درس 7

بخش اول

ابزار نیمه رسانای جامد

مواد نیمه رسانا مانند ژرمانیوم وسیلیکون برای ساخت ابزارنیمه رسانا شبیه دیودها وترانزیستورومدارهای الکتریکی(IC)استفاده شده اند.این ابزاردرمدارهای الکتریکی والکترونیکی استفاده شده اندتا جریان وولتاژراکنترل کنندوکم و بیش به نتیجه دلخواه برسند.برای مثال: یک دیود می تواند به عنوان جزءکنترل کننده در مداریکسویه استفاده شودکه ac رابهdc ضربانی تبدیل کنند.یک ترانزیستوراز طرفی می تواندشبیه یک مقاومت متغییرعمل کنندبه طوری که بتواندسیگنال رادیویی راتقوییت کنند.برعکس یک مدار ترکیبی می تواندبرای تولید یک سیگنال نوسانی استفاده شود یا برای انجام عملیات محاسباتی ساخته شود.

مهم ترین پیشرفت در الکترونیک ازجنگ جهانی دوم یک وسیله ی نیمه رسانای کوچک بوده است که انرا ترانزیستور نامیدند.این وسیله اولین بار درسال 1948توسط مخترعانش ویلیام شوکلی والته برتن وجان باردین درازمایشگاهای تلفن بل معرفی شد وبه عنوان یک وسیله جامد معرفی شد.این واژه به این علت استفاده شد که ترانزیستورمیان پین های ورودی و خروجی اش شامل یک ماده ی نیمه رسانای جامد بود برخلاف لامپ های خلاء قبلی که در میان پین های ورودی وخروجی شان خلاء وجود داشت.

اولین ترانزیستورها با برخوردنقطه ای که در سال 1948 افتتاح شدند به طرز فوق العاده باور نکردنی بودند واین امر مخترعان را دوازده سال دیگرعلاقمند ساخت تا ترانزیستورپیوندی دوقطبی پیوندی راتوسعه دهند (bjt)وانرا در مقادیرتجاری در دسترس قرار دهند.

درسال 1960بسیاری از کارخانه های تولید سیستم الکترونیکی بجای لامپ خلاء کم قدرت وباکاربرد فرکانس های پایین شروع به استفاده ازترانزیستور پیوندی دو قطبی کردند.تحقیق و توسعه درانجام نیمه رسانا یا جامد سرعت یافت وانواع ابزار نیمه رسانا شروع به ظهور کردند.نوعی متفاوت از ترانزیستورموجودترانزیستوربا تاثیرمیزان (fet) نامیده شد که ویژگی های مشابه با ان ترانزیستورهای با لامپ خلاء داشت.

به محض اینکه کشف شد که مواد نیمه رسانا می توانند نور را تولید وحس کنند یک خط جدید ازابزار الکترونیکی نوری در دسترس قرار گرفت.بعداکشف شد که مواد نیمه رسانا می توانند مغناطیس دما و فشار

را حس کنند.درنتیجه انواعی از ابزارسنسوری یاتغییر دهنده ها دربازار پدیدار شدند.همووارہ با انواع متفاوت ازتمام ابزاز نیمه رساناگونه وسیعی از دیودها بوجود امدند که میتوانستند در فرکانس های بالا اصلا ح شوند تنظیم شوندوبه نوسان درایند.حتی امروز واضح است که هنوز هم ارزش بالقوه ی تمام نیمه رسانا ها را مشاهده نکرده ایم.شکل1-7بسیاری از این ابزارنیمه رسانا وجامد را به تصویر می کشد.
اگر چه دیود های نیمه رسانا ورترانزیستورهابه طور وسیعی بعنوان قطعات دقیق و ویژه استفاده میشوداما درسالهای 1959رابرت نویس کشف کرد که بیش از یک ترانزیستورمیتواند روی یک قطعه یتنها از ماده نیمه رساناساخته شود.بلا فاصله قطعات دیگری مانند مقاومت خازن ها ودیودهابه ترانزیستور ها اضافه شدند وسپس به شکل یک مدارکامل روی یک تراشه واحد یا روی قطعه ای از ماده نیمه رسانه مرتبط شدند.این ترکیب قطعات متعدد روی یک تراشه واحد از ماده ی نیمه رسانا یک مدار الکتریکی(IC)یاتراشه ICنامیده شد.امروزه ICبطور گسترده ای درهر شاخه از الکترونیک با صدها وهزارها ترانزیستور استفاده شده اند وقطعات دیگری روی تنها یک تراشه ازماده ی نیمه رسانا ونه بزرکتر از ان قرار گرفته میشوند.شکل 2-7 انواع متفاوت مدارهای الکتریکی رابه تصویر می کشد.

