

بررسی عناصر الکترونیک (نیمه هادی ها)

نیمه‌رسانا یا نیمه‌هادی (Semiconductor)

عنصر یا ماده‌ای است که در حالت عادی عایق باشد، ولی با افزودن مقداری ناخالصی قابلیت هدایت الکتریکی پیدا کند. (منظور از ناخالصی عنصر یا عناصر دیگریست غیر از عنصر اصلی یا پایه. مثلاً اگر عنصر پایه سلیسیوم باشد ناخالصی می‌تواند آلومینیوم یا فسفر باشد.) نیمه‌رساناها در نوار ظرفیت خود چهار الکترون دارند. میزان مقاومت الکتریکی نیمه‌رساناها بین رساناها و نارساناها می‌باشد. از نیمه رساناها برای ساخت قطعاتی مانند دیود، ترانزیستور، تریستور، آی سی و ... استفاده می‌شود. ظهور نیمه رساناها در علم الکترونیک انقلاب عظیمی را در این علم ایجاد کرده که اختراع رایانه یکی از دستاوردهای این انقلاب است.

نیمه‌رساناها به دو نوع قسمت‌بندی می‌شوند.

1. نیمه‌رسانای ذاتی (خالص)
2. نیمه‌رسانای غیرذاتی (دارای ناخالصی)

در نیمه‌رسانای ذاتی تعداد حفره و الکترون برابر است، در صورتی که در نیمه‌رسانای غیر ذاتی چنین نیست. نیمه رسانای غیر ذاتی با آلابیدن نیمه‌رسانای چهار ظرفیتی با یک عنصر سه یا پنج ظرفیتی پدید می‌آید. نیمه‌رساناهای غیر ذاتی به دو دسته تقسیم می‌شوند.

1. نوع پی P یا Positive یا گیرنده الکترون آزاد (پذیرنده) که در آن تعداد حفره‌ها بیشتر است.
1. نوع ان N یا Negative یا دارنده الکترون آزاد (دهنده) که در آن تعداد الکترون‌ها بیشتر است.

عناصر نیمه‌رسانا

از عناصر نیمه‌رسانا می‌توان به سلیسیوم و ژرمانیوم که پایه الکترونیک هستند اشاره کرد. سلیسیوم در حالت عادی نیمه‌رسانا است و در جدول تناوبی در گروه چهار اصلی و زیر کربن قرار دارد و چهار ظرفیتی می‌باشد یعنی چهار الکترون در آخرین باند خود دارد. حال اگر یکی از عناصر گروه مجاور را به سلیسیوم بیافزاییم، باعث می‌شویم که سلیسیوم قابلیت رسانایی بالاتری پیدا کند. اگر عنصر اضافه شده از گروه سوم اصلی باشد مثلاً آلومینیوم، آنگاه ماده بدست آمده نیمه رسانای نوع پی P می‌شود و اگر عنصر اضافه شده از گروه پنج اصلی باشد مثلاً آرسنیک، آنگاه ماده بدست آمده نیمه‌رسانای نوع ان N می‌شود. ژرمانیوم از این جهات مانند سلیسیوم است ولی تفاوت‌هایی هم با آن دارد. با افزودن ۰.۰۱٪ آرسنیک به ژرمانیوم رسانش آن ۱۰ هزار برابر افزایش پیدا می‌کند.

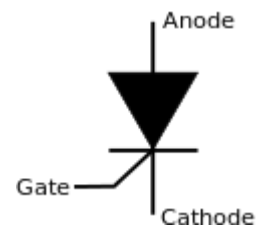
طریقه ساخت دیود از نیمه‌رساناها

از پیوند نیمه رسانای نوع N با نوع P عنصری به نام دیود بدست می‌آید که خاصیت یکسو سازی آن بیشترین کاربرد را در الکترونیک دارد (در دیود هیچ تفاوتی بین اینکه نوع P را با نوع N پیوند دهیم یا نوع N را با نوع P پیوند دهیم وجود ندارد و در هر صورت عنصر بدست آمده دیود خواهد بود).

خاصیت دیود

دیود از نوع سیلیسیم تا ولتاژ حدود ۷/۰ ولت عایق بوده و بعد از آن به یک رسانای خوب تبدیل می‌گردد. این ولتاژ آستانه تحریک برای دیودهای مختلف متفاوت است و مثلاً برای دیودهای ژرمانیومی حدود ۲۵/۰ ولت است؛ یعنی برای روشن شدن دیود سیلیسیومی ۷/۰ ولت نیاز است ولی برای روشن شدن دیود ژرمانیومی ۲۵/۰ ولت لازم است.

تریستور



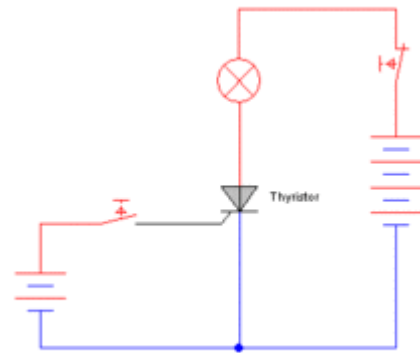
نماد مداری یک تریستور

تریستور یک نیمه‌رسانای قدرت است و به صورت یک قطعه چهار لایه‌ای P-N-P-N ساخته می‌شود. تریستورها ۳ پایه‌اند، کاتد و گیت دارند. پایه‌اند A، کاتد با K و گیت (دروازه) با G نمایش داده می‌شوند که از این میان آند و کاتد به مدار قدرت متصل می‌شوند و گیت جریان کمتری دارد. تریستورها در دو حالت پایدار روشن و خاموش مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

طرز کار تریستور

تریستورها مشابه رله عمل می‌کنند، همانگونه که در رله‌ها با اعمال ولتاژ به بوبین، کنتاکت باز رله بسته می‌شود، در تریستور نیز با اعمال ولتاژ به پایه‌های کاتد و گیت (Gate)، جریان بین پایه‌های آند و کاتد برقرار می‌شود که به آن جریان آند می‌گویند. از تفاوت‌های تریستور و رله این است که رله یک کلید الکترومکانیکی است اما تریستور یک کلید الکترونیکی که صدا و جرقه تولید نمی‌کند. از طرف دیگر تریستور یک کلید یک جهته است و جریان در آن همیشه از آند به سمت کاتد برقرار می‌شود و اگر بخواهیم جریان دوطرفه داشته باشیم باید دو تریستور را به صورت برعکس با هم موازی کنیم. تفاوت دیگر تریستور و رله در این است که بر خلاف رله‌ها که با قطع ولتاژ بوبین رله خاموش می‌شود، تریستور با قطع ولتاژ گیتش خاموش نخواهد شد.

