University Of Guilan

Faculty of Engineering

Computer Group

Micro Electronic Circuit

Solution of Homwork 1

April 2010

دانشگاه گیلان - مهندسی کامپیوتر

1) ژول واحد انرژی است.برای محاسبات در واحد انرژی الکترون بسیار زیاد است.بنابراین واحد اندازه گیری دیگری به نام الکترون ولت تعریف می کنیم.یک الکترون ولت بنا به تعریف برابر است با انرژی یک الکترون وقتی در پتانسیل یک ولت قرار دارد.یا به عبارتی مقدار انرژی که الکترون دریافت می کند تا به مکانی رود که پتانسیل آن یک ولت بیشتر باشد.

$$1ev = 1.6 \times 10^{-19}\, j$$

در حقیقت تحرک پذیری و ضریب پخش با رابطه انیشتین به صورت زیر به هم وابسته اند:

$$\frac{Dp}{\mu p} = \frac{Dn}{\mu n} = v_t$$

که در آن $\frac{KT}{q} = v_t$(که به اشتباه در کتاب بهرامپرور $v_t = KT$بیان شده)ولتاژ معادل دما می گوییم.

(2

به عمل پر شدن حفره با الکترون باز ترکیب می گوییم.بازترکیب عبارتست از بازگشت یک الکترون از نوار رسانایی به نوار ظرفیت بوده وبا تشعع انرژی همراه است.که این انرژی به صورت نور وبسته ای (کوانتومی)آزاد می شود که به آن فوتون می گویند.

(3

عایق ها (insulators) اجسامی هستند که در میدان های الکتریکی معمولی جریان الکتریکی را هدایت نمی کنند.وفقط ممکن است در میدان های خیلی زیاد جریان از آن ها عبور کند.تعداد الکترون های لایه ظرفیت در عناصر عایق 8 الکترون می باشد.چگالی الکترون های آزاد در عایق ها 10^7الکترون در سانتی متر مکعب است.

نیمه هادی ها (semiconductors) هدایت الکتریکی کمتر از هادی ها دارند.ولی قابل کنترل اند.تعداد الکترون های لایه ظرفیت در عناصر نیمه هادی 4 الکترون می باشد.چگالی آزاد در نیمه هادی ها در محدوده بین 10^7تا 10^{23} قرار دارد.از متداول ترین آنها می توان Si وGe نام برد.

(4

هادی ها (conductors) عناصر و ترکیباتی هستند که جریان الکتریکی را به خوبی از خود عبور می دهند.تعداد الکترون های لایه ظرفیت در عناصر هادی 3,2,1 الکترون است.چگالی الکترون های آزاد در فلزات (metal) که جز عناصر هادی هستند,در حدود چگالی اتمی آنها حدودا برابر با 10^{23}الکترون در سانتی متر مکعب است.از بهترین هادی ها ی متداول نقره ومس و آلومینیوم را می توان نام برد.(ساختار نیمه هادی ها در سوال قبل ذکر شد.)

(5

ساختمان بلوری ماده عایق و نیمه رسانا طوری است که همه الکترون های ظرفیت در پیوند

کوالانسی بین اتم های مجاور شرکت می کنند و در دمای صفر مطلق الکترون آزاد ندارند.با

افزایش دما تعدادی از الکترون های ظرفیت انرژی گرمایی کافی کسب می کنند و به صورت الکترون آزاد در می آیند.در دمای اتاق این الکترون ها سبب نیمه رسانایی ویژه کم می شوند.

توضیح آنکه برای داشتن جریان الکتریکی نیاز به دو مولفه است:

1)حامل آزاد 2)مسیر حرکت یا جای خالی برای حرکت

پس در صفر درجه کلوین چون باند والانس نه حامل آزاد و نه جای خالی برای حرکت در هدایت ماده نقشی ندارد.از طرفی در این دما باند هدایت با اینکه جای حرکت دارد و خالی است حامل آزاد ندارد.پس مانند ماده عایق رفتار می کند.

(6

در دمای اتاق ، تعدادی از الکترونهای ظرفیت انرژی کافی کسب کرده ، از نفوذ هسته ی اتم خارج میشوند. اگر در این حالت به بلور ولتاژ خارجی اعمال شود، جریان کمی از آن عبور میکند. با آزاد شدن تعدادی از الکترونها ظرفیت جای آنها در نوار ظرفیت خالی باقی میماند. به جای خالی الکترون در پیوند کووالانسی بین دو اتم مجاور حفره گوییم. هر حفره مانند یک حامل بار مثبت در رسانایی نیمه رسانا شرکت میکند.

