد، مولتی‌متر ولتاژ بایاس دو سر دیود را نشان می‌دهد. این ولتاژ برای دیودهای سیلیسیومی حدود ۰/۷ ولت و برای دیودهایی از جنس ژرمانیم حدود ۰/۲ ولت است. شکل روبه‌رو این حالت را نشان می‌دهد.



آزمایش دیود در ولتاژ مخالف

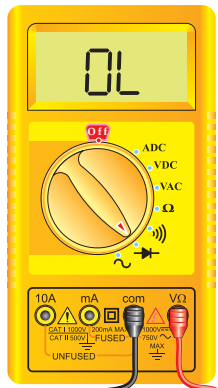
اگر دیود در بایاس مخالف قرار گیرد، مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف دو سر دیود را که همان ولتاژ داخلی دستگاه است، نشان می‌دهد. این ولتاژ ممکن است با توجه به نوع مولتی‌متر بین ۱/۵ تا ۳ ولت باشد. در برخی مولتی‌مترها علامتی مطابق شکل زیر روی صفحه نمایشگر مولتی‌متر ظاهر می‌شود.

درصورتی‌که سیم منفی سیم مشترک یا com مولتی‌متر به کاتد و سیم مثبت آن به آند دیود معیوب وصل شود اگر دیود قطع باشد علامت OL و اگر دیود اتصال کوتاه باشد عدد ۰ یا علامت دیگری را نشان می‌دهد آرامش، رعایت نکات ایمنی، توجه به اهداف تعیین شده و اجرای دقیق مراحل کار، از مواردی است که منجر به موفقیت شما در رسیدن به شغل ایده‌آل می‌شود.



اگر دیود اتصال کوتاه باشد در ولتاژ موافق یا مخالف صفر را نشان می‌دهد.

دیود معیوب اتصال کوتاه شده است



اگر دیود قطع باشد در هر دو حالت علامت **OL** به معنی **Open Loop** یا **Open Load** را نشان می‌دهد.

دیود قطع

کار در کلاس:

با توجه به شکل زیر جریان کل و جریان هر دیود و V_O را محاسبه کنید. هر دو دیود از جنس سیلیسیم و ولتاژ وصل آنها ۰/۷ ولت است.

پاسخ:

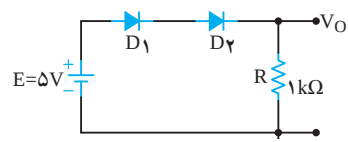
$-E + ۰/۷ + RI = ۰$

$-۵ + ۰/۷ + ۱\times۱۰^{۳}\times I = ۰$

$I = ۴/۳\ mA$

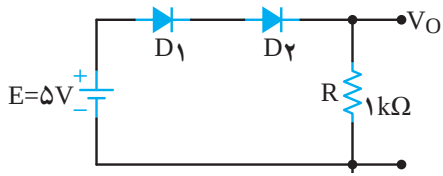
$V_O = RI = ۱\times۱۰^{۳}\times۴/۳ = ۴/۳\ mV$

$I = I_{D۱} = I_{D۲} = ۴/۳\ mA$



فعالیت:

با توجه به شکل زیر I_{D_1}، I_{D_2} و V_O را محاسبه کنید. هر دو دیود از جنس ژرمانیم و ولتاژ وصل آنها ۰/۲ ولت است. دیودها کاملاً مشابه هستند.



پاسخ:

$-E + ۰/۲ + RI = ۰$

$-۵ + ۰/۲ + ۱\times۱۰^{۳}\times I = ۰$

$I = ۴/۸\ mA$

$V_O = RI = ۱\times۱۰^{۳}\times۴/۸ = ۴/۸\ mV$

$I = I_{D_1} = I_{D_2} = ۴/۸\ mA$

تحقیق کنید:

با مراجعه به فضای مجازی درباره زندگی‌نامه zener تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

پاسخ:

زنر نام شخصی است که اوّلین بار در سال ۱۹۳۳ این پدیده را کشف کرد. پدیدهٔ زنر در جهت معکوس، و با ولتاژ زیادی که عملاً در ناحیهٔ تخلیه قرار می‌گیرد رخ می‌دهد زیرا E بسیار قوی در این ناحیه به وجود می‌آید. این میدان قوی، قادر خواهد بود که پیوندهای سد را بشکند. در نتیجهٔ شکسته شدن سد، الکترون آزاد و حفره ایجاد می‌شود. الکترون‌های آزاد بر اثر این میدان قوی، سرعت می‌گیرند و می‌توانند با برخورد به اتم‌های دیگر، الکترون‌های دیگری را نیز آزاد کنند. به این طریق، در اثر این پدیدهٔ زنجیری، تعداد زیادی از پیوندها شکسته می‌شود و در دیود جریان جاری می‌گردد. این پدیده شبیه جریان اشباع معکوس است، با این تفاوت که تعداد پیوندهای شکسته شده، بر اثر گرما نبوده، بلکه به سبب میدان قوی‌ای است که در دو سر آن قرار می‌گیرد.

این پدیده را شکست بهمنی می‌نامند. در دیودهای زنر، با تنظیم ناخالصی، می‌توان شکسته شدن پیوندها را با میدان‌های مختلف (در نتیجه ولتاژهای مختلف) کنترل کرد. بنابراین با این روش می‌توان دیودهایی ساخت که به ازای یک ولتاژ معین در بایاس معکوس، جریان در مدار برقرار کنند.

ولتاژی که دیود زنر، به ازای آن در بایاس معکوس، هادی می‌شود به ولتاژ زنر معروف است.

آقای دکتر کلارنس ملوین زِنِر

Clarence Melvin Zener دکترای فیزیک، استاد دانشگاه متولد ۱۹۰۵، مخترع خاصیت شکست زنر و دیود زِنر است. او در سن ۸۷ سالگی در سال ۱۹۹۳ رخت از دنیا بربست.

تحقیق کنید:

با مراجعه به فضای مجازی از جمله سایت rosd.ir مقادیر استاندارد و ضریب حرارتی دیودهای زنر را بیابید و به کلاس ارائه دهید.

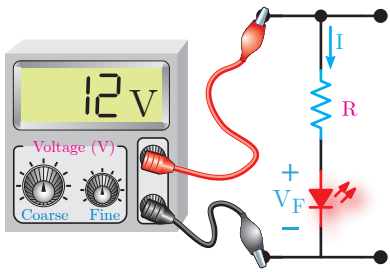
پاسخ:

ضریب حرارتی دیود زنر: مقدار ولتاژ دیود زنر در اثر گرما تغییر می‌کند. کارخانه‌های سازنده برای هر دیود زنر ضریبی می‌دهند که آن را ضریب حرارتی دیود می‌نامند و با TC نشان می‌دهند. این ضریب مقدار تغییر ولتاژ زنر را به ازای تغییر یک درجه سانتی‌گراد تعیین می‌کند.

استاندارد ولتاژهای زنر: ولتاژ دیودهای زنر را معمولاً در دو استاندارد E۱۲ و E۲۴ می‌سازند با این توضیح که سری E۲۴ رایج‌تر است. معمولاً ساخت ولتاژ زنر از ۲/۴ ولت شروع می‌شود و تا ولتاژ ۲۰۰ ولت ادامه می‌یابد. مقدار ولتاژ زنر سری‌های فوق، مانند استاندارد مقاومت‌هاست. سری E۱۲ را با تلرانس ۱۰ درصد و سری E۲۴ را با تلرانس ۵ درصد می‌سازند. معمولاً مقدار تلرانس را روی بدنهٔ دیود زنر می‌نویسند. برای تلرانس ۵ درصد از حرف C و برای تلرانس ۱۰ درصد از حرف D استفاده می‌کنند. مثلاً ولتاژ دیود زنر ۳/۹ «BZX ۳۲/C۳ V۹» ولت و تلرانس آن (C) ۵ درصد است. در نام‌گذاری دیود، علامت V به‌جای ممیز به‌کار می‌رود.

کار در کلاس:

در شکل زیر درصورتی‌که ولتاژ تغذیه E=۱۲ ولت باید، مقدار R را طوری محاسبه کنید که LED نور مناسب داشته باشد.



پاسخ:

$-E + RI + V_F = ۰$

$-۱۲ + R \times ۱۰ \times ۱۰^{-۳} + ۳ = ۰$

$R = ۹۰۰\ \Omega$

تحقیق کنید:

نور تولیدی در LED به چه عواملی بستگی دارد.

پاسخ:

نور تولیدی به جنس به‌کار برده شدهٔ نیمه‌هادی بستگی دارد و معمولاً به رنگ مادون قرمز (نامرئی)، قرمز، نارنجی، سبز و زرد (مرئی) ساخته می‌شود.