روشن شدن تریستور



نحوه روشن و خاموش کردن تریستور

برای اینکه تریستور در وضعیت هدایت قرار بگیرد باید شرایط زیر برقرار باشد :

1. ولتاژ آند نسبت به کاتد مثبت باشد
2. گیت یک پالس مثبت دریافت کند (ولتاژ گیت بیشتر از ولتاژ کاتد شود).
3. برای روشن ماندن تریستور جریان آند باید به اندازه کافی زیاد باشد

مداری که پالس جریان گیت را تولید می کند مدار آتش می نامند. پس از روشن شدن تریستور ولتاژ آند کاتد بسیار ناچیز خواهد شد به طوری که در مقاصد عملی آنرا برابر صفر در نظر می گیرند و می توان گفت که تریستور در هنگام هدایت تقریباً مانند یک اتصال کوتاه عمل می کند. تریستور بسیار سریع روشن می شود، به مدت زمان لازم برای روشن سازی تریستور زمان روشن سازی می گویند که با t_{on} نمایش داده می شود و حدود ۱ تا ۳ میکروثانیه است. پهنای پالس اعمالی به جریان گیت که برای روشن شدن تریستور استفاده می شود حدود ۱۰ تا ۵۰ میکروثانیه است و دامنه ای حدود ۲۰ تا ۲۰۰ میلی آمپر دارد.

خاموش شدن تریستور

به روش های خاموش کردن تریستور کموتاسیون می گویند. در مدارهای جریان متناوب به علت تغییر خودکار پلاریته دو سر آند و کاتد تریستور به صورت خودکار خاموش می شود که به این حالت کموتاسیون طبیعی می گویند. در مقابل اگر جریان بالاجبار صفر شود کموتاسیون اجباری رخ داده است .

برای خاموش کردن تریستوری که روشن شده است باید یکی از شرایط زیر برقرار شود :

1. ولتاژ آند نسبت به کاتد منفی شود.
2. جریان عبوری از آند قطع شود (به کمتر از مقدار بحرانی برسد).

اگر تریستور روشن شده باشد، با صفر شدن جریان گیت تریستور خاموش نخواهد شد. در روش اول خاموش کردن تریستور، دو پیوند از سه پیوند آن در گرایش معکوس قرار می گیرند و پیوند سوم گرایش مستقیم خواهد داشت، در این حالت تریستور جریان نشستی کمی از خود نشان می دهد. اگر ولتاژ معکوس بیش از حد زیاد شود و مقدار آن به ولتاژ فروپاشی معکوس برسد، پدیده بهمنی در تریستور رخ خواهد داد که در صورت محدود نشدن، بر اثر تلفات توان ممکن است به تریستور آسیب برسد. در

روش دوم، به جریان بحرانی آند که اگر از آن عبور کنیم تریستور خاموش می‌شود *جریان نگهدارنده* می‌گویند و آن را با I_h نمایش می‌دهند؛ در این حالت تریستور به حالت سدکننده مستقیم بازمی‌گردد .

انواع

تریستورهای قدرت را معمولاً به دو صورت دیسکی و استود می‌سازند. تفاوت این دو نوع تریستور در این است که نوع استود سرعت قطع و وصل پایین‌تری نسبت به نوع دیسکی دارد و معمولاً در مدارهای یکسوکننده کنترل‌شده به کار می‌رود. نوع دیسکی در اینورترها کاربرد دارد و حتماً باید با گرماگیری که گیت آن را تحت فشار قرار می‌دهد استفاده شود در غیر این صورت گیت تریستور تحریک‌پذیر نخواهد بود .

تریستور خاموش‌شونده با گیت

نوشتار اصلی : تریستور خاموش‌شونده با گیت

تریستور خاموش‌شونده با گیت یا جی‌تی‌ئو یک گونه خاص از تریستور است که همانند تریستورهای معمولی با اعمال پالس جریان مثبت به گیت روشن می‌شود ولی تفاوتش در این است که می‌توان با اعمال پالس جریان منفی به گیت آن را خاموش کرد .

تریستور کنترل‌شده با نیمه‌رسانای اکسید فلز

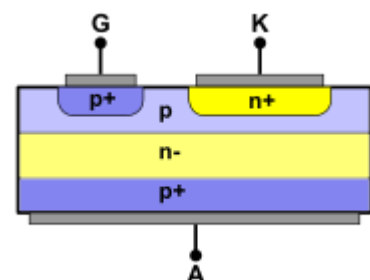
نوشتار اصلی : تریستور کنترل‌شده با نیمه‌رسانای اکسید فلز

تریستور کنترل‌شده با نیمه‌رسانای اکسید فلز یا اِم‌سی‌تی، نوعی تریستور است که ویژگی‌های ترانزیستورهای اثر میدان و تریستور را همزمان در خود دارد. این تریستورها را می‌توان با دروازه‌ای مشابه دروازهٔ مسفت‌ها خاموش و روشن نمود .

تریستور خاموش‌شونده با گیت یا جی‌تی‌ئو

به انگلیسی : gate turn-off thyristor

یا GTO گونه‌ای از تریستورها است که برخلاف تریستورهای معمولی می‌توان با اعمال جریان منفی به گیت آن‌ها را خاموش کرد.



ترانزیستور یکی از مهمترین قطعات الکترونیکی و یکی از ادوات حالت جامد است که از مواد نیمه رسانایی مانند سیلیسیم و ژرمانیم ساخته می‌شود. یک ترانزیستور در ساختار خود دارای پیوندهای نوع N و نوع P می‌باشد.

ترانزیستورهای جدید به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: ترانزیستورهای اتصال دوقطبی (BJT) و ترانزیستورهای اثر میدانی (FET). اعمال جریان در BJT ها و ولتاژ در FET ها بین ورودی و ترمینال مشترک رسانایی بین خروجی و ترمینال مشترک را افزایش می‌دهد، از اینرو سبب کنترل جریان بین آنها می‌شود. مشخصات ترانزیستورها به نوع آن بستگی دارد.