حفره ها را باید به عنوان ذرات مستقل در نظر گرفت ، زیرا طبیعت حرکت آنها با الکترون آزاد متفاوت است. وجود الکترون که یک الکترون ظرفیت از یکی از اتمهای مجاور آن با جذب انرژی بسیار کم محل خود را در پیوند ترک کند و ضمن پر کردن حفره موجود ، حفره ی جدیدی در جای خود ایجاد کند. به این ترتیب حفره ها باعث میشوند که الکترونهای ظرفیت همانند الکترونهای آزاد در رسانایی جریان دخالت کنند.به عمل پر شدن الکترون بازترکیب میگوییم.باز ترکیب عبارت است از بازگشت یک الکترون از نوار رسانایی به نوار ظرفیت بوده و با تشعشع انرژی همراه است.

(7

اگر جسمی را در یک میدان الکتریکی قرار دهیم، الکترونها ضمن حرکت تصادفی ، حرکت جهت داری به سمت پتانسیل مثبت نیز خواهند داشت. در این حالت الکترونها در جهت میدان سرعتی دارند که متناسب با شدت میدان الکتریکی و لذا متناسب با ولتاژ اعمال شده است.به این سرعت، سرعت رانشی و به حرکت الکترونها که از این سرعت ناشی میشود جریان رانشی میگوییم.

به عامل تعیین کننده ی سرعت رانشی هر ماده تحرک پذیری آن ماده میگوییم که وابستگی شدیدی به دما دارد.

$$V = \mu E$$

$$\text{Dimension: } \mu = \frac{V}{E} = \frac{\frac{m}{s}}{\frac{v}{s}} = \frac{m^2}{vs} \quad , J = \frac{N}{C}$$

$$\Delta v = \Delta u d \rightarrow \qquad v = Jm \rightarrow \qquad J = \frac{v}{m}$$

(8

رسانایی قابلیت هدایت هر ماده و عبور دادن جریان از آن ماده است که در فلزات رسانایی به دلیل وجود الکترونهای آزاد و حرکت آنها است و در نیمه رساناها در دمای اتاق به دلیل وجود حامل آزاد و حفره برای حرکت است.

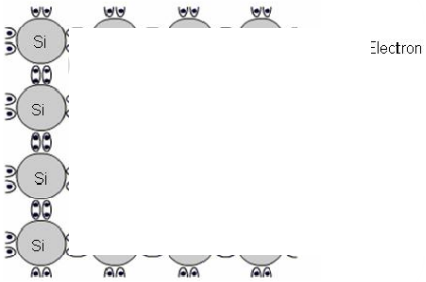
$$\text{Dimension: } \sigma = nq\mu \quad \rightarrow \quad \sigma = \frac{\Omega}{m^3} \times \frac{m^2}{vs} \times c \; = \; \frac{\Omega}{m}$$

$$q = vt \quad \rightarrow c = vs$$

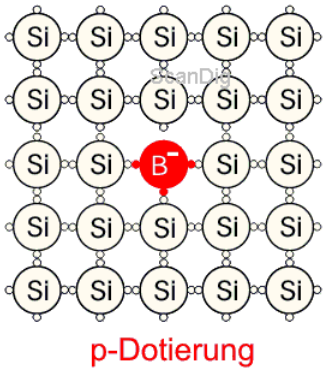
$$i = \frac{dq}{dt} \qquad \rightarrow \qquad \int i = \frac{q}{t}$$

(9

هرگاه درهنگام رشد سیلیسیم، مقداری ماده ی دهنده از گروه پنجم وارد فرآیند رشد کنیم به نیمه هادی نوع n میرسیم. با فرض انتخاب فسفر ، با در نظر گرفتن 5 الکترون، فسفر در تراز ظرفیت آن ، پس از تشکیل بلور فسفر یک الکترون فسفر در پیوندهای کووالانسی شرکت نخواهد داشت. این الکترون در باند ظرفیت نیست زیرا با اندک انرژی نیمه هادی نوع n دارای هدایت خواهد بود. از طرفی این الکترون در باند هدایت نیز نیست چون نیمه هادی نوع n در صفر مطلق کلوین هدایت ندارد. همواره میتوان این الکترون پنجم را که تنها در قید هسته ی اتم فسفر است در روی یک باند جدید در محدوده ی ممنوعه در نظر گرفت.این باند جدید که به تراز دهنده موسوم است در زیر باند هدایت و نزدیک به آن شکل میگیرد.



