

آیا می‌دانستید با عضویت در سایت جزوه بان می‌توانید به صورت رایگان جزوات و نمونه

سوالات دانشگاهی را دانلود کنید؟؟

فقط کافیست روی لینک زیر ضربه بزنید



[ورود به سایت جزوه بان](#)

Jozveban.ir

telegram.me/jozveban

sapp.ir/sopnuu

جزوات و نمونه سوالات پیام نور



@sopnuu
jozveban.ir

جزوه درس فیزیک الکترونیک

دکتر کردرستمی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر

پاییز ۱۳۹۰

۱۳۹۰/۷/۱۴ جمعه اول بنام خدا فیزیک الکترونیک

solid state Electronic Devices

کتاب: فیزیک الکترونیک استریت من

فهرست مطالب

- نیمه هادها

- doping

- حبابه / چگال حامل

- پیوند P-N (دیود)

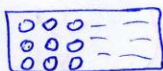
- ترانزیستور BJT و MOSFET

- optoelectronics

شبکه کریستالی (crystal lattice):

جامدات از نظر شبکه را می توان به سه دسته تقسیم نمود:

- ① شبکه کریستال / crystalline lattice
- ② جامدات بی شکل / amorphous solids
- ③ جامدات چند کریستالی / Polycrystalline solids



کریستال: اتم ها در یک شبکه منظم تکرار شده ۴ به خود ملحق هستند.



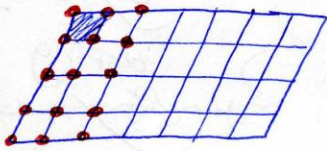
بی شکل: اتم ها هیچ نظم ندارند.

چند کریستالی: اتم ها در حوضه های مختلف شبکه منظم ها کریستال متفاوت هستند.



نیمه هادها و دیودها شبکه کریستالی هستند.

سلول واحد (unit cell):
از کنار هم قرار دادن سلول واحد می توان کل شبکه کریستال را ایجاد نمود.



مثال: شبکه کریستال دایمی

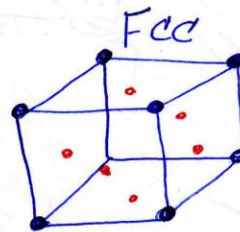
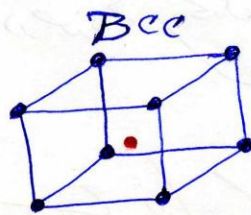
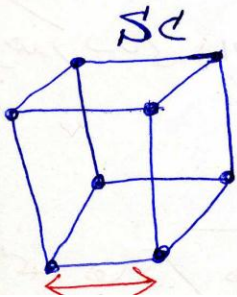


معمولاً کوچکترین سلول واحد را نظری کنیم و آن را سلول اولیه (primitive cell) می نامیم



شبکه های مکعبی (cubic lattice):
سلول واحد آن ها مکعبی است.

- | | | | | | |
|---|-------|---------------------|---|-----|-----------------|
| { | (Sc) | Simple cubic | { | (۱) | سلول واحد مکعبی |
| | (Bcc) | Body centered cubic | | (۲) | |
| | (Fcc) | Face centred cubic | | (۳) | |



2)

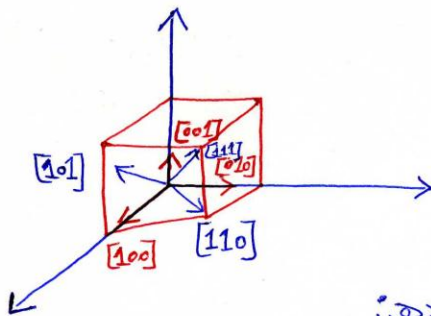
نزدیکترین همسایگی : nearest neighbor distance

کوچکترین فاصله بین دو اتم از سول فلید نزدیکترین همسایگی می نامند.

طول ضلع سول فلید ^{مربعی} فاصله بین شبکه (lattice constant) می گویند. (a)

شبکه	نزدیکترین همسایگی
SC	a
BCC	$\frac{\sqrt{3}a}{2}$
FCC	$\frac{\sqrt{2}a}{2}$

جهت های کریستالی :



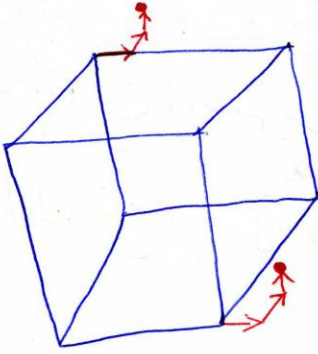
جهت های کریستالی [100] و [010] و [001] مشابه هستند و آنرا را با $\langle 100 \rangle$ نشان می دهند.

$$\left\{ \begin{array}{l} [110] \\ [011] \\ [101] \end{array} \right\} \langle 110 \rangle$$

شبکه الماس : Diamond lattice

Si و Ge دارای شبکه کریستالی الماس هستند.

شبکه الماس را می توان به صورت یک شبکه FCC در نظر گرفت که به ازای هر اتم آن یک اتم دیگر در فاصله $\frac{\hat{a}_x}{4} + \frac{\hat{a}_y}{4} + \frac{\hat{a}_z}{4}$ از آن قرار گرفته است.



به این ترتیب FCC درون مکعب مرکزها گیرند. یعنی طول واحد FCC آن FCC FCC آن FCC آن مرکز دارند.

در نیمه ها در مرکب GaAs آن Ga جابجایی ها FCC مرکز دارند و چپ را آن داخل آن As است.

۳۹۰/۷/۲۱

③

جبهه دوم

بنام خدا

فیزیک الکترونیک

Steve Jobs

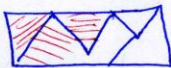
روشن گوییم **Si** :

Si در طبیعت به صورت SiO_2 وجود دارد.



EGS $\rightarrow$ Electronic Grade Si
دلایل خاص مناسبت برای کار الکترونیک

EGS تک کریستالی نیست و بصورت چند کریستالی است.

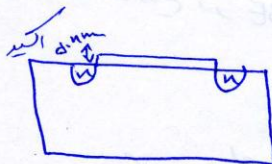


روش زخوالسکی (Czochralski)

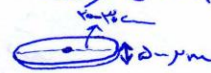
برای تبدیل EGS به سیلیکون تک کریستالی از این روش استفاده می شود.

با نزدیک کردن قطعه Si تک کریستالی با جهت کریستالی مورد نظر که به آن seed میگویند به Si مذاب به آهستگی مولکول ها Si مذاب به seed پیوسته و جامد می شوند. به این ترتیب در ادامه یک نوار Si با همان جهت کریستالی seed به دست می آید.

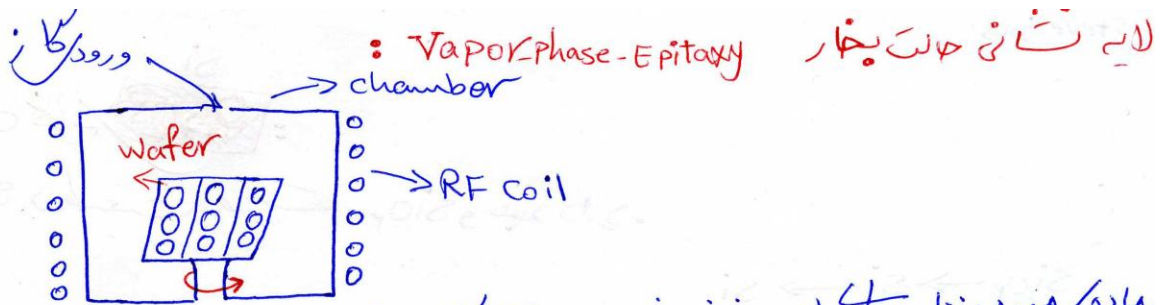
با برداشتن دادن نوار Si تک کریستالی بصورت صفحات دایره ای چینی نازک، وینفر (wafer) ایجاد می گردد.