تاثیرات دما برنیمه رسانا

در دماهای بی اندازه پایین الکترون های والانس به طور تنگاتنگی به اتم پدید اورنده چسبیده اند واز سرگردانی بین اتم ها جلوگیری میکنند.بنابراین مواد نیمه رسانای اصلی وخالص بعنوان عایق هایی در برابر دما نزدیک به صفر(16/273- یا69/459-)عمل میکنند.
در دمای اتاق الکترون های والانسانرزی گرمایی کافی را جذب میکنند تا ازاددی رابطه های کوالانسی شان راکه قطب های جفت ایجاد میکنند قطع کند همانطور که در شکل 3-7نشان داده است.بنابراین قابلیت هدایت یک ماده نیمه رسانا دقیقا متناسب با دما میباشد که دران افزایش دما باعث افزایش در رسانایی ماده نیمه رسانا خواهد شد.این بدین معنی است که در افزایش در دما منجر به افزایش در برق رسانایی نیمه رسانا وجریان خواهد شد.

بخش دوم

آلایش مواد نیمه رسانا

در دمای اتاق نیمه رساناهای خالص امکان حرکت رابه مقدار زیاد جریان نخواهد داد.بنابراین تغییراتی به منظور افزایش قابلیت حمل جریان نیمه رساناها ویا قابلیت رسانایی انها باید بکار گرفته شود.آلایش فرایندی است که دران ناخالصی هابه مواد نیمه رسانا اضافه میشوند تا تعداد الکترون های ازاد را افزایش دهند ویا تعداد حفره ها را افزایش دهند. اساسا دو نوع ناخالصی وجود داردکه میتواند به بلو ر های نیمه رسانا اضافه شوند.یک نوع از این ناخالصی ها ماده پنج ظرفیتی نامیده میشود زیرا اتم های ان پنج الکترون والانس دارند.دومین نوع ناخالصی یک ماده سه ظرفیتی نامیده میشود زیرا اتم های ان سه الکترون دارد.مواد نیمه رسانای تغلیظ شده بعنوان ماده ی نیمه رسانای فرعی اشاره دارند زیرا مدت ولانی خالص نمی ماند.

نیمه رسانای نوع n

شکل 4-7(a)نشان میدهد اتم های مواد نیمه رسانا چگونه بعد ازاضافه شدن ناخالصی های اتم پنج ظرفیتی ظاهر خواهند شد.اتم های پنج ظرفیتی که در شکل (b) 4-7فهرست شده اندمی توانندبه سیلیکون مذاب اضافه شوندتاوقتی که خشک شدند ساختارمتبلوری راایجادکنند که به علت اتم های پنج ظرفیتی الکترون اضافی دارد. پنجمین الکترون پنج ظرفیتی جز ارتباط کوالانسی نمی باشد وکمی انرژی نیازداردتا ازاد شودوبه دسته ی رساناواردشودهمانطورکه درشکل4-7(c)نشان داده شد.زیرامیلیون هااتم پنج ظرفیتی نیمه رسانای خالص اضافه شده اند میلیون هاالکترون ازاد برای جریان دراین ماده وجود خواهد داشت.