لغت «ترانزیستور» به نوع اتصال نقطه‌ای آن اشاره دارد.

در مدارهای آنالوگ، ترانزیستورها در تقویت کننده‌ها استفاده می‌شوند، (تقویت کننده‌های جریان مستقیم، تقویت کننده‌های صدا، تقویت کننده‌های امواج رادیویی) و منابع تغذیه تنظیم شده خطی. همچنین از ترانزیستورها در مدارات دیجیتال بعنوان یک سوئیچ الکترونیکی استفاده می‌شود، اما به ندرت به صورت یک قطعه جدا، بلکه به صورت بهم پیوسته در مدارات مجتمع یکپارچه بکار می‌روند. مدارهای دیجیتال شامل گیت‌های منطقی، حافظه با دسترسی تصادفی (RAM)، میکروپروسسورها و پردازنده‌های سیگنال دیجیتال (DSPs) هستند.

ترانزیستور می‌تواند به عنوان سوئیچ نیز کار کند. ترانزیستور سه پایه دارد.

ساختار ترانزیستور

BJT از اتصال سه لایه بلور نیمه هادی تشکیل می‌شود. لایه وسطی بیس (base)، و دو لایه جانبی، یکی امیتر به انگلیسی: emitter و دیگری کلکتور به انگلیسی collector نام دارد. نوع بلور بیس، با نوع بلورهای امیتر و کلکتور متفاوت است. معمولاً میزان ناخالصی در امیتر بیشتر از دو لایه دیگر و همچنین عرض لایه بیس کمتر و عرض لایه کلکتور بیشتر از لایه‌های دیگر است.

در یک ترانزیستور دوقطبی، لایه امیتر یا گسیلنده بیشترین مقدار ناخالصی را دارد. که الکترون‌ها از امیتر به سوی لایه کلکتور که ناخالصی کمتری دارد، گسیل داده می‌شود.

اهمیت

ترانزیستور از سوی بسیاری بعنوان یکی از بزرگترین اختراعات در تاریخ نوین مطرح شده است، در رتبه بندی از لحاظ اهمیت در کنار ماشین چاپ، خودرو و ارتباطات الکترونیکی و الکتریکی قرار دارد. ترانزیستور عنصر فعال کلیدی در الکترونیک مدرن است. اهمیت ترانزیستور در جامعه امروز متکی به قابلیت آن برای تولید انبوه که از یک فرایند (ساخت) کاملاً اتوماتیک که قیمت تمام شده هر ترانزیستور در آن بسیار ناچیز است استفاده می‌کند. اگرچه میلیون‌ها ترانزیستور هنوز تکی (به صورت جداگانه) استفاده می‌شوند ولی اکثریت آنها به صورت مدار مجتمع اغلب به صورت مختصر IC و همچنین میکرو چیپ یا به صورت ساده چیپ نامیده می‌شوند همراه با دیودها، مقاومت‌ها، خازن‌ها و دیگر قطعات الکترونیکی برای ساخت یک مدار کامل الکترونیک ساخته می‌شوند. یک گیت منطقی حاوی حدود بیست ترانزیستور است در مقابل یک ریزپردازنده پیشرفته سال ۲۰۰۶ که می‌تواند از بیش از ۱/۷ میلیون ترانزیستور استفاده کند (ماسفت‌ها).

قیمت کم، انعطاف پذیری و اطمینان از ترانزیستور یک قطعه همه کاره برای وظایف غیرمکانیکی مثل محاسبه دیجیتال ساخته است. مدارات ترانزیستوری به خوبی جایگزین دستگاه‌های کنترل ادوات و ماشین‌ها شده‌اند. استفاده از یک میکروکنترلر استاندارد و نوشتن یک برنامه رایانه‌ای که عمل کنترل را انجام می‌دهد اغلب ارزان تر و موثرتر از طراحی مکانیکی معادل آن می‌باشد.

بعلت قیمت کم ترانزیستورها و ازاینرو رایانه‌ها گرایشی برای دیجیتال کردن اطلاعات وجود دارد. با رایانه‌های دیجیتالی که توانایی جستجوی سریع، دسته بندی و پردازش اطلاعات دیجیتال را ارائه می‌کنند، تلاش بیشتری برای دیجیتال کردن اطلاعات شده است. در نتیجه امروزه داده‌های رسانه‌ای بیشتری به دیجیتال تبدیل می‌شوند، در پایان توسط رایانه تبدیل شده و به صورت آنالوگ در اختیار قرار می‌گیرد. تلویزیون، رادیو و روزنامه‌ها چیزهایی هستند که تحت تاثیر این انقلاب دیجیتال واقع شده‌اند.

مزایای ترانزیستورها بر لامپ‌های خلاء

قبل از گسترش ترانزیستورها، لامپ‌های خلاء) که در بریتانیا به آنها لامپ ترمیونیک یا فقط لامپ هم می‌گویند) قطعات فعال اصلی تجهیزات الکترونیک بودند. مزایای کلیدی که به ترانزیستورها اجازه جایگزینی با لامپ‌های خلاء سابق در بیشتر کاربردها را داد در زیر آمده است:

- اندازه کوچک تر (با وجود ادامه کوچک سازی لامپ‌های خلاء)
- تولید کاملاً اتوماتیک
- هزینه کمتر (در حجم تولید)
- امکان ولتاژ کاری پایین تر (اما لامپ‌های خلاء در ولتاژهای بالاتر می‌توانند کار کنند).
- نداشتن دوره گرم شدن (بیشتر لامپ‌های خلاء به ۱۰ تا ۶۰ ثانیه زمان برای عملکرد صحیح نیاز دارند).
- تلفات توان کمتر (نداشتن توان گرمایی، ولتاژ اشباع خیلی پایین).
- قابلیت اطمینان بالاتر و سختی فیزیکی بیشتر (اگرچه لامپ‌های خلاء از نظر الکتریکی مقاوم ترند. همچنین لامپ خلاء در برابر پالس‌های الکترومغناطیسی هسته‌ای (NEMP) و تخلیه الکترواستاتیکی (ESD) مقاوم ترند).
- عمر خیلی بیشتر (قطب منفی لامپ خلاء سرانجام از بین می‌رود و خلاء آن می‌تواند آلوده بشود).
- فراهم آوردن دستگاه‌های مکمل (امکان ساختن مدارات مکمل متقارن: لامپ خلاء قطبی معادل نوع مثبت BJT ها و نوع مثبت FET ها در دسترس نیست).
- قابلیت کنترل جریان بالا (ترانزیستورهای قدرت برای کنترل صدها آمپر در دسترسند، لامپ‌های خلاء برای کنترل حتی یک آمپر بسیار بزرگ و هزینه برند).