۵۰۰ μm
..... ابعاد ضخامت
اکسید



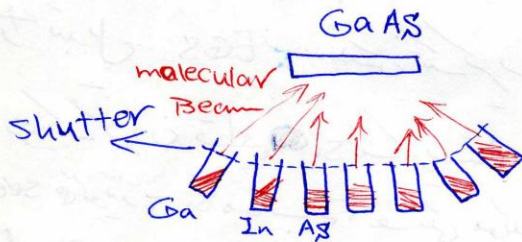
در



ماده مورد نظر برای لایه نشانی بصورت گاز وارد chamber می شود به دلیل دما بالا داخل chamber در سطح وینفر واکنش شیمیایی رخ داده و لایه مورد نظر در سطح وینفر ایجاد می گردد.

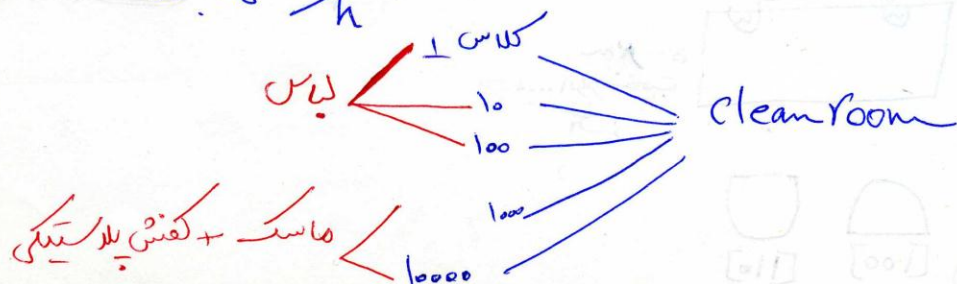
لایه نشانی پرتو مولکولی (MBE) : Molecular Beam Epitaxy

MBE قادر به ایجاد لایه های نازک تر در دماهای پایین تر در مقایسه با VPE می باشد.



در MBE مواد در مخزن های فریالند که حرارت داده می شوند و به صورت گاز در می آیند. ریکم که این مخزن (shutter) می تواند بسیار دقیق مقدار خیلی کمی از یک گاز را آزاد کند و به وینفر تشکیل لایه دهد.

سرعت رشد لایه در MBE معمولاً کمتر از $\frac{1 \mu m}{h}$ می باشد



(4)

Quantum

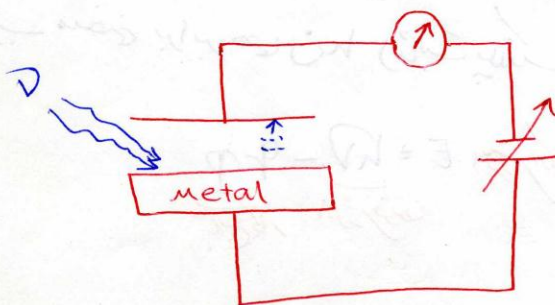
مقدمه اثر بر کو انشعوم

The photoelectric effect

اثر فوتو الکتریک



با تاباندن موج الکترومغناطیس از فرکانس ها خاصه از سطح فلز الکترون خارج می شود



انرژی الکترونی که در پتانسیل B متراکم می شود

برابر است با $E = qV$ (ev)

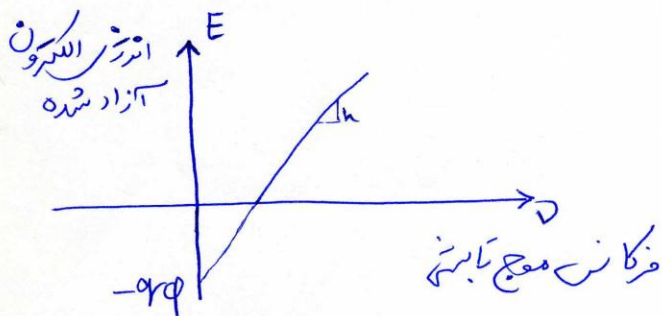
$$q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

اینستیشن با تغییر ولتاژ اعمالی جریان را به صفر رساند به این ترتیب انرژی الکترون ها را به دست آورد.

ولتاژ پتانسیل است که جریان در آن صفر می شود.

$$E = qV$$



تراز خلأ Vacuum level تراز خلأ
به آن انرژی رسیدیم، می توان از سطح ماده بیرون
بزنند و آزاد شود.
ظرفیت در فلز

(4)

حداقل انرژی لازم برای برکنار کردن سید الکترون ها از فندمان تابع کار می گویند .

تابع کار $\phi [eV] \leq 99 [eV]$

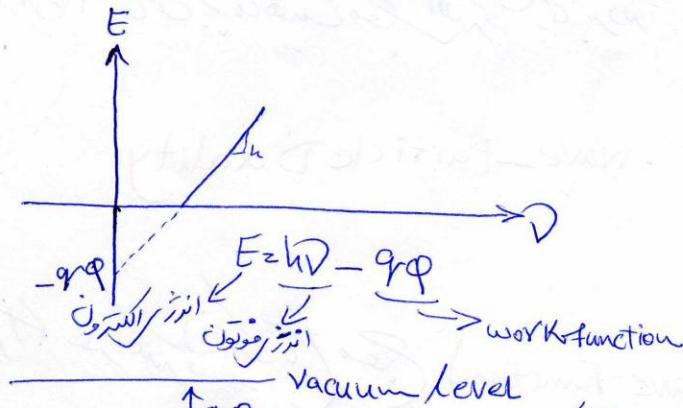
اینستین مشاهده کرد در فرکانس ها پایین الکترون ها آزاد نمی شوند.
ولی از فرکانس به بعد با افزایش ν انرژی الکترون ها آزاد شده افزایش می یابد
شیب منحنی برابر همان h (ثابت پلانک) به دست می آید.

$$E = h\nu - \phi$$

انرژی الکترون تابع کار انرژی فوتون

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

کوانتم

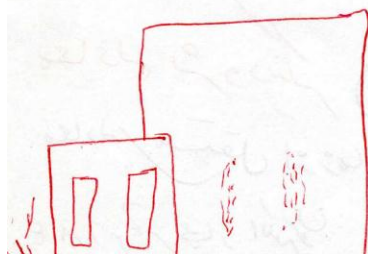
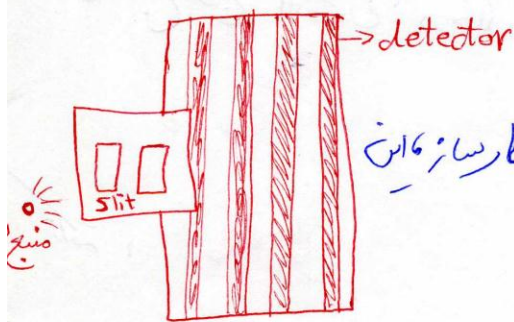


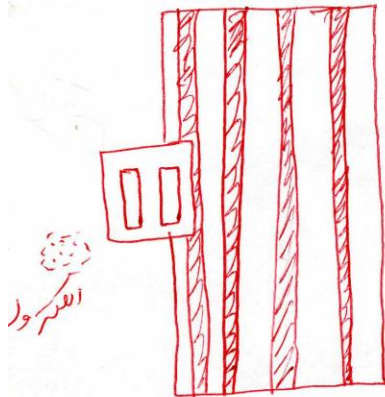
تراز خلأ صفران انرژی است که اگر الکترون به آن برسد از ماده جدا می شود

بنابر این ایده ماهیت کوانتمی نور مطرح گردید و گفته شد که می توان نور را بصورت انرژی های جدا بینا مخلوقات در نظر گرفت.