هرگاه در هنگام رشد بلور سیلیسیم مقداری ماده ی گیرنده از گروه سوم وارد فرآیند رشد کنیم به نیمه هادی نوع p میرسیم. با فرض انتخاب بور، با در نظر گرفتن 3 الکترون در تراز ظرفیت، پس از تشکیل بلور، همواره یک پیوند کووالانسی بین بور و اتم سیلیسیم مجاور تشکیل نمیشود. و اتم بور یک حفره به سیستم بلور میدهد. این حفره در ترازی تحت عنوان تراز گیرنده در باند ممنوعه و نزدیک باند ظرفیت و بالای آن قرار دارد. لذا این حفره ها در افزایش هدایت بلور حاصل نقش تعیین کننده ای دارند.

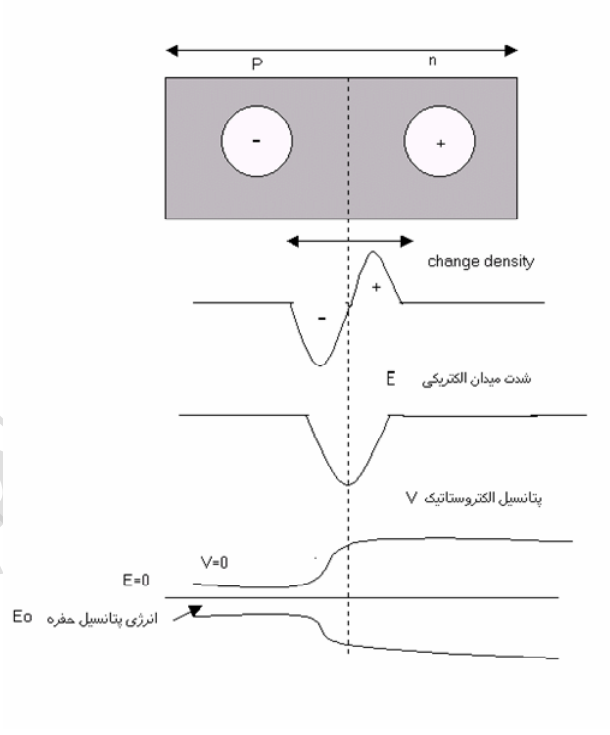


(10

افزایش یا کاهش الکترونها طوری است که حاصل ضرب آن همیشه ثابت است.

$$np = n_i^2$$

(11



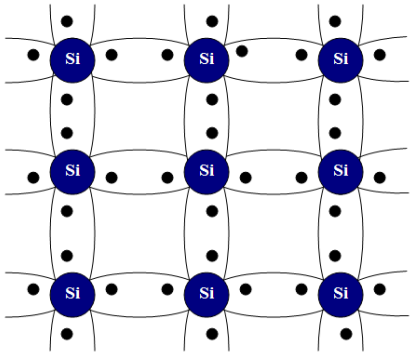
جریان نفوذی الکترون ای آزاد از ناحیه N به ناحیه P باعث خنثی شدن حفره های این ناحیه در نزدیکی پیوند می شود.از طرف دیگر حفره ها از ناحیه P به ناحیه N نفوذ کرده و با الکترون های ازاد ناحیه N در حوالی پیوند ترکیب می شوند . بدین ترتیب ناحیه ای به عرض w در اطراف پیوند حامل های بار الکتریکی ازاد تخلیه می شود. این ناحیه را ناحیه تهی گویند . در بخشی از ناحیه تهی که در اطراف N قرار دارد یون های مثبت ساکن و در طرف P یون های منفی ساکن قرار

گرفته اند . به همین دلیل ناحیه تهی را ناحیه فضای بار نیز می گویند . جهت میدان الکتریکی ایجاد شده در ناحیه تهی به گونه ای است که از انتشار بیشتر حامل های بار ازاد جلوگیری به عمل اورده و بنا براین باعث محدود ماندن عرض ناحیه تهی می شود. به میدان الکتریکی مزاحم ایجاد شده سد پتانسیل گوییم .