کار در کلاس:

برتری‌های LED بر لامپ معمولی را بررسی کنید.

پاسخ:

با ورود LED به دنیای الکترونیک، ابتدا تصور می‌شد که این قطعات صرفاً می‌توانند به‌جای لامپ‌های کوچک جایگزین شوند ولی به مرور زمان دریافتند که این قطعه می‌تواند کارایی‌های بسیار زیادتری را داشته باشد. پاره‌ای از مزایای LED نسبت به لامپ‌های معمولی به شرح زیر است.

۱ کوچک بودن و نیاز به فضای کم داشتن

۲ محکم بودن و داشتن عمر طولانی (حدود صد هزار ساعت کار).

۳ قطع و وصل سریع نور.

۴ تلفات حرارتی کم.

۵ ولتاژ کار کم، بین ۱/۷ تا ۳/۳ ولت.

۶ جریان کم، حدود چند میلی‌آمپر با نور قابل رؤیت.

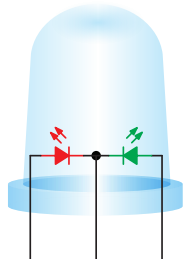
۷ توان کم، حدود ۱۰ تا ۱۵۰ میلی‌وات.

دانش‌افزایی

LEDهای دورنگ

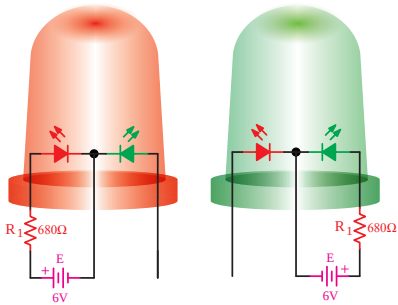
ساختار این نوع LEDها معمولاً ترکیبی از دو LED مجزا به رنگ‌های سبز و قرمز است که در داخل قطعه معمولی جاسازی شده است. LEDهای دورنگ دارای

سه‌پایه هستند که یکی از پایه‌ها مشترک و دو پایه دیگر هر کدام مربوط به LED های قرمز و سبز است.



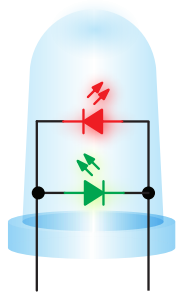
LED دورنگ

نحوه روشن کردن LED سبز و قرمز را در شکل روبه‌رو مشاهده می‌کنید.



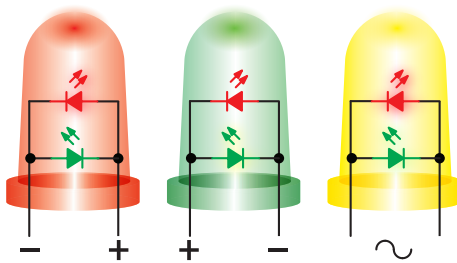
نحوه اتصال ولتاژ به LEDها

نوع دیگری از LED نیز وجود دارد که دو پایه هستند و سه رنگ مختلف تولید می‌کنند.



ساختمان داخلی LED دو پایه سه رنگ

نحوهٔ تولید رنگ‌های قرمز، سبز و زرد را مشاهده می‌کنید.



نحوهٔ روشن شدن LED به رنگ‌های قرمز، سبز و زرد

یک نمونه LED با نور فوق‌العاده زیاد

LEDهای با نور فوق‌العاده زیاد: نوع دیگری از LED به نام Ultra Bright LED ساخته شده است که میزان نوردهی آن فوق‌العاده زیاد است و ده‌ها برابر یک LED معمولی نور تولید می‌کند. این LEDها در رنگ‌های آبی، سبز، قرمز و سفید در بازار یافت می‌شود.