$E = h\nu$ انرژی فوتون
که ثابت پلانک
فرکانس موج الکترومغناطیسی

آزمایش two-slit Experiment شکاف دوز
ماهیت موجی نور و تلاخی دو موج در صفحه ای که کار ساز و این
بیریه را توجیه می کند.





از این آزمایش به ماهیت موج الکترون پی بردند

Wave-Particle Duality

برای هر الکترون یک تابع موج (Wave Function) در نظر میگیرند و آن را معمولاً ψ نشان میدهند

احتمال یافتن یک الکترون با تابع موج $\psi(x, y, z)$ در حجم $dx dy dz$ از رابطه زیر بدست می آید.

$$\int_{z_1}^{z_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \psi \psi^* dx dy dz$$

مثلاً تابع موج الکترون آزاد در خلا بصورت زیر است:

$$\psi(x) = A e^{ikx}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi \psi^* dx dy dz = 1$$

نکته:

معادله شرودینگر (Schrödinger Equation)

معادله مستقل از زمان شرودینگر بصورت زیر می باشد:

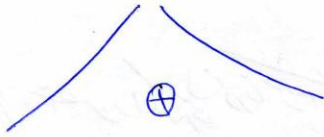
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V \psi = E \psi$$

E انرژی مجاز الکترون
 V پتانسیل

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

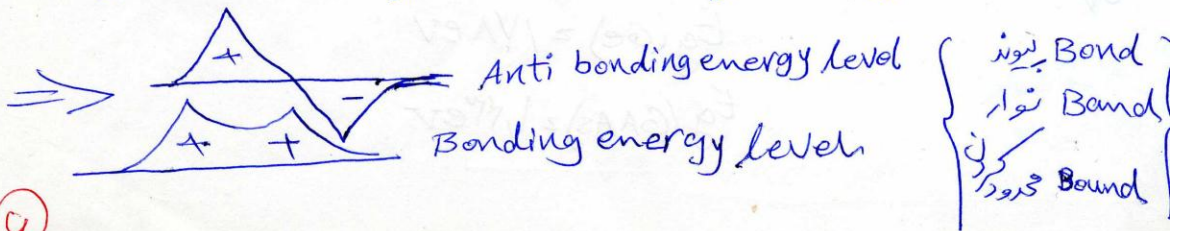
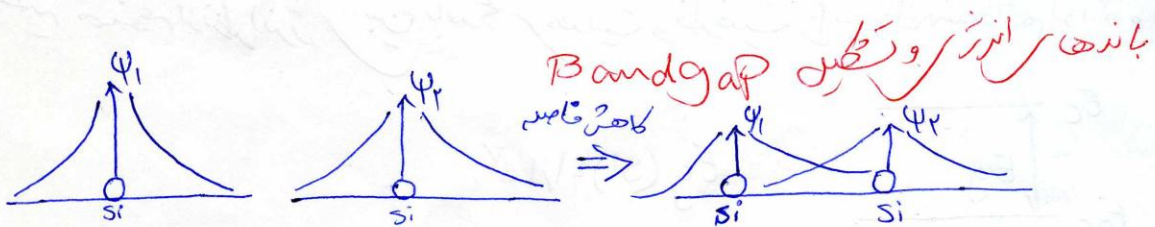
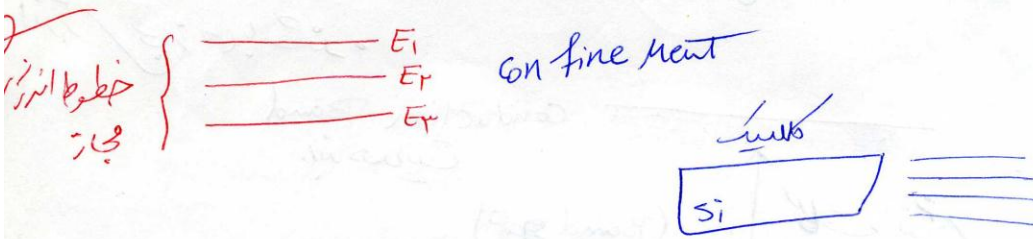
$$\nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$$

6



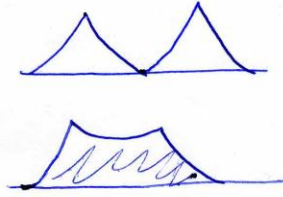
معادله شرودینگر تابع موج الکترون را در یک سیستم پتانسیل مشخصه
 به ما می‌دهد. همچنین انرژی مجاز الکترون نیز از آن بدست می‌آید.
 ورود معادله شرودینگر پتانسیل سیستم است.

منظور از انرژی مجاز این است که الکترون در سیستم چه انرژی مجاز می‌تواند داشته باشد.
 بر خلاف دینار کلاسیک که انرژی را پیوسته هستند، در کوانتوم انرژی مجاز سیستم هستند.



(4)

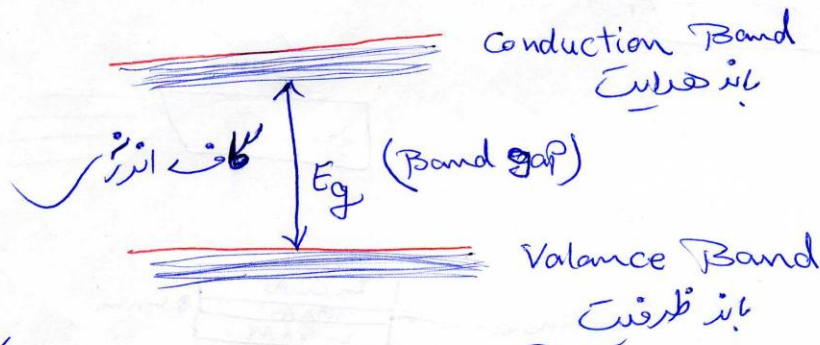
$$|\psi|^2 \Rightarrow$$



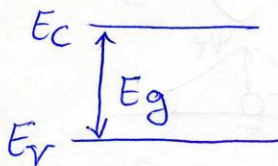
احتمال حضور الکترون در ناحیه بین دو اتم
با انرژی Bonding بیشتر است.

در واقع تراز Bonding (پیوندی) همان انرژی الکترون است که به انرژی اتمی اتمی که جدا شده در پیوند کووالانسی می یابند.

در یک نمونه سیلیسیم تعداد خیلی زیادی پیوند Si-Si وجود دارد.
هر دو اتم Si که پیوند ایجاد می کنند الکترون ها پیوند دو انرژی را خواهند داشت
این انرژی را که برای پیوند ها یکسان است واندکی متفاوت است بنابراین می توان گفت که الکترون ها در کل ماده Si یکسان (دو بانده) (تولید)
انرژی می یابند.



ناحیه ممنوعه از نظر انرژی بین باندها ظرفیت و هدایت را Bandgap می گویند.

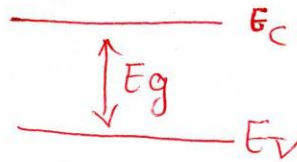
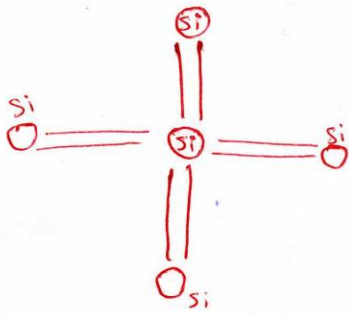


$$E_g(\text{Si}) = 1.1 \text{ eV}$$

$$E_g(\text{Ge}) = 0.7 \text{ eV}$$

$$E_g(\text{GaAs}) = 1.42 \text{ eV}$$

مدل اتمی و مدل انرژی



E_g مدل اتمی و مدل انرژی لازم است که اگر به الکترون داده شود از بند پیوند رنج شده می تواند در کل جدا شود.