تاریخچه



نماد ترانزیستور در یک پیاده رودر دانشگاه آویرو ، کشور پرتغال

اولین حق ثبت اختراع ترانزیستور اثرمیدان در سال ۱۹۲۸ در آلمان توسط فیزیک دانی به نام ژولیوس ادگار لیلینفلد ثبت شد، اما او هیچ مقاله‌ای در باره قطعه‌اش چاپ نکرد و این سه ثبت اختراع از طرف صنعت نادیده گرفته شد. در سال ۱۹۳۴ فیزیکدان آلمانی دکتر اسکار هایل ترانزیستور اثر میدان دیگری را به ثبت رساند. هیچ مدرک مستقیمی وجود ندارد که این قطعه ساخته شده‌است، اما بعداً کارهایی در دهه ۱۹۹۰ نشان داد که یکی از طرح‌های لیلینفلد کار کرده و گین قابل توجه‌ای داده‌است. اوراق قانونی از آزمایشگاه‌های ثبت اختراع بل نشان می‌دهد که ویلیام شاکلی و جرال د پیرسن یک نسخه قابل استفاده از اختراع لیلینفلد ساخته‌اند، در حالی که آنها هیچگاه این را در تحقیقات و مقالات خود ذکر نکردند.

در ۲۳ دسامبر ۱۹۴۷، ویلیام شاکلی، جان باردین و والتر براتین موفق به ساخت اولین ترانزیستور اتصال نقطه‌ای در آزمایشگاه‌های بل شدند. این کار با تلاش‌های زمان جنگ برای تولید دیودهای مخلوط کننده ژرمانیم خالص «کریستال» ادامه یافت، این دیودها در واحدهای رادار بعنوان عنصر میکسر فرکانس در گیرنده‌های میکروموج استفاده می‌شد. یک پروژه موازی دیودهای ژرمانیم در دانشگاه پردو موفق شد کریستال‌های نیمه هادی ژرمانیم را با کیفیت خوب که در آزمایشگاه‌های بل استفاده می‌شد را تولید کند. سرعت سوئیچ تکنولوژی لامپی اولیه برای این کار کافی نبود، همین تیم بل را سوق داد تا از دیودهای حالت جامد به جای آن استفاده کنند. آنها با دانشی که در دست داشتند شروع به طراحی سه قطبی نیمه هادی کردند، اما دریافتند که کار ساده‌ای نیست. جان باردین سرانجام یک شاخه جدید فیزیک سطحی را برای محاسبه رفتار عجیبی که دیده بودند ایجاد کرد و سرانجام براتین و باردین موفق به ساخت یک قطعه کاری شدند.

آزمایشگاه‌های تلفن بل به یک اسم کلی برای اختراع جدید نیاز داشتند: «سه قطبی نیمه هادی»، «سه قطبی جامد»، «سه قطبی اجزاء سطحی»، «سه قطبی کریستال» و «لاتاتورن» که همه مطرح شده بودند، اما «ترانزیستور» که توسط جان رابینسون پیرس ابداع شده بود، برنده یک قرعه کشی داخلی شد. اساس و بنیاد این اسم در یادداشت فنی بعدی شرکت رای گیری شد:

ترانزیستور، این یک ترکیب مختصر از کلمات «ترانسکانداکتانس» یا «انتقال» و «مقاومت متغیر» است. این قطعه منطقاً متعلق به خانواده مقاومت متغیر می‌باشد و یک امپدانس انتقال یا گین دارد بنابراین این اسم یک ترکیب توصیفی است.

در آن زمان تصور می‌شد که این قطعه مثل دو لامپ خلاء است. لامپ‌های خلاء هدایت انتقالی دارند بنابراین ترانزیستور مقاومت انتقالی دارد. و این اسم می‌بایست متناسب با نام دیگر قطعات مثل وریستور، ترمیستور باشد. و نام ترانزیستور پیشنهاد شد.

بل فوراً ترانزیستور تک اتصالی را جزء تولیدات انحصاری شرکت وسترن الکتریک، شهر آلتون در ایالت پنسیلوانیا قرار داد. نخستین ترانزیستورهای گیرنده‌های رادیو AM در معرض نمایش قرار گرفتند، اما در واقع فقط در سطح آزمایشگاهی بودند. به هر حال در سال ۱۹۵۰ شاکلی یک نوع کاملاً متفاوت ترانزیستور را ارائه داد که به ترانزیستور اتصال دوقطبی معروف شد.

اگرچه اصول کاری این قطعه با ترانزیستور تک اتصالی کاملاً فرق می‌کند، قطعه‌ای است که امروزه به عنوان ترانزیستور شناخته می‌شود. پروانه تولید این قطعه نیز به تعدادی از شرکت‌های الکترونیک شامل تگزاس اینسترومنتس که تعداد محدودی رادیو ترانزیستوری بعنوان ابزار فروش تولید می‌کرد داده شد. ترانزیستورهای اولیه از نظر شیمیایی ناپایدار بودند و فقط برای کاربردهای فرکانس و توان پایین مناسب بودند، اما همینکه طراحی ترانزیستور توسعه یافت این مشکلات نیز کم‌کم رفع شدند.

اگرچه اغلب نادرست به سونی نسبت داده می‌شود، ولی اولین رادیو ترانزیستوری تجاری Regency TR-1 بود که توسط I.D.E.A (Regency Division) گروه مهندسی توسعه صنعتی) شهر ایندیاناپولیس در ایالت ایندیانا ساخته شده و در ۱۸ اکتبر ۱۹۵۴ اعلام شد. این رادیو در نوامبر ۱۹۵۴ به قیمت ۴۹/۹۵ دلار (معادل با ۳۶۱ دلار در سال ۲۰۰۵) به فروش گذاشته شد و تعداد ۱۵۰۰۰۰ از آن به فروش رفت. این رادیو از ۴ ترانزیستور استفاده می‌کرد و با یک باتری ۲۲/۵ ولتی راه اندازی می‌شد.