سایر کاربردها: استفاده از LEDهای پر نور امروزه در سطح بسیار گسترده‌ای توسعه یافته است. استفاده از ریسه‌های LED، ترمز اتومبیل، تابلوی روان و نور تزئینی، تعدادی از موارد کاربرد LEDهای پر نور است. آرایه‌های LED پر نور سفید به‌تدریج جایگزین لامپ‌های فلورسنت می‌شوند، زیرا این نوع LEDها به‌راحتی در هوای بد نورافشانی می‌کنند و عمر آنها ۱۰۰ برابر بیشتر است. LEDهای پر نور سفید و رنگی به خانه‌ها، مغازه‌ها و مراکز تجاری نیز وارد شده‌اند و در آیندهٔ نه چندان دور جای لامپ‌های کنونی را خواهند گرفت. همچنین این نوع LEDها وارد صنایع اتومبیل‌سازی نیز شده‌اند. به زودی شاهد این مسئله خواهیم بود که در چراغ‌های جلوی خودروها LEDهای پر نور استفاده شود. توجه داشته باشید که از ترکیب مقادیر مشخصی نور قرمز، سبز و آبی، به آسانی می‌توانید نور سفید تولید کنید.

تحقیق کنید:

با مراجعه به اینترنت در مورد انواع LEDها تحقیق کرده و نتیجه را به‌صورت پرده‌نگار در کلاس ارائه نمایید.

پاسخ:

LEDهای ارگانیکی Organic LED OLED

کلمهٔ ارگانیک به معنی سازگار بودن با محیط و بدن انسان است. LEDهای ارگانیک از دو یا سه لایه مواد ارگانیک پلیمری ساخته شده‌اند که در اثر اعمال ولتاژ می‌توانند نور تولید کنند. LEDهای ارگانیک نور را به‌صورت الکترو فسفر سانس (مشابه لامپ‌های فلورسنت) تولید می‌کنند.

LEDهای دورنگ

ساختار این نوع LEDها معمولاً ترکیبی از دو LED مجزا به رنگ‌های سبز و

قرمز است که در داخل قطعه معمولی جاسازی شده است. LEDهای دو رنگ دارای سه پایه هستند که یکی از پایه‌ها مشترک و دو پایه دیگر هر کدام مربوط به LEDهای قرمز و سبز است.

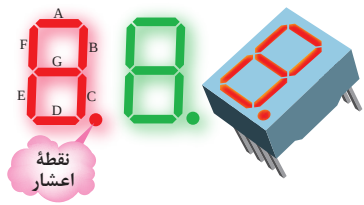
LEDهای با نور فوق‌العاده زیاد

نوع دیگری از LED به نام Ultra Bright LED ساخته شده است که میزان نوردهی آن فوق‌العاده زیاد است و ده‌ها برابر یک LED معمولی نور تولید می‌کند. این LEDها در رنگ‌های آبی، سبز، قرمز و سفید در بازار یافت می‌شود.

دانش‌افزایی

نمایشگرها

نمایشگر هفت قطعه‌ای 7Segment: اگر هفت قطعه LED را به فرم خاص کنار هم قرار دهند، به شکل عدد انگلیسی در می‌آید که به‌وسیلهٔ آن می‌توان اعداد از ۰ تا ۹ انگلیسی و نیز برخی حروف نظیر A، B، C، D، E و F را نمایش داد. شکل ظاهری نمایشگر ۷ قطعه‌ای با نقطهٔ اعشار را در شکل زیر مشاهده می‌کنید.

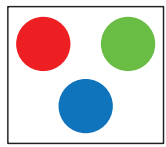


نمایشگر هفت قطعه‌ای

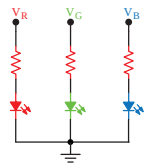
نمایشگر قطعه‌ای به دو صورت آند مشترک Common Anode و کاتد مشترک Common Cathode ساخته می‌شوند.

نمایشگرهای ترکیبی LED: امروزه LEDها به‌طور گسترده برای نمایش پیام‌ها، علائم بزرگ و کوچک در فضاهای داخلی و خارجی حتی به‌عنوان تلویزیون صفحه بزرگ به‌کار می‌رود. نمایش سیگنال‌ها می‌تواند به‌صورت چند رنگ یا تمام رنگی باشد. در نمایشگرهای تمام رنگی از گروه‌های LED فشرده با نور زیاد که تشکیل نقطهٔ نورانی رنگی را می‌دهند استفاده می‌شود. این نقاط رنگی را پیکسل Pixel می‌گویند. پیکسل‌ها از سه رنگ قرمز R Red سبز G Green و آبی B Blue شکل می‌گیرند که اصطلاحاً آن را RGB می‌نامند. به عبارت دیگر RGB می‌تواند سه رنگ قرمز، سبز و آبی را تولید کند. از ترکیب این سه رنگ طیف رنگی نورهای مختلف به وجود می‌آید. نمونه‌ای از LEDهای سه گانه RGB را

در شکل زیر مشاهده می‌کنید. در LEDهای، RGB میزان شدت نور، رنگ نور و طیف نور به جریان‌های موافقی بستگی دارد که از هر یک از LEDهای قرمز R سبز G و آبی B می‌گذرد. از ترکیب پیکسل‌های (سلول‌های تصویر LED) سه رنگ RGB صفحه نمایش‌های بزرگ شکل می‌گیرد. پیکسل‌های LED را که در صفحهٔ نمایش‌های بزرگ به‌کار می‌رود.