انرژی الکترون که پیوند E_v می باشد.

الکترون که آزاد شده از پیوند از نظر انرژی از E_v به E_c منتقل شده است.

در صفر کلوین، الکترون هیچ انرژی برای سدن از پیوند ندارند.

از آنجا که برای هدایت الکترون به جای الکترون هار ماده نیاز است.

و در صفر کلوین هیچ الکترون آزاد در مدار نمی بینیم در 0K ماده از آنکه ما نزدیک عایق عمل می کند.

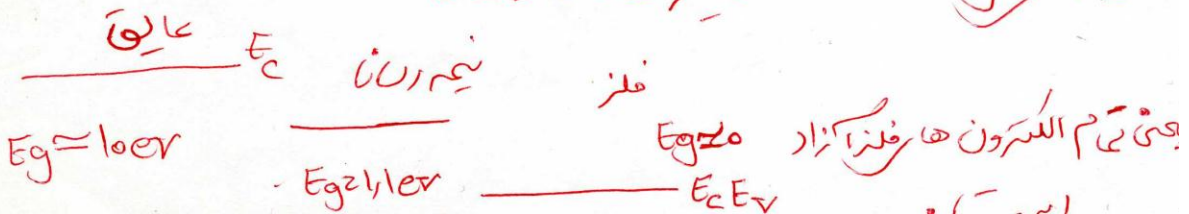
در این حالت باند ظرفیت پر از الکترون است و باند هدایت کاملاً خالی است.

با افزایش دما تعداد از الکترون ها می توانند انرژی را بدست آورده (thermal Energy)

و به E_c غلبه کنند و آزاد شوند (از E_v به E_c منتقل شوند) و در هدایت شرکت کنند.

در نتیجه در دماها بالا تر مقاومت کم می یابد.

معایب E_g در دماها و نیم رسانا و نارسانا



۱۳۹۷/۸/۵

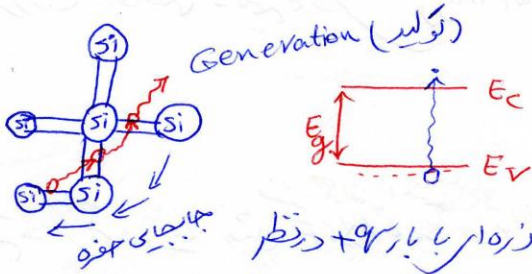
مدرس صبور

8

بنام خدا

فیزیک الکترونیک

مفهوم حفره (hole)



با آزاد شدن هر الکترون، یک پیوند ناقص می گردد.

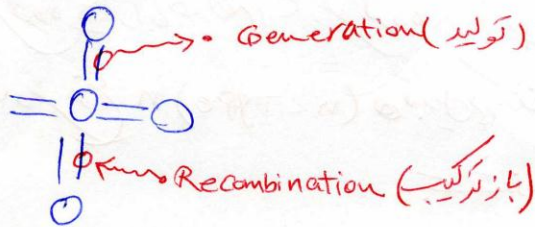
چگالی الکترون در پیوند را حفره می نامیم و آنرا مانند ذره بار $+q$ با بار $+q$ در نظر

می گیریم.

انتقال الکترون بین پیوند به سر مجاور عامل جابجایی حفره است.

با آزاد شدن هر الکترون نیز یک حفره ایجاد می گردد.

الکترون آزاد می راند لذا حفره ترکیب شود و یک پیوند کامل ایجاد کند. در این فرآیند هر دو الکترون آزاد و حفره از بین می روند.



زوج الکترون-حفره $EHP = \text{Electron} - \text{Hole Pair}$

بنابراین در یک نیمه رسانا خاص (ذاتی) (Intrinsic)، تعداد الکترون و حفره در واحد حجم با هم برابر است.

$$n = p = n_i$$

تعداد الکترون و با آزاد در واحد حجم (تعداد چگالی غنظت) الکترون

در حفره ها $p =$ حفره

حامل بار charge carrier

n_i چگالی حامل در ذاتی (یعنی E_g و دما بستگی ندارد)

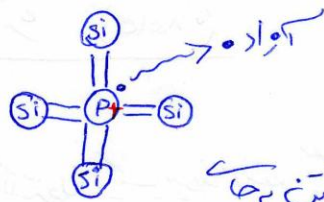
n_i تعداد حفره در (الکترون ها) در واحد حجم در نیمه رسانا خاص

$$n_i(\text{Si}) \Big|_{T=300\text{K}} = 1.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-3}$$

$$1.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-3} = \text{تعداد اتمی در سیلیسیم در واحد حجم}$$

از آنجا که تعداد اتمی نیمه رسانا در چگالی الکترون و حفره بستگی دارد و در دما $T=300\text{K}$ در Si ، این تعداد در مقایسه با چگالی اتمی هار Si کم است، Si در $T=300\text{K}$ هدایت مناسبی ندارد.

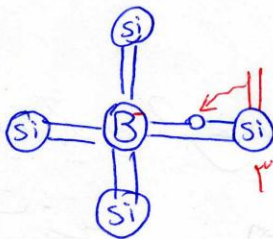
افزودن ناخالصی - نیمه رسانا (Doping)



اتم‌های گروه ۵ مثل P, As, Sb می‌توانند با قفل گرفتن به جای یک اتم Si چهار الکترون ولایم ظرفیت خود را در پیوند شرکت دهند اما الکترون پنجم ولایم ظرفیت آنها برای جفت‌گیری و پایداری کردن نیاز ترکیبی ندارند آزاد شود. یعنی می‌توان اتم‌ها را به اتم‌های ناخالصی گروه ۵ یک الکترون آزاد به نیمه‌ها اضافه می‌شود.

اتم‌های گروه ۵ را ناخالصی n می‌گویند و اضافه کردن آنها نیمه رسانا را به نیمه رسانای نوع n (n -Type) تبدیل می‌کنند.

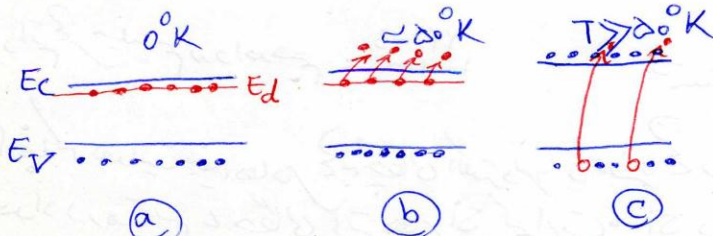
بخشنده n -Type Impurity = Donor



اتم‌های گروه ۳ مثل B, Al, In, Ga می‌توانند یک حفره به شبکه اتمی اضافه نمایند. یک حفره = هدرام ناخالصی گروه ۳ پذیرنده P -Type Impurity = acceptor

اتم ناخالصی نوع n با آزاد کردن الکترون خود به یون $+$ تبدیل می‌شود و اتم ناخالصی نوع p با جایابی حفره (دریافت الکترون) به یون $-$ تبدیل می‌شود.

doping و مدل انرژی



(9)

الکتران‌ها را نیمه‌رسانا خالص در قید هسته اتم سرد هستند (در $0^{\circ}K$)
 الکتران‌ها پیوند در قید پیوند هستند (در $0^{\circ}K$)
 هیچ الکتران آزاد در وجود ندارد.