(12

نیمه رساناها ازسنگ های معدنی که درصد نسبی بالاتری دارد بدست می آید درابتدا این ماده ازمواد خارجی دیگرجدامی شود برای اینکارابتدا از روش های شیمیایی و پس از روش خالص سازی فیزیکی استفاده می شود تا درجه خلوص به حد بالا مطلوب برسد به ماده خالص که بدین ترتیب بدست می اید نیمه رسانای ذاتی می گوییم به عبارتی به نیمه رسانا های بدون ناخالصی نیمه رساناهای ذاتی گویند

شکل زیر بلور نیمه رسانای خالص Si رانمایش می دهد .



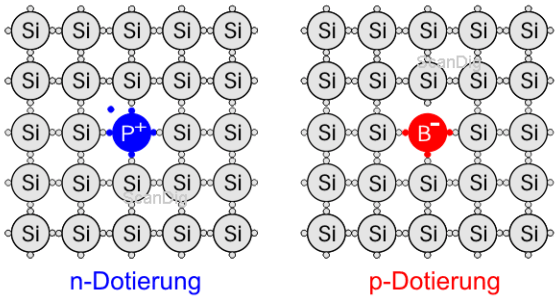
اگر به نیمه رسانای ذاتی ناخالصی اضافه شود نیمه رسانای غیر ذاتی خواهیم داشت که عمدتا این ناخالصی ها عناصر گروه سوم و پنجم است که به نیمه رسانای ذاتی افزوده می شود . نیمه رسانای غیر

ذاتی به دو دسته تقسیم می شود :

1) نیمه رسانای نوع N :با افزودن ناخالصی دهنده گروه 5 مثل آرسنیک ، فسفر

2) نیمه رسانای نوع P : با افزودن نا خالصی گیرنده گروه 3 مثل گالیم ، بور

شکل زیر یک نیمه رسانای غیر ذاتی نوع N و p را نمایش می دهد.



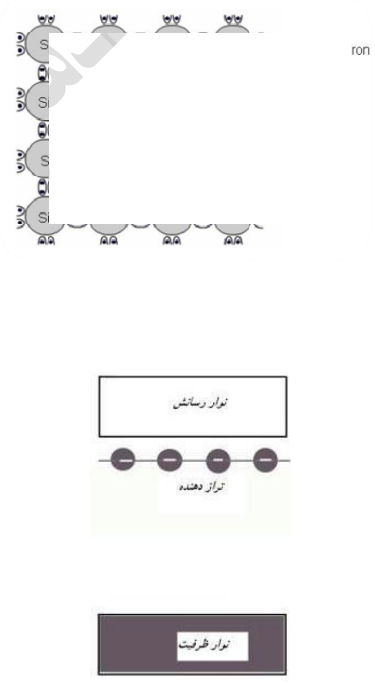
(13

هرگاه درهنگام رشد بلورسیلسیم مقداری ماده دهنده از گروه پنجم وارد فرآیند رشد گنیم به نیمه هادی نوع n می رسیم با فرض انتخاب فسفرو با در نظر گرفتن 5 الکترون تراز ظرفیت آن ،در بلور فسفر یک الکترون فسفر در پیوند های کووالانسی شرکت نخواهد داشت و وابستگی ضعیفی فقط با اتم فسفر دارد ،الکترون های پنجم اتم های مهمان با جذب انرژی بسیار کم بصورت آزاد در می آیند در نتیجه چگالی الکترون آزاد افزایش می یابد این امر باعث میشود که تعدادی از حفره ها در اثر باز ترکیب از بین بروند و چگالی حفره ها کم شود . افزایش و کاهش چگالی الکترونها و حفره ها طوری است که حاصل ضرب انها میشه ثابت است $np = n_i^2$

الکترون پنجم اتم های مهمان در باند ظرفیت نیست زیرا با اندک انرژی نیمه هادی نوع n دارای هدایت خواهد بود از طرفی در این الکترون در باند هدایت نیز نیست چون نیمه هادی نوع n در صفر مطلق کلوین هدایت ندارد ، همواره می توان این الکترون پنجم که در قید اتم فسفر است در روی ی باند جدید در محدوده ی ممنوعه در نظر گرفت این باند جدید که در ناحیه ممنوعه در نظر گرفت این باند جدید که به E_a یا تراز دهنده موسوم هستند در زیر باند هدایت و نزدیک به آن شکل میگیرد در نیمه هادی نوع n حاملهای اکثریت الکترون های اتم های دهنده در باند هدایت هستند و هدایت الکتریکی ماده بیشتر ناشی از آنها ست.

$$Ge : E_c - E_d = 0.01\ ev \qquad Si : E_c - E_d = 0.05\ ev$$

شکل زیر بلور نیمه رسانای نا خالص نوع n بلور Si رانمایش می دهد .