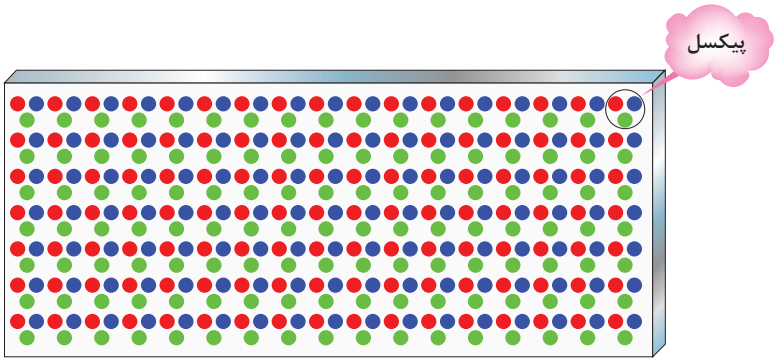


اساس کار پیکسل (Pixel)



مدار پیکسل

مثال‌هایی در ترکیب مساوی رنگ‌های اصلی برای تولید سایر رنگ‌ها



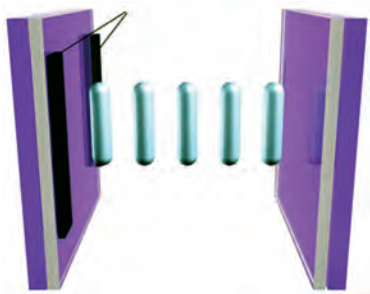
پیکسل‌های LEDای به کار رفته در صفحهٔ نمایش‌های بزرگ

دانش‌افزایی

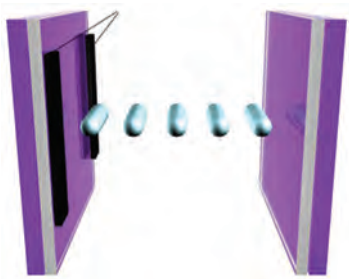
LCD (Liquid Crystal Display):

LCD به معنای صفحه نمایش کریستال مایع است. کریستال مایع موادی هستند

که در ظاهر به‌صورت مایع به نظر می‌آیند ولی مولکول‌های آنها نسبت به یکدیگر آرایش خاصی دارند. کریستال مایع در بین مایع و جامد قرار دارد. با اندکی حرارت به‌صورت مایع در می‌آید و با اندکی سرما به حالت معمول خود برمی‌گردد. برخی از این مواد به جریان الکتریسته حساس هستند و مولکول‌های آنها متناسب با ولتاژ اعمالی تغییر زاویه می‌دهند. چون طبق شکل روبه‌رو هر مولکول مانند میله است. لذا اگر ولتاژی حدود ۶ تا ۱۲ ولت به الکترودها داده شود، ترکیب موجود مولکول‌ها و ضریب انکسار ناحیه به هم می‌ریزد و تغییر می‌کند. به این ترتیب نور را در جهات مختلف منعکس می‌نماید و در این حالت ناحیه‌ای که مولکول‌های آن به هم ریخته است کدرتر به‌نظر می‌رسد. شکل روبه‌رو تغییر جهت مولکول‌ها را نشان می‌دهد.



مولکول‌ها در جهت طبیعی قرار دارند



مولکول‌ها تغییر جهت داده‌اند

بحث روی کریستال مایع بسیار مفصل و متنوع است. در این مبحث هدف فقط آشنایی با کریستال مایع است. برای دسترسی به اطلاعات بیشتر در مورد LCDها می‌توانید به سایت‌های مرتبط مراجعه نمایید.