هنگامیکه ماسارو ایبوکا، موسس شرکت ژاپنی سونی از آمریکا دیدن می‌کرد آزمایشگاه‌های بل ارائه مجوز ساخت شامل ریز دستورهایی مبنی بر چگونگی ساخت ترانزیستور را اعلام کرده بودند. ایبوکا مجوز خرید ۵۰۰۰۰ دلاری پروانه تولید را از وزیر دارایی ژاپن گرفت و در سال ۱۹۵۵ رادیوی جیبی خود را تحت مارک سونی معرفی کرد. بعد از دو دهه ترانزیستورها به تدریج جای لامپ‌های خلاء را در بسیاری از کاربردها گرفتند و بعدها امکان تولید دستگاه‌های جدیدی از قبیل [مدارات مجتمع] و رایانه‌های شخصی را فراهم آوردند.

از ویلیام شاکلی، جان باردین و والتر هاوسر براتین بخاطر تحقیقاتشان در مورد نیمه هادی‌ها و کشف اثر ترانزیستور با جایزه نوبل فیزیک قدردانی شد.

کاربرد

ترانزیستور دارای ۳ ناحیه کاری می‌باشد:

1. ناحیه قطع
2. ناحیه فعال (کاری یا خطی)
3. ناحیه اشباع

ناحیه قطع حالتی است که ترانزیستور در آن ناحیه فعالیت خاصی انجام نمی‌دهد. اگر ولتاژ بیس را افزایش دهیم ترانزیستور از حالت قطع بیرون آمده و به ناحیه فعال وارد می‌شود در حالت فعال ترانزیستور مثل یک عنصر تقریباً خطی عمل می‌کند اگر ولتاژ بیس را همچنان افزایش دهیم به ناحیه‌ای می‌رسیم که با افزایش جریان ورودی در بیس دیگر شاهد افزایش جریان بین کلکتور و امیتر نخواهیم بود به این حالت می‌گویند حالت اشباع و اگر جریان ورودی به بیس زیاد تر شود امکان سوختن ترانزیستور وجود دارد. ترانزیستور هم در مدارات الکترونیک آنالوگ و هم در مدارات الکترونیک دیجیتال کاربردهای بسیار وسیعی دارد. در مدارات آنالوگ ترانزیستور در حالت فعال کار می‌کند و می‌توان از آن به عنوان تقویت کننده یا تنظیم کننده ولتاژ (رگولاتور) و... استفاده کرد. و در مدارات دیجیتال ترانزیستور در دو ناحیه قطع و اشباع فعالیت می‌کند که می‌توان از این حالت ترانزیستور در پیاده سازی مدار منطقی، حافظه، سوئیچ کردن و... استفاده کرد. به جرات می‌توان گفت که ترانزیستور قلب تپنده الکترونیک است.

عملکرد

ترانزیستور از دیدگاه مداری یک عنصر سه پایه می باشد که با اعمال یک سیگنال به یکی از پایه های آن میزان جریان عبور کننده از دو پایه دیگر آن را می توان تنظیم کرد. برای عملکرد صحیح ترانزیستور در مدار باید توسط المان های دیگر مانند مقاومتها و... جریان ها و ولتاژهای لازم را برای آن فراهم کرد و یا اصطلاحاً آن را بایاس کرد.

انواع

دو دسته مهم از ترانزیستورها ترانزیستور دوقطبی پیوندی (BJT) (Bipolar Junction Transistors) و ترانزیستور اثر میدان (FET) (Field Effect Transistors) هستند. ترانزیستورهای اثر میدان نیز خود به دو دسته ترانزیستور پیوند اثر میدانی (JFET) و ماسفتها (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) تقسیم می شوند.

ترانزیستور دوقطبی پیوندی

نوشتار اصلی: ترانزیستور دوقطبی پیوندی

در ترانزیستور دو قطبی پیوندی با اعمال یک جریان به پایه بیس جریان عبوری از دو پایه کلکتور و امیتر کنترل می شود. ترانزیستورهای دوقطبی پیوندی در دو نوع npn و pnp ساخته می شوند. بسته به حالت بایاس این ترانزیستورها ممکن است در ناحیه قطع، فعال و یا اشباع کار کنند. سرعت بالای این ترانزیستورها و بعضی قابلیت های دیگر باعث شده که هنوز هم از آنها در بعضی مدارات خاص استفاده شود. امروزه بجای استفاده از مقاومت و خازن و... در مدارات مجتمع تماماً از ترانزیستور استفاده می کنند.

ترانزیستور پیوند اثر میدانی (JFET)

در ترانزیستورهای پیوند اثر میدانی (JFET) در اثر میدان، با اعمال یک ولتاژ به پایه گیت میزان جریان عبوری از دو پایه سورس و درین کنترل می شود. ترانزیستور اثر میدانی به دو نوع تقسیم می شود: نوع n یا N-Type و نوع p یا P-Type از دیدگاهی دیگر این ترانزیستورها در دو نوع افزایشی و تخلیه ای ساخته می شوند. نواحی کار این ترانزیستورها شامل «فعال» و «اشباع» و «تراپود» است این ترانزیستورها تقریباً هیچ استفاده ای ندارند چون جریان دهی آنها محدود است و به سختی مجتمع می شوند.

انواع ترانزیستور پیوندی

pnp

شامل سه لایه نیم هادی که دو لایه کناری از نوع p و لایه میانی از نوع n است و مزیت اصلی آن در تشریح عملکرد ترانزیستور این است که جهت جاری شدن حفره ها با جهت جریان یکی است.

npn

شامل سه لایه نیم هادی که دو لایه کناری از نوع n و لایه میانی از نوع p است. پس از درک ایده‌های اساسی برای قطعه pnp می‌توان به سادگی آنها را به ترانزیستور پر کاربردتر nnp مربوط ساخت.

ساختمان ترانزیستور پیوندی

ترانزیستور دارای دو پیوندگاه است. یکی بین امیتر و بیس و دیگری بین بیس و کلکتور. به همین دلیل ترانزیستور شبیه دو دیود است. دیود سمت چپ را دیود بیس _ امیتر یا صرفاً دیود امیتر و دیود سمت راست را دیود کلکتور _ بیس یا دیود کلکتور می‌نامیم. میزان ناخالصی ناحیه وسط به مراتب کمتر از دو ناحیه جانبی است. این کاهش ناخالصی باعث کم شدن هدایت و بالعکس باعث زیاد شدن مقاومت این ناحیه می‌گردد.