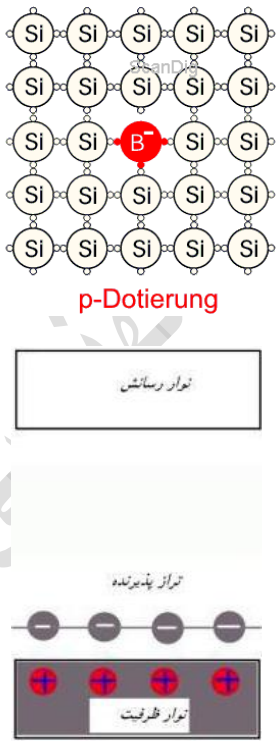
شکل - ساختار نواری سیلیسیوم آلایش شده با فسفر

(14

اگر سیلیکن را مطابق شکل با یک عنصر 3 ظرفیتی مثل بور بیالاییم ، باز اتمهای مهمان مانند اتم های نیمه رسانا در شبکه بلوری شرکت می کنند و سه الکترون ظرفیت خود را با سه اتم سیلیکن مجاور به اشتراک می گذارند و بین اتم بور و اتم چهارم سیلیکن یک جای خالی یا حفره به بوجود می آید ؛یعنی، الکترون ها ظرفیت در اتم های مجاورمی توانند با جذب انرژی کم ($0.05ev$ در سیلیکن و $0.01ev$در ژرمانیم) محل پیوند خود را ترک کرده بین اتم های بور و سیلیکن قرار گیرند . به این ترتیب ، حفره ها افزایش و الکترون های آند کاهش پیدا می کنند و رابطه ی $np = n_i^2$ در این حالت صادق است . به نیمه رسانای ناخالص در این حالت نیمه رسانای نوع p و به اتم مهمان ، اتم پذیرنده می گوییم.

تراز انرژی پذیرنده ،مربوطبه حفره های ایجاد شده بین اتمهای بور و سیلیکن است . به حاملهای بار افزایش یافته در اثر آلایش را حاملهای اکثریت و به حاملهای بار نوع دیگر حاملهای اقلیت می گوییم؛

شکل زیر بلور نیمه رسانای نا خالص نوع p بلور Si رانمایش می دهد .



شکل - ساختار نواری سیلیسیوم آلایش شده با بور

(15

جهت محاسبه دقیق چگالی الکترونها و حفره ها باید به دو نکته توجه کرد :

الف : مواد نیم رسانا باید از نظر بار الکتریکی خنثی باشند . یعنی در یک قطعه نیم رسانا مجموع بارهای مثبت و منفی برابر صفر است .

(1-15)Nd + P – Na – n = 0

ب:حاصلضرب غلظت الکترونها و حفره ها در مواد طبیعی $p.n=(n\text{-sub-}i)^2$ است که بایستی در این رابطه صدق کند .

نیم رسانای نوع n (Nd > Na) :

با جایگذاری رابطه 1-15 در رابطه $p.n=(n\text{-sub-}i)^2$:

$$n^2 - (Nd - Na).n - n_i^2 = 0$$

که انرا برحسب n حل می کنیم داریم :

$$n =((Nd - Na) +((Nd - Na) + 4n_i^2)^{1/2})/2 \quad , \quad n =((Nd - Na) - ((Nd - Na) + 4n_i^2)^{1/2})/2$$

$$p = n_i^2/n$$

که در اغلب موارد داریم :

$$(Nd-Na)>>2n_i \qquad n = (Nd - Na)$$

نیم رسانای نوع p (Nd < Na) :

با جایگذاری رابطه 1-15 در رابطه $p.n=(n\text{-sub-}i)^2$:

$$n^2 - (Na - Nd).n - n_i^2 = 0$$

که انرا برحسب n حل می کنیم داریم :

$$n =((Na - Nd) +((Na - Nd) + 4n_i^2)^{1/2})/2 \quad , \quad n =((Na - Nd) - ((Na - Nd) + 4n_i^2)^{1/2})/2$$

$$n = n_i^2/p$$

که در اغلب موارد داریم :

$$(Na-Nd)>>2n_i \qquad p = (Na - Nd)$$

دانشگاه گیلان - مهندسی کامپیوتر