(a)

$n > p$

(b) حتی در دما پایین حدود $5 \times 10^6 K$ الکتران‌ها را خالص آزاد نمی‌شوند. (از E_c به E_v)

(c) در دما بالاتر الکتران‌ها پیوند شکن می‌توانند آزاد شوند. (از E_v به E_c بروند)

چگونه الکتران‌ها آزاد می‌شوند؟

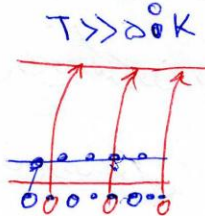
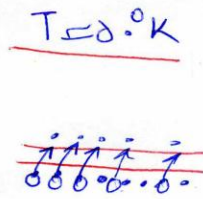
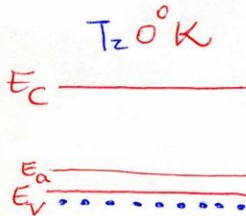
N_D تعداد اتم‌ها را خالص نوع n در واحد حجم
 N_A تعداد اتم‌ها را خالص نوع p در واحد حجم

a) $n \approx 0$

b) $n \approx N_D$

c) $n \approx N_D$

$N_D \gg n_i \Rightarrow n \approx N_D$



نوع n در نوع p

$p > n$

(a) هیچ الکتران آزاد وجود ندارد اما انرژی مجاز جدید تریس E_v ایجاد شده که خالی است.

(b) به تعداد اتم‌ها را خالص در E_v حفره ایجاد می‌شود (الکتران‌ها حفره‌ها را نیمه‌رسانا خالص را پر می‌کنند).

(c) در دما بالاتر علاوه بر اتم‌ها را خالص حفره‌ها را زانی می‌شود نیز بوجود می‌آید.
 چگونه حفره‌ها را آزاد می‌شوند؟

a) $p \approx 0$

b) $p \approx N_A$

c) $p \approx N_A$

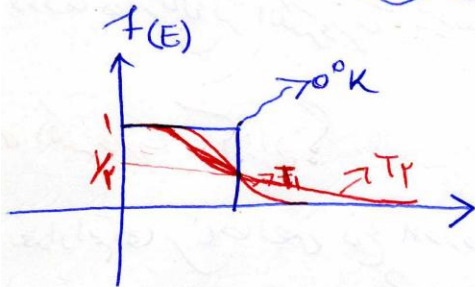
$n \approx p \approx n_i$

if $N_A \gg n_i \Rightarrow p \approx N_A$

تابع توزیع فرمی Fermi Distribution Function

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{\frac{(E-E_F)}{kT}}}$$

تابع توزیع فرمی احتمال اشغال تراز انرژی E را در دما T بیان می‌کند.
 با این ترتیب می‌توان توزیع الکترون‌ها را در انرژی‌های مختلف را بدست آورد.



E_F = انرژی فرمی (تراز فرمی)

احتمال اشغال E_F $\frac{1}{2}$ است. $F(E_F) = \frac{1}{2}$

$$T = 0^\circ K \quad F(E) \Big|_{E < E_F} = 1$$

$$F(E) \Big|_{E > E_F} = 0$$

$F(E)$ = احتمال وجود الکترون در انرژی E

$1 - F(E)$ = احتمال خالی بودن در انرژی E

(احتمال وجود صفره در انرژی E)

۱۳۹۰، ۸، ۱۲

(10)

جلسه پنجم

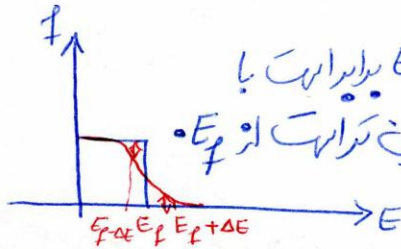
بنام خدا

فیزیک الکترونیک

ادامه تابع توزیع فرمی:

نکته: تابع توزیع فرمی نسبت به انرژی متقارن است.

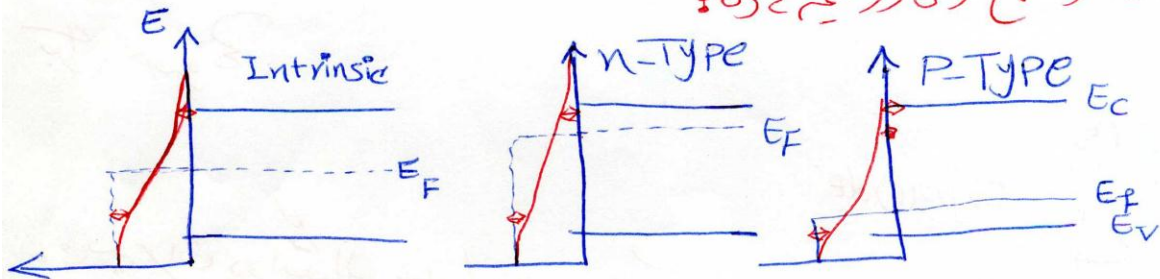
$$f(E_F + \Delta E) = 1 - f(E_F - \Delta E)$$



احتمال اشغال کردن انرژی به اندازه ΔE بالاتر از E_F برابر است با

احتمال خالی بودن انرژی به اندازه ΔE پایین تر از E_F است.

استفاده از تابع فرمی در نیمه هادی:



احتمال وجود الکترون در باند هدایت

||
احتمال وجود حفره در باند ظرفیت

برای doping نوع n افزایش باید، فاصله $E_C - E_F$ کمتر شود.

برای doping نوع p افزایش باید، $E_F - E_V$ کمتر شود.

سوال ۸

$$\left. \begin{array}{l} E_C \xrightarrow{N_D} \uparrow \text{ } \downarrow \text{ } E_V \\ E_C \xrightarrow{N_A} \uparrow \text{ } \downarrow \text{ } E_V \end{array} \right\} \Rightarrow N_A > N_D$$

محاسبه n و P

چگالی الکترونها باند هراست در حالت تعادل از رابطه زیر بدست می آید:

$$n = \int_{E_c}^{\infty} F(E) N(E) dE$$

چگالی نرنرنج
انرژی

Density of states (DOS)

$N(E) dE$: چگالی نرنرنج انرژی را در واحد حجم در محدوده انرژی dE را به ما می دهد

بیرا حفره چیست؟

$$P = \int_{-\infty}^{E_v} [1 - f(E)] N(E) dE$$

باقی بماند است دو استرال روابط زیر بدست می آید:

$$\left. \begin{array}{l} n = N_c F(E_c) \\ P = N_v [1 - F(E_v)] \end{array} \right\} \begin{array}{l} N_c \text{ در باند هراست} \\ N_v \text{ در باند ظرفیت} \end{array} \text{ Effective DOS}$$

تقریب تابع توزیع فرمی:

$$f(E_c) = \frac{1}{1 + e^{\frac{(E_c - E_f)}{KT}}} \approx e^{-\frac{(E_c - E_f)}{KT}} \quad E_c - E_f \gg KT$$

$$1 - f(E_v) = 1 - \frac{1}{1 + e^{\frac{(E_v - E_f)}{KT}}} = \frac{e^{\frac{(E_v - E_f)}{KT}}}{1 + e^{\frac{(E_v - E_f)}{KT}}} \approx e^{-\frac{(E_f - E_v)}{KT}}$$

شرط قبول تقریب: $E_f - E_v \gg KT$

11)

$$kT = 0.025 \text{ eV} \approx 25 \text{ meV}$$

$$\frac{kT}{q} = 0.025 \text{ V} \approx 25 \text{ mV}$$

$$n = n_c e^{\frac{-(E_c - E_f)}{kT}}$$

$$p = n_v e^{\frac{-(E_f - E_v)}{kT}}$$

سوال: رابطه بین n_i و n و p را بنویسید.

حل: $n = p = n_i$ داریم

$$\frac{E_g}{q} = E_f - E_v = E_c - E_f$$

$$n = n_i = n_c e^{\frac{-E_g}{2kT}}$$

$$p = n_i = n_v e^{\frac{-E_g}{2kT}}$$

$$p \cdot n = n_i^2 = n_c n_v e^{\frac{-E_g}{kT}}$$

$$n_i = \sqrt{n_c n_v} e^{\frac{-E_g}{2kT}}$$

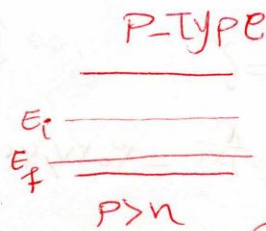
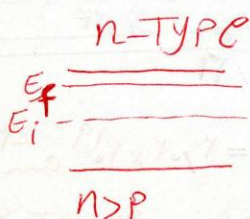
$$n \cdot p = n_i^2$$

رابطه بین n و p و n_i در حالت تعادل

رابطه دیگر

در مرکز ذرات (همیشه وسط E_g در نظر میگیریم).