امیتر که به شدت آلوده شده، نقش گسیل و یا تزریق الکترون به درون بیس را به عهده دارد. بیس بسیار نازک ساخته شده و آلودگی آن ضعیف است و لذا بیشتر الکترونهای تزریق شده از امیتر را به کلکتور عبور می‌دهد. میزان آلودگی کلکتور کمتر از میزان آلودگی شدید امیتر و بیشتر از آلودگی ضعیف بیس است و کلکتور الکترونها را از بیس جمع‌آوری می‌کند.



بازسازی اولین ترانزیستور جهان

طرز کار ترانزیستور پیوندی

طرز کار ترانزیستور را با استفاده از نوع nnp مورد بررسی قرار می‌دهیم. طرز کار pnp هم دقیقاً مشابه nnp خواهد بود، به شرط اینکه الکترونها و حفره‌ها با یکدیگر عوض شوند. در نوع nnp به علت تغذیه مستقیم دیود امیتر ناحیه تهی کم عرض می‌شود، در نتیجه حاملهای اکثریت یعنی الکترونها از ماده n به ماده p هجوم می‌آورند. حال اگر دیود بیس _ کلکتور را به حالت معکوس تغذیه نمائیم، دیود کلکتور به علت بایاس معکوس عریض تر می‌شود.

الکترونهای جاری شده به ناحیه p در دو جهت جاری می‌شوند، بخشی از آنها از پیوندگاه کلکتور عبور کرده، به ناحیه کلکتور می‌رسند و تعدادی از آنها با حفره‌های بیس باز ترکیب شده و به عنوان الکترونهای ظرفیت به سوی پایه خارجی بیس روانه می‌شوند، این مؤلفه بسیار کوچک است.

شیوه اتصال ترانزیستورها

اتصال بیس مشترک

در این اتصال پایه بیس بین هر دو بخش ورودی و خروجی مدار مشترک است. جهت های انتخابی برای جریان شاخه ها جهت قراردادی جریان در همان جهت حفره ها می شود.

اتصال امیتر مشترک

مدار امیتر مشترک بیشتر از سایر روشها در مدارهای الکترونیکی کاربرد دارد و مداری است که در آن امیتر بین بیس و کلکتور مشترک است. این مدار دارای امپدانس ورودی کم بوده، ولی امپدانس خروجی مدار بالا می باشد.

اتصال کلکتور مشترک

اتصال کلکتور مشترک برای تطبیق امپدانس در مدار بکار می رود، زیرا برعکس حالت قبلی دارای امپدانس ورودی زیاد و امپدانس خروجی پائین است. اتصال کلکتور مشترک غالباً به همراه مقاومتی بین امیتر و زمین به نام مقاومت بار بسته می شود.

ترانزیستور اثر میدان FET

این ترانزیستورها نیز مانند Jfet ها عمل می کنند با این تفاوت که جریان ورودی گیت آنها صفر است. همچنین رابطه جریان با ولتاژ نیز متفاوت است.

این ترانزیستورها دارای دو نوع PMOS و NMOS هستند که فناوری استفاده از دو نوع آن در یک مدار تکنولوژی CMOS نام دارد.

این ترانزیستورها امروزه بسیار کاربرد دارند زیرا به راحتی مجتمع می شوند و فضای کمتری اشغال می کنند. همچنین مصرف توان بسیار ناچیزی دارند.

به تکنولوژی هایی که از دو نوع ترانزیستورهای دوقطبی و Mosfet در آن واحد استفاده می کنند Bicomos می گویند.

البته نقطه کار این ترانزیستورها نسبت به دما حساس است و تغییر می کند. بنابراین بیشتر در سوئیچینگ بکار می روند.

ساختار و طرز کار ترانزیستور اثر میدانی - فت

همانگونه که از نام این المان مشخص است، پایه کنترلی آن جریانی مصرف نمی کند و تنها با اعمال ولتاژ و ایجاد میدان درون نیمه هادی، جریان عبوری از FET کنترل می شود. به همین دلیل ورودی این مدار هیچ گونه اثر بارگذاری بر روی طبقات تقویت قبلی نمی گذارد و امپدانس بسیار بالایی دارد.

فت دارای سه پایه با نام‌های درین D، سورس S و گیت G است که پایه گیت، جریان عبوری از درین به سورس را کنترل می‌نماید. فت‌ها دارای دو نوع N کانال و P کانال هستند. در فت نوع N کانال زمانی که گیت نسبت به سورس مثبت باشد جریان از درین به سورس عبور می‌کنند. معمولاً بسیار حساس بوده و حتی با الکتریسیته ساکن بدن نیز تحریک می‌گردند. به همین دلیل نسبت به نویز بسیار حساس هستند.

نوع دیگر ترانزیستورهای اثر می‌دانی MOSFET ها هستند (ترانزیستور اثر می‌دانی اکسید فلزی نیمه هادی - Metal - Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) یکی از اساسی‌ترین مزیت‌های ماسفت‌ها نویز کمتر آنها در مدار است.

فت‌ها در ساخت فرستنده باند اف ام رادیو نیز کاربرد فراوانی دارند. برای تست کردن فت کانال N با مالتی متر، نخست پایه گیت را پیدا می‌کنیم. یعنی پایه‌ای که نسبت به دو پایه دیگر در یک جهت مقداری رسانایی دارد و در جهت دیگر مقاومت آن بی‌نهایت است. معمولاً مقاومت بین پایه درین و گیت از مقاومت پایه درین و سورس بیشتر است که از این طریق می‌توان پایه درین را از سورس تشخیص داد.

ترانزیستور پیوندی دوقطبی

تغییرمسیر از ترانزیستور دوقطبی پیوندی



یک ترانزیستور PNP



یک ترانزیستور NPN

ترانزیستور پیوندی دوقطبی یا بی‌جی‌تی (به انگلیسی: BJT) نوعی ترانزیستور است که دارای سه پایه به نام‌های بیس (B)، امیتر (E) و کلکتور (C) می‌باشد و چون در این قطعه اثر الکترون‌ها و حفره‌ها هر دو مهم است، به آن ترانزیستور دوقطبی گفته می‌شود و در مقابل ترانزیستورهای تک‌قطبی، مانند ترانزیستور اثر میدان و ترانزیستور اتصال نقطه‌ای، قرار می‌گیرد که تنها یک نوع حامل بار دارند.