دانش‌افزایی

صفحهٔ نمایش پلاسما

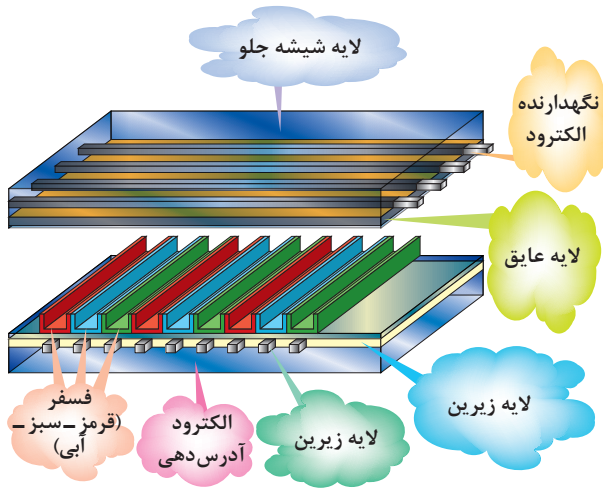
بنابر تعریف، برای ماده سه حالت جامد، مایع و گاز وجود دارد. علاوه بر سه حالت، حالت چهارمی نیز فرض می‌شود که آن را پلاسما می‌نامند. اگر تا به حال یک لامپ مهتابی را شکسته باشید حتماً جز مقداری گرد سفیدرنگ خطرناک چیز دیگری مشاهده نکرده‌اید. وقتی مهتابی روشن است چنین به نظر می‌رسد که ماده‌ای نورانی درون لامپ قرار دارد. حالتی که مواد داخل لامپ مهتابی، پس از روشن شدن، به خود می‌گیرند حالت پلاسما نامیده می‌شود. واژه پلاسما به گاز یونیزه شده گفته می‌شود. می‌دانیم در عمل یونیزاسیون، همه یا بخش قابل توجهی از ماده یک یا چند الکترون از دست می‌دهد و به یون مثبت تبدیل می‌شود. به‌عبارت

دیگر، اتم‌ها به یون‌های مثبت و الکترون‌های منفی تجزیه شده‌اند.

صفحهٔ نمایش پلاسما Plasma Display PanelPDP

صفحهٔ نمایش پلاسما از دو صفحهٔ شیشه‌ای که در مقابل هوا نفوذناپذیر هستند، تشکیل می‌شود. فاصلهٔ بین این دو صفحه توسط لایه‌هایی از هم مجزا شده‌اند و بین آنها گازهایی مانند هلیوم، نئون یا گزنون تزریق شده است. با اعمال ولتاژ به هر سلول، گاز بین دو صفحه دشارژ می‌شود و نور Ultra Violet UV یا همان ماورای بنفش تولید می‌کند. از آنجا که بین دو لایه سلول‌هایی از مواد فسفرسانس در سه رنگ قرمز، سبز و آبی یعنی:

RGB (R=Red-G =Green-B= Blue) وجود دارد. با برخورد نور ماورای‌بنفش به این مواد، نور مرئی رنگی و قابل رؤیت از سلول خارج می‌گردد.



تصویری از داخل صفحه نمایش پلاسما

تحقیق کنید:

با مراجعه به اینترنت تفاوت‌های LCD و پلاسما را بررسی کنید.

پاسخ:

در LCD به دلیل وجود نور پس زمینه ایجاد رنگ مشکی به‌طور کامل و صددرصد امکان‌پذیر نیست، البته با پیشرفت فناوری این مورد در حال بهبود یافتن است. در پلاسما پس‌زمینه وجود ندارد و هر سلول نور مورد نیاز را تولید می‌کند. لذا

کنتراست تصویر (درجه اختلاف میان تاریک‌ترین و روشن‌ترین رنگ ـ تمایز نور) در پلاسما از LCD بسیار بیشتر است.
وضوح تصویر: هر دو محصول فناوری وضوح بالایی را ایجاد می‌کنند، ولی در LCD در اندازه‌های کوچک امکان ایجاد وضوح بالا بیشتر است.
زاویه دید: یکی از مشکلات LCD زاویه دید آن است. وقتی از کناره‌ها یا بالا و پایین به تصویر نگاه می‌کنید سطوح روشنایی و رنگ متفاوت است. در پلاسما این مسئله کمتر رخ می‌دهد و ساختن تلویزیون و نمایشگر با زاویهٔ دید بالاتر، راحت‌تر است.
عمق تصویر: سبب فناوری خاص پلاسما، تصاویر در پلاسما سه‌بعدی و عمیق‌تر به نظر می‌رسند. تصاویر در LCD اندکی تخت‌تر هستند.
ابعاد: ساختن پلاسما در ابعاد کوچک چندان به‌صرفه نیست. برعکس ساختن LCD در اندازه‌های بزرگ پرهزینه است.
وزن: تلویزیون LCD نسبت به تلویزیون‌های پلاسما سبک‌تر است.