سوال:



فاصله E_f و E_i معیار از چگالی حامل ها است.

مثال: یک نمونه Si با 10^{17} cm⁻³ AS دope شده است. چگالی مغز در حالت تعادل

در دما ۳۰۰ K چقدر است؟

$$n_i = 1.5 \times 10^{10}$$

$$N_D \gg n_i \Rightarrow n \approx N_D$$

$$N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3} \gg n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$n \approx N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

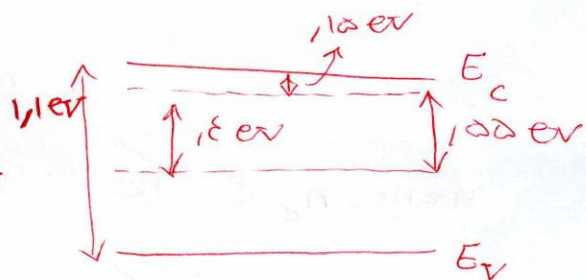
$$np = n_i^2 \quad 10^{17} p = (1.5 \times 10^{10})^2 \Rightarrow p = 2.25 \times 10^{-3}$$

Bands را رسم کنید.

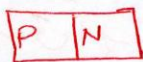
$$p \approx n_i e^{\frac{(E_i - E_f)}{KT}}$$

$$E_i - E_f = KT \ln\left(\frac{p}{n_i}\right)$$

$$E_i - E_f = 24 \text{ meV} \ln\left(\frac{2.25 \times 10^{-3}}{1.5 \times 10^{10}}\right) = 1.1 \text{ eV}$$



مثال: در یک دیود میزان ناخالصی ناچیز n برابر 10^{18} cm⁻³ و ناچیز p برابر 10^{14} cm⁻³ است. چگالی الکترونها و مغز در حالت تعادل را بیابید. مقادیر N_C و N_V را هم بکشید.



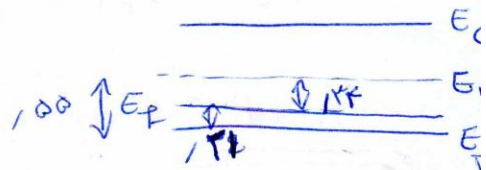
$$P\text{-TYPE: } N_A = 10^{14} \text{ cm}^{-3} \gg n_i \Rightarrow p \approx 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{10^{14}} = 2.25 \times 10^6$$

$$E_f - E_i = KT \ln \frac{n}{n_i} = 24 \ln \left(\frac{2.25 \times 10^6}{1.5 \times 10^{10}} \right) = -1.34 \text{ eV}$$

$$E_c - E_f = 1.89 \text{ eV}$$

$$p \approx N_V e^{\frac{(E_f - E_V)}{KT}} \quad N_V = ?$$



$$10^{14} = N_V e^{\frac{-1.34}{0.0258}} \Rightarrow N_V = 10^{14} e^{\frac{51.94}{0.0258}} = 3.027 \times 10^{19} = 3.027 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

۱۹/۸/۹۰

(12)

بنا ۳۴

فیزیک الکترونیک

مثال:



میزان دپننگ n

$$n = n_i e^{(E_f - E_i) / kT}$$

$$E_f - E_i = \frac{11}{2} eV - 12 eV = -0.5 eV$$

$$n = (1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}) e^{\left(\frac{-0.5}{0.025}\right)} \approx 1.4 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$$

بار الکتریکی،
طوری در نیمه هادی در حالت تعادل داریم:

$$P + N_D^+ = n + N_A^-$$

چگالی اتم داپلر؟
نوع م که ب یون تبدیل
شده است.
چگالی اتم؟
نوع م که ب یون تبدیل
شده است.

بنابراین کل نیمه هادی در نظر بار الکتریکی خنثی می باشد. (در حالت تعادل)

رسانایی و قابلیت تحرک: Conductivity and mobility

به علت جابجایی حامل در نیمه هادی و وجود پتانسیل در خود در مختلف در همراه آنها،
طوری که توان یک سرعت متوسط پیدا جابجایی حامل در میدان الکتریکی در نظر گرفت.

$$\vec{V} = -\mu_n \vec{E}$$

منتهی به این خاطر است که الکترون در جهت میدان جابجا شده است

Electron mobility

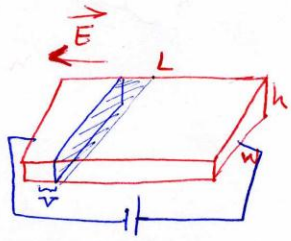
$$\mu_n(\text{Si}) = 1350 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$$

$$\vec{V} = \mu_p \vec{E}$$

$$\mu_p = \text{hole mobility } \mu_p(\text{Si}) = 480 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$$

حساب جریان قانس از میدان الکتریکی:

یک نوع نیمه رسانه در نوع n داریم



تعریف جریانی: مقدار بار عبور از سطح مقطع نیمه رسانه در واحد زمان.

در واحد زمان Δt

سرعت الکترون $v = -\mu_n E$

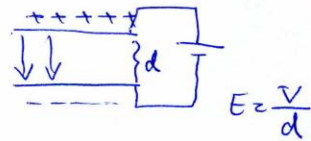
$\Delta n = v \cdot \Delta t = v$

n چگالی الکترون در واحد

حجم

تعداد الکترون که در حجم هائو حفره $= n \cdot (h \cdot w \cdot v) \cdot \Delta t$

بار الکتریکی در حجم مشخص شده $= q \cdot n \cdot v \cdot A \cdot \Delta t$



$\Rightarrow I = q \cdot n \cdot \mu_n E A$

چگالی جریانی $J_n = \frac{I_n}{A} = q \cdot n \cdot \mu_n E$

رابطه کامل چگالی جریانی با در نظر گرفتن حفره:

$J = q \cdot (n \mu_n + p \mu_p) E$

$J = \sigma E$

$\sigma = q \cdot (n \mu_n + p \mu_p)$

σ = conductivity رسانندگی

$\rho = \frac{1}{\sigma}$ = Resistivity مقاومت ویژه

$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow R = \frac{L}{\sigma A}$

(13)

مثال: مقاومت ویژه Si ذاتی در دمای اتاق:

$$n \approx p \approx n_i$$

$$\sigma = q n_i (n + p)$$

$$\sigma = 1.4 \times 10^{-19} (1.5 \times 10^7 + 1.5 \times 10^7) \times 1.5 \times 10^7 = 4.4 \times 10^{-4} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = 2.28 \times 10^3 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$$

مقاومت ویژه برای Si نوع n! $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ چقدر است.