تاریخچه

عصر نوین الکترونیک نیمه رساناها با اختراع ترانزیستور دوقطبی در ۱۹۴۸ توسط باردین، براتاین و شاکلی در آزمایشگاه‌های تلفن بل آغاز شد. این قطعه به همراه همتای اثر میدانی خود تأثیر شگفتی روی تقریباً تمام حوزه‌های زندگی نوین گذاشته‌است.

انواع ترانزیستور پیوندی

با توجه به نحوه قرار گرفتن نیمه‌رساناهای مثبت و منفی در ترانزیستور، آن‌ها را به دو دسته پی‌ان‌پی و ان‌پی‌ان تقسیم می‌کنند.

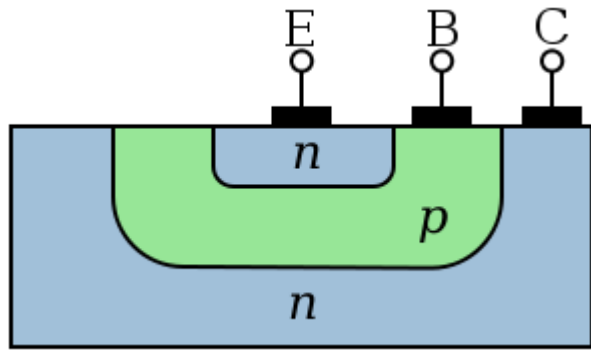
پی‌ان‌پی

شامل سه لایه نیمه‌رسانا که دو لایه کناری از نوع p و لایه میانی از نوع n است، می‌باشد و مزیت اصلی آن در تشریح عملکرد ترانزیستور این است که جهت جاری شدن حفره‌ها با جهت جریان یکی است.

ان‌پی‌ان

شامل سه لایه نیمه‌رسانا که دو لایه کناری از نوع n و لایه میانی از نوع p است، می‌باشد. پس از درک ایده‌های اساسی برای قطعه pn می‌توان به سادگی آن‌ها را به ترانزیستور پرکاربردتر npn مربوط ساخت.

ساختمان ترانزیستور پیوندی



سطح مقطع ساده‌شدهٔ یک ترانزیستور پیوندی دوقطبی ان‌پی‌ان پلانار به انگلیسی $planar$:

ترانزیستور دارای دو پیوندگاه است. یکی بین امیتر و بیس و دیگری بین بیس و کلکتور. به همین دلیل ترانزیستور شبیه دو دیود است. دیود سمت چپ را دیود بیس-امیتر یا صرفاً دیود امیتر و دیود سمت راست را دیود کلکتور-بیس یا دیود کلکتور می‌نامند. میزان ناخالصی ناحیه وسط (بیس) به مراتب کمتر از دو ناحیه جانبی است. این کاهش ناخالصی باعث کم شدن هدایت و بالعکس باعث زیاد شدن مقاومت این ناحیه می‌گردد.

امیتر که شدیداً آلوده شده، نقش گسیل و یا تزریق الکترون به درون بیس را به عهده دارد. بیس بسیار نازک ساخته شده و آلودگی آن ضعیف است و بنابراین بیشتر الکترونهای تزریق شده از امیتر را به کلکتور عبور می‌دهد. میزان آلودگی کلکتور کمتر از میزان آلودگی شدید امیتر و بیشتر از آلودگی ضعیف بیس است و کلکتور الکترونها را از بیس جمع‌آوری می‌کند.

محل قرار گرفتن پایه‌ها در هر ترانزیستور ممکن است متفاوت باشد برای نمونه بیس ممکن است پایه وسط یا کناری باشد و برای یافتن آن‌ها می‌توان به کتاب‌های اطلاعات ترانزیستور مراجعه کرد. در ترانزیستورهای توان‌بالای صنعتی که به ترانزیستورهای قدرت مشهورند پایه کلکتور اغلب همان بدنه ترانزیستور است .

سطح تماس بین لایه امیتر و بیس نسبت به سطح تماس بین لایه کلکتور و بیس کمتر است. بیشترین حجم بین سه لایه را لایه کلکتور و کمترین حجم را لایه بیس دارد. مقاومت بین پایه‌های بیس-امیتر از مقاومت بین پایه‌های بیس-کلکتور بیشتر است و از این موضوع می‌توان برای تشخیص پایه‌های ترانزیستور استفاده کرد. ولتاژ سد دیودهای ترانزیستور برای ترانزیستورهای سیلیسیم ۰.۷ ولت و برای ترانزیستورهای ژرمانیوم ۰.۲ ولت است.

شکل ظاهری ترانزیستورها با توجه به توان و فرکانس کاریشان متفاوت است. در ترانزیستورهای توان‌بالای صنعتی معمولاً سوراخی روی ترانزیستور قرار دارد که برای پیچ‌شدن ترانزیستور به سطوح فلزی هیت‌سینک به کار می‌رود که این کار موجب خنک‌شدن ترانزیستور می‌گردد. اما ترانزیستورهایی که در مدارهای معمولی و برای فرکانس‌های بالا ساخته می‌شوند معمولاً این سوراخ را ندارند.

طرز کار ترانزیستور پیوندی

طرز کار ترانزیستور را با استفاده از نوع npn مورد بررسی قرار می‌دهیم. طرز کار pnp هم دقیقاً مشابه npn خواهد بود، به شرط اینکه الکترون‌ها و حفره‌ها با یکدیگر عوض شوند. در نوع npn به علت تغذیه مستقیم دیود امیتر ناحیه تهی کم عرض می‌شود، در نتیجه حامل‌های اکثریت یعنی الکترون‌ها از ماده n به ماده p هجوم می‌آورند. حال اگر دیود بیس _ کلکتور را به حالت معکوس تغذیه نمائیم، دیود کلکتور به علت بایاس معکوس عریض تر می‌شود.

الکترون‌های جاری شده به ناحیه p در دو جهت جاری می‌شوند، بخشی از آنها از پیوندگاه کلکتور عبور کرده، به ناحیه کلکتور می‌رسند و تعدادی از آنها با حفره‌های بیس باز ترکیب شده و به عنوان الکترون‌های ظرفیت به سوی پایه خارجی بیس روانه می‌شوند، این مولفه بسیار کوچک است.