حتی اگرماده ی نیمه رسانای تغلیظ شده میلیون ها الکترون ازاد دارد با این حال این ماده ازنظرالکتریکی خنثی می باشد.این به این علت است که هر اتم ارسنیک تعداد یکسانی ازپروتون ها ر ا مانند الکترونها دارد واتم های سیلیکون نیزبه همین صورت.بنابراین تعدادکلی پروتونها والکترون ها درنیمه رسانانیزبرابراست ونتیجه ی ان یک بارالکتریکی صفرخالص میباشد.باوجوداین به علت این که ماهم اکنون الکترون های بیشتری نسبت به حفره های دسته ی والانس داریم این ماده یک نیمه رسانای نوع ان نامیده شده است.نیمه رساناهای نوع ان که الکترون های دسته ی رسانای بیشتری نسبت به حفره های دسته ی والانس دارند حامل اقلیت نامیده میشود.درشکل (a)4 - 7 شما میتوانید فراوانی الکترون های دسته ی

رسانارا ببینید.حفره ها دردستهی والانس کم هستندوتوسط انرژی حرارتی تولیدشده زیرا این نیمه رسانادر دمای اتاق میباشد.
وقتی ولتاژی دروسط نیمه رسانای نوع ان به کار میرودهمانطورکه شکل(d)4-7 نشان داده الکترون های اضافی دسته ی رسانای ازاد به سمت قلب مثبت منبع حرکت میکنند.ولتاژبه کار رفته الکترون های اضافی راایجادخواهدکردتاازپیوندهای کوالاسی شان جداشوندوحفره هایی راایجادکنندکه منجربه افزایش جریان وقابلیت رسانایی میشونداگرچه جاری شدن کل جریان دراین نیمه رساناهای نوع ان مجموع الکترون وجریان های حفره میباشد الکترون های دسته ی رسانااکثریت جریان را دربر میگیرند.

نیمه رسانای نوع پی

شکل 5-7(a)نشان میدهد که اتم های ماده نیمه رسانا پس از اینکه ناخالصی های سه ظرفیتی اضافه شده باشند چگونه ظاهر خواهند شد.اتم های سه ظرفیتی که درشکل 5-7(b)فهرست شده اند می توانند به سیلیکون مواد اضافه شوند تا وقتی که سرد شد ساختار متبلوری را ایجاد کنند که دارای حفرهای در دسته والانس از هر اتم سه ظرفیتی می باشد.
ما می توانیم بجای اظافه کردن الکترون هااضافه ی از حفره ها را داشته باشیم.این میلیون ها اتم سه ظرفیتی که به نیمه رسانای خالص اضافه شدده اندمیلیون ها حفره در دسترس برای جریان از طریق این ماده خواهد بود.
حتی اگر ماده نیمه رسانای تغلیظ شده میلیون ها حفره داشته باشد ای ماده هنوز هم از نظر الکتریکی خنثی می باشد .این بدین علت است که هر اتم المینیوم تعداد یکسانی ازپروتون ها را مانند الکترون ها دارند واتم های سیلیکون نیز به همین نحو.بنابر این تعداد کلی پروتنها و الکترونها دریک نیمه رسانا باز هم برابر است و نتیجه ان بار الکتریکی صفر خالص می باشد .با این وجود به علت اینکه حفره های دسته ای والانس بیشتری نسبت به الکترون دارند این ماده رانیمه رسانای نوع پی نامیده اند.نیمه رساناهای نوع پی حفرهای دسته والانس بیشتری نسبت به الگترون های دسته رسانا دارند.این حفره ها حامل اکثریت نامیده شده اند والکترون های حامل اقلیت نامیده شده اند.در شکل 5-7(c)میتوانید فراوانی حفره های دسته ی والانس را مشاهده کنید.الکترون های کمی دردستی رسانا توسط انرژی حرارتی تولید شده اند زیرا نیمه رسانای نوع پی بکار می رود همانطور که در شکل 5-7(d)به تصویر کشیده شده

تعداد زیادی از حفره های واقع درای ماده الکترون ها را از قطب منفی منبع dc به نیمه رسانای نوع ی جذب خواهند کرد.این حفره ها ضاهر میشوند تا حرگت کنند زیرا هر وقت یک الکترون به سمت یک الکترون حرکت میکند ان الکترون حفره ای درپشت خد ایجاد میکند وحفره ها ظاهر میشوند تا بر خلاف جهت الکترون هاحرکت کنند.ولتاژ بکار رفته برخی از الکترون ها را تولید میکند تا از پیوند کووالانسی جدا شوند که منجر به افزایش جریان و قابلیت رسانایی میشوند. اگر چه جاری شدن کل جریان درنیمه رسانای نوع پی مجموعه ای ازجریان هایحفره ای و الکترونی است حفره های دسته والانس اکثریت جریان را تشکیل میدهند.