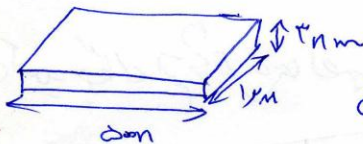
$$N_D \gg N_i \Rightarrow n \approx N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$$p = \frac{n_i^2}{n} = \frac{2.25 \times 10^{-19}}{10^{17}} = 2.25 \times 10^{-34} \text{ cm}^{-3}$$

$$\sigma = q (n + p) = 1.4 \times 10^{-19} (10^{17} + 2.25 \times 10^{-34}) = 1.4 \times 10^{-2} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = 7.14 \times 10^{-2} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$$

برای قطعه Si زیر مقاومت را حساب کنید.



$$R_{\text{ذاتی}} = \frac{\rho L}{A} = \frac{2.28 \times 10^3 \times (5 \times 10^{-2})}{(3 \times 10^{-3}) (1 \times 10^{-2})} = 3.8 \times 10^4 \text{ } \Omega$$

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{7.14 \times 10^{-2} \times (5 \times 10^{-2})}{(3 \times 10^{-3}) (1 \times 10^{-2})} = 7.14 \text{ } \Omega$$

مکانیزم در جریان:

drift (رانش یا هدایت)

diffusion (تغوز یا انتشار)

جریان

جرین Drift: جرین ناشی از حرکت حامل‌ها تحت تأثیر میدان الکتریکی

$$J_{\text{Drift}} = q(n_n n + p_p P) E$$

جرین diffusion:

جرین ناشی از جابجایی حامل‌ها به سمت مکانی که تراکم آن‌ها کمتر است

جابجایی ناخالص غیر یکنواخت باعث ایجاد جرین diffusion می‌شود.

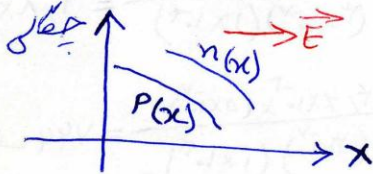
$$J_n = q D_n \frac{dn}{dx} - q_p D_p \frac{dp}{dx}$$

D_n و D_p ضرایب نفوذپذیری الکترون و حفره

$$D_n(\text{Si}) = 35 \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right]$$

$$D_p(\text{Si}) = 12.5 \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right]$$

نکته: فرض کنید چگالی اتم‌ها در ناخالصی دریا باشد. جدول را کامل کنید



جهت جابجایی خود حامل
جهت جرین ناشی از حامل current

		electrons	Holes
Drift	Direction	←	→
	Current	→	→
diffusion	Direction	→	→
	Current	←	→

جهت جرین ناشی از جابجایی الکترون، خلاف جهت جابجایی حفره

14

Band gap در میان الکتریک :
به سربانه‌های و باند ظرفیت در میان الکتریک شبیه پیرامون کند

E_c E_{co}

 E_v _____



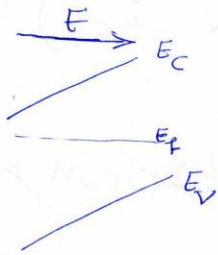
۱۴۹۰، ۸، ۲۷

(15)

بنام خدا

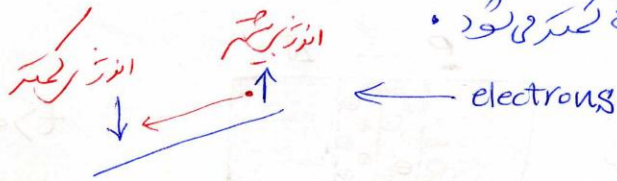
فیزیک الکتریسیته

تأثیر میدان الکتریکی بر Band gap



دلیل: همچنین حفره‌ها
۱) اهمیت در میدان الکتریکی، تحت اثر نیروی برابری نیروی گرانش.

۲) خاصیت $E_c - E_v$ در محل تجمع الکترون‌ها کم می‌شود.



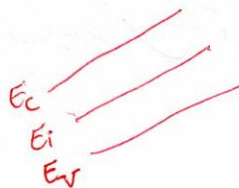
رابطه بین اندازه میدان الکتریکی و تغییر در انرژی:

$$E_z = -\frac{dV}{dx} \quad (E_z = -\nabla V)$$

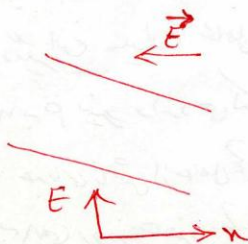
$$\frac{d}{dx} \hat{a}_x + \frac{d}{dy} \hat{a}_y + \frac{d}{dz} \hat{a}_z$$

$$(-q\psi)V = E_i$$

تغییر E_c, E_i و E_v برابر است

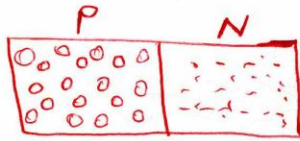


$$\Rightarrow E = \frac{1}{q} \frac{dE_i}{dx}$$



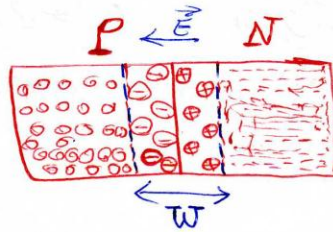
میدان فورتک $\Leftarrow$ سیب مثبت
میدان مثبت $\Leftarrow$ سیب مثبت
میدان منفی $\Leftarrow$ سیب منفی

دیود (پیوند P-N)



نواحی P و N از نظر بار الکتریکی خنثی هستند $t=0$

بعیت یکنواخت نبود چگالی حامل که در نزدیکی مرز بر اثر دیفیوژن الکترون و حفرات نزدیک مرز از ناحیه P به ناحیه N جابجا شده و باعث می شود قسمتی از ناحیه P در نزدیکی مرز از الکترون خالی شود و باعث شود یون کمزور ناخالصی ظاهر می گردد.



$t > 0$

حفره که از P-N جابجا شده و در نزدیکی مرز یونهای متقی ظاهر می گردند.

ناحیه مستحضر شده با عرض w ناحیه رتبه می گذرد یا تخلیه می نامند (Depletion Region)

تقریب کس (Depletion Approximation): در ناحیه تخلیه تقریباً هیچ الکترون و حفره وجود ندارد.

مقاومت ناحیه تخلیه خیلی بیشتر از ب در نواحی خنثی می باشد.

$$\frac{R_1}{R_2} \gg \frac{R_3}{R_4}$$

$$R_2 \gg R_1, R_4$$

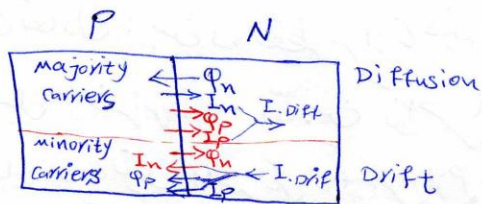
بین یونهای مثبت و منفی یک میدان الکتریکی در جهت P به N بوجود می آید. این میدان با جابجایی حامل ها در اثر دیفیوژن مخالفت می کند. به عبارت دیگر این میدان عامل ایجاد جریان Drift است و به الکترون ها در جهت P به N و حفره ها در جهت N به P نیرو وارد می کند.

به این ترتیب جریان ناشر از حامل جمع آوری در خلاف جهت جریان Diffusion ایجاد می شود. یعنی الکترون ها به P و حفره ها به N می روند.

$$I_{Diff} + I_{Dri} = 0$$

در حالت تعادل $\Leftarrow$

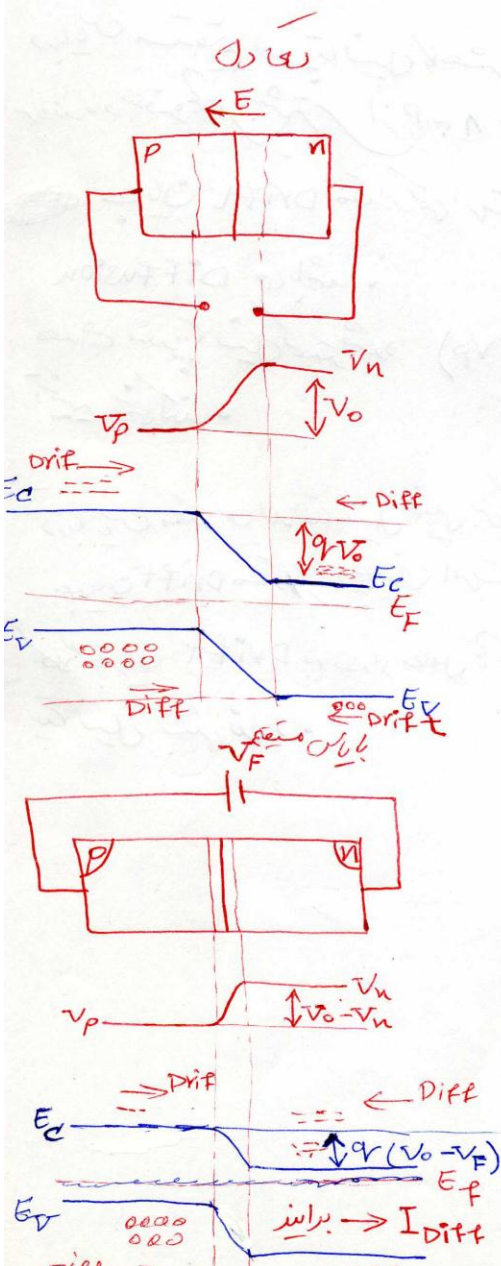
16)