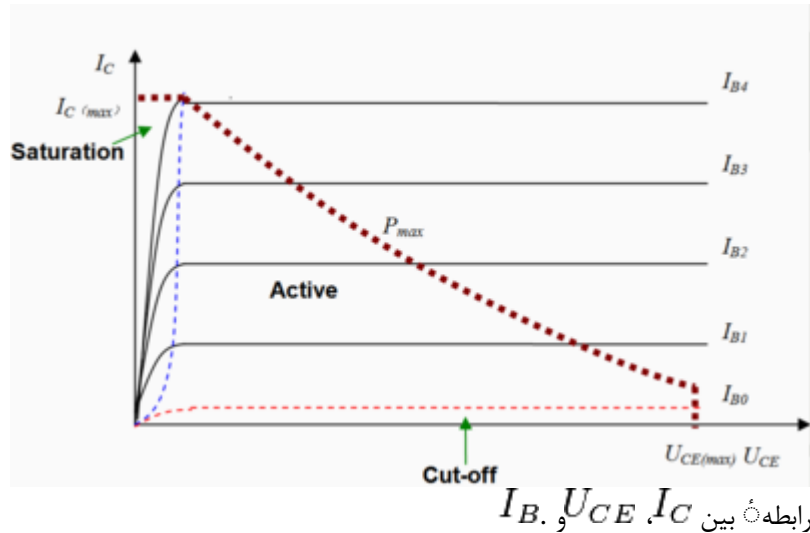
بایاس

تنها سه روش برای بایاس ترانزیستور پیوندی دوقطبی به کار گرفته می‌شود :

1. پیوندهای امیتر-بیس در بایاس موافق و کلکتور-بیس در بایاس مخالف
2. هر دو پیوند در بایاس موافق
3. هر دو پیوند در بایاس مخالف

در حالت اول، در یک ترانزیستور ان پی ان، چون امیتر-بیس در بایاس موافق است، پهنای ناحیه سد آن کاهش می‌یابد و الکترون‌ها به سمت بیس حرکت خواهند کرد، از آنجایی که ضخامت بیس بسیار کم است الکترون‌های بسیار کمی جذب این پایه می‌شوند و چون ناخالصی بیس چندان زیاد نیست الکترون‌های کمی با ناخالصی بیس ترکیب می‌گردند، نزدیک به ۹۵ درصد الکترون‌هایی که از امیتر به سمت بیس می‌روند تحت تأثیر جاذبه شدید میدان کلکتور-بیس قرار می‌گیرند و نتیجه کلی این می‌شود که جریان بین امیتر و کلکتور برقرار می‌گردد .

نواحی کاری



ترانزیستورهای پیوندی دوقطبی می‌توانند در سه ناحیه قطع، اشباع و فعال کار کنند. معمولاً از ناحیه فعال برای تقویت کردن و از ناحیه‌های قطع و اشباع برای کلیدزنی استفاده می‌شود.

برای رسیدن به وضعیت اشباع، با توجه به اینکه در ترانزیستور رابطه $I_C = \beta I_B$ برقرار است، پیوند بیس-امیتر را در بایاس موافق قرار می‌دهند تا جریان کلکتور به حداکثر مقدار خود برسد. در این حالت ولتاژ دو سر پایه‌های کلکتور و امیتر به صفر می‌رسد و اگر مصرف کننده در کلکتور باشد جریان کلکتور از آن نیز خواهد گذشت، در این حالت ترانزیستور مانند یک کلید بسته است و می‌گویند ترانزیستور در حالت اشباع قرار دارد. برای رسیدن به حالت قطع، جریان بیس را صفر می‌کنند تا به تبع آن جریان کلکتور صفر شود، در این حالت دو سر پایه‌های کلکتور و امیتر مانند یک کلید باز عمل می‌کند و اگر مصرف کننده‌ای در مسیر کلکتور قرار داشته باشد هیچ جریانی از آن عبور نخواهد کرد.^{۱۷}

آرایش‌های ترانزیستور پیوندی دوقطبی

با توجه به اینکه ترانزیستور دارای سه پایه است، می‌توان نسبت به محل دادن ورودی و گرفتن خروجی سه حالت کلی را در نظر گرفت که در هر کدام از آن‌ها یکی از پایه‌ها به طور مشترک بین ورودی و خروجی قرار می‌گیرد و بر همین اساس نیز نام‌گذاری می‌گردد. این سه آرایش اصلی عبارتند از امیترمشترک، کلکتورمشترک و بیس‌مشترک. از مشخصات مهم هر آرایش مقاومت ورودی و خروجی آن است که هرچه مقاومت ورودی بیشتر باشد ترانزیستور می‌تواند سیگنال‌های ورودی ضعیف‌تری را تقویت کند و هرچه مقاومت خروجی بیشتر باشد کیفیت سیگنال خروجی ارائه شده به طبقه بعدی تقویت‌کننده بیشتر خواهد شد.^{۱۸}

مشخصات آرایش‌های مختلف ترانزیستور پیوندی دوقطبی^{۱۹}

مقاومت خروجی	مقاومت ورودی	تقویت جریان	تقویت ولتاژ	آرایش
زیاد	کم	بسیار کم	زیاد	بیس‌مشترک
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	امیترمشترک
کم	زیاد	زیاد	بسیار کم	کلکتورمشترک

اتصال بیس مشترک

در این اتصال پایه بیس بین هر دو بخش ورودی و خروجی مدار مشترک است. جهت‌های انتخابی برای جریان شاخه‌ها جهت قراردادی جریان در همان جهت حفره‌ها می‌شود.

اتصال امیتر مشترک

مدار امیتر مشترک بیشتر از سایر روشها در مدارهای الکترونیکی کاربرد دارد و مداری است که در آن امیتر بین بیس و کلکتور مشترک است. این مدار دارای امپدانس ورودی کم بوده، ولی امپدانس خروجی مدار بالا می‌باشد. هنگام استفاده از این آرایش باید در نظر داشت که خروجی آن با ورودی اش ۱۸۰ درجه اختلاف فاز خواهد داشت.

اتصال کلکتور مشترک

اتصال کلکتور مشترک برای تطبیق امپدانس در مدار بکار می‌رود، زیرا برعکس حالت قبلی دارای امپدانس ورودی زیاد و امپدانس خروجی پائین است. اتصال کلکتور مشترک غالباً به همراه مقاومتی بین امیتر و زمین به نام مقاومت بار بسته می‌شود.