کار در کلاس:
تفاوت و شباهت‌های فتو دیود نسبت به فتو رزیستانس را بررسی کنید.

پاسخ:
شباهت: مقاومت هر دو تابع نور می‌باشد.

کار در کلاس:
جدول زیر را کامل کنید.

نام دیود	بایاس	کاربرد
اتصال نقطه‌ای	معکوس	فرکانس بالا ـ آشکارسازی مخلوط‌کنندگی‌ها
زنر	معکوس	تثبیت‌کننده ولتاژ
نوردهنده LED	مستقیم	نمایش الفبای عددی ـ سون سگمنت
فتودیود	معکوس	تشخیص نور در دستگاه‌های نورسنج ـ شمارش سریع و سوئیچ کردن
خازنی	معکوس	رادیو و تلویزیون
شاتکی		برای بالا بردن سرعت قطع و وصل در یک دیود استفاده می‌شود

کار در کلاس:

دیودهای AA۱۱۶ و BA۳۱۶ و BY۱۲۷ و BZ۱۰۰ را به روش اروپایی نام‌گذاری کنید.

پاسخ:

AA۱۱۶: دیود معمولی یکسوکننده ژرمانیومی

BA۳۱۶: دیود معمولی یکسوکننده سیلسیومی

BY۱۲۷: دیود یکسوکننده قدرت

BZ۱۰۰: دیود زنر

کار در کلاس:

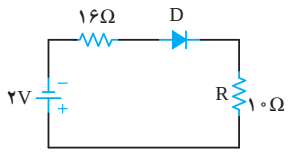
۱N۴۱۴۸ نام‌گذاری دیود با روش ..... و OA۹۰ نام‌گذاری دیود با روش ..... است.

پاسخ: آمریکایی ـ اروپایی

ارزشیابی

۱ در شبکهٔ دیودی شکل زیرجریان دیود را به‌دست آورید.

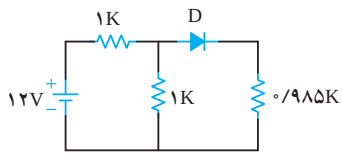
$$\begin{cases} V_D = ۰/۷ \\ R_F = ۲۰\,\Omega \end{cases}$$



پاسخ:

با توجه به شکل مدار دیود در شبکه بایاس معکوس قرار داشته بنابراین دیود قطع می‌باشد و مانند مدار باز عمل نموده و جریان در این مدار برابر با صفر می‌باشد.

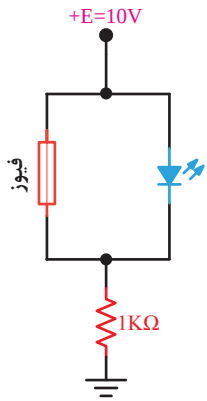
۲ در شبکهٔ دیود شکل زیر دیود D از جنس سیلیس با $R_F = ۱۵\ \Omega$ مفروض می‌باشد. مقدار جریان گذرنده از دیود چند آمپر می‌باشد؟



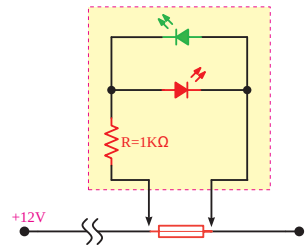
پاسخ:

با توجه به شکل بالا مشخص می‌باشد که دیود در بایاس مستقیم قرار دارد و بنابراین دیود روشن می‌باشد و به‌جای دیود روشن مدل واقعی آن را قرار می‌دهیم.

۳ در شکل زیر، درصورتی‌که فیوز بسوزد یا سالم باشد، در نور LED چه تغییری به‌وجود می‌آید؟ شرح دهید.



۴ در مدار شکل زیر اگر فیوز سوخته یا سالم باشد، در نور LED چه تغییری ایجاد می‌شود؟ شرح دهید. دو LED که به‌طور معکوس بسته شده‌اند چه نقشی در مدار دارند؟



۵ برای نوشتن هر یک از اعداد و حروف شکل زیر کدام LEDها در 7-Segment باید روشن شود؟