ϕ = پتانسیل

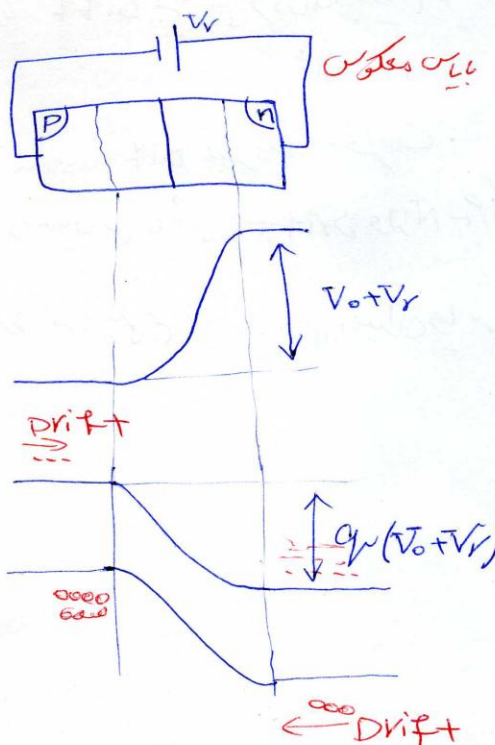
I = جریان

پتانسیل الکتریکی و دیگرام اندریش:



در بین الکترودها رسانا می باشد اختلاف پتانسیل وجود ندارد.

در بین p و n اختلاف پتانسیل وجود دارد.



اتصالات در IC² Interconnect

در حالت تعادل: بین دو نقطه سر از ناحیه n به p هیچ میدانی وجود ندارد در نتیجه اختلاف پتانسیل صفر است. اما بین نقاط n و p به علت وجود میدان اختلاف پتانسیل وجود دارد و پتانسیل الکتریکی ناحیه n از p بیشتر است.

انرژی پتانسیل در دو ناحیه به اندازه qV تفاوت دارد یعنی الکترود n به جای p از N به P باید از سد انرژی پتانسیل برابر qV عبور نماید.

در بایاس مستقیم سد پتانسیل کاهش می یابد. الکترود n به p می تواند از N به P (Diffusion) بروند و حفره p به n به p می تواند از این جایگاه n به p است.

جریان Drift مقدار کمی است و تغییر نمی کند. جریان کل ناشی از پدیدة Diffusion می باشد.

هرچه سد پتانسیل کمتر شود (V_p بیشتر شود) جریان Diff بیشتر می گردد اما جریانی Drift تغییر نمی کند.

در بایاس معکوس سد پتانسیل خیلی بزرگ است و جریانی Diffusion تقریباً صفر است. جریانی Drift مقدار ناچیزی است (بدون تغییر) و جریانی کل ناشی از Drift و از N به P است.

کلاً جریانی Drift به تعداد حامل q راقلیت بستگی دارد که خیلی کم هستند ولی به میدان واسه پتانسیل بستگی ندارد.

۱۴۹۰/۹/۱۰

(۱۷)

بنام خدا

فیزیک الکترونیک

ادامه ی پیوند P-N

۷- پتانسیل داخلی پیوند را محاسبه کنید.

$$V_0 = \frac{KT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$

مثال: در یک پیوند (P-N)، $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ و $N_D = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ • مطلوب است:

الف) دیاگرام انرژی
ب) پتانسیل داخلی

در ناحیه P:

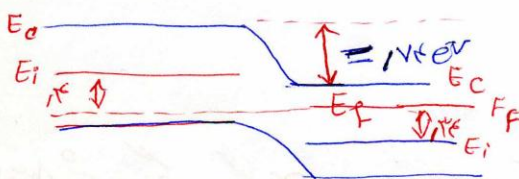
$$p = n_i e^{(E_i - E_F)/KT}$$

$$E_i - E_F = KT \ln \frac{p}{n_i} = 0.0259 \ln \frac{10^{17}}{1.0 \times 10^{10}} = 0.15 \text{ eV}$$

در ناحیه N:

$$n = n_i e^{(E_F - E_i)/KT}$$

$$E_F - E_i = KT \ln \frac{n}{n_i} \Rightarrow 0.0259 \ln \frac{10^{14}}{1.0 \times 10^{10}} = 0.35 \text{ eV}$$



$$qV_0 = 0.35 \text{ eV} + 0.15 \text{ eV} = 0.50 \text{ eV}$$

$$V_0 = \frac{0.50 \text{ eV}}{q} = 0.50 \text{ V}$$

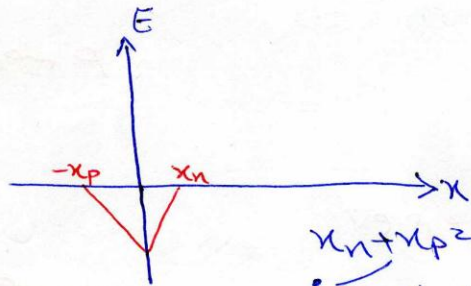
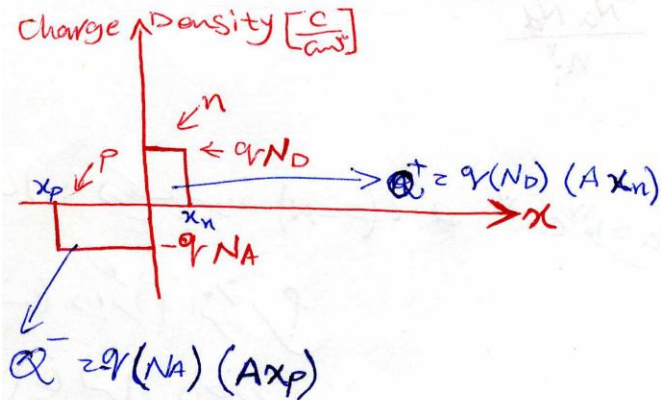
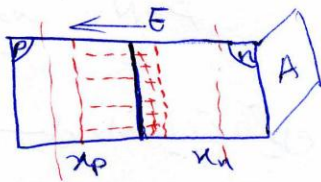
بنام خدا

$$V_0 = \frac{0.0259 \text{ eV}}{e} \ln \frac{10^{23}}{1.0 \times 10^{10}}$$

$$V_0 = 0.0259 \ln \frac{10^{13}}{1.0 \times 10^{10}} = 0.15 \text{ V}$$

۱

با استفاده از معادله الکتریکی :



عرض ناحیه خنثی $x_n + x_p = W$
جهت میدان خلاف جهت x است پس میدان را منفی می‌کنیم.

ماکزیمم میدان الکتریکی در منطقه پیوند P-N وجود دارد.
کل سیستم از نظر بار الکتریکی خنثی است. یعنی $\Rightarrow$

$$Q^+ = Q^-$$

$$qN_D Ax_n = qN_A Ax_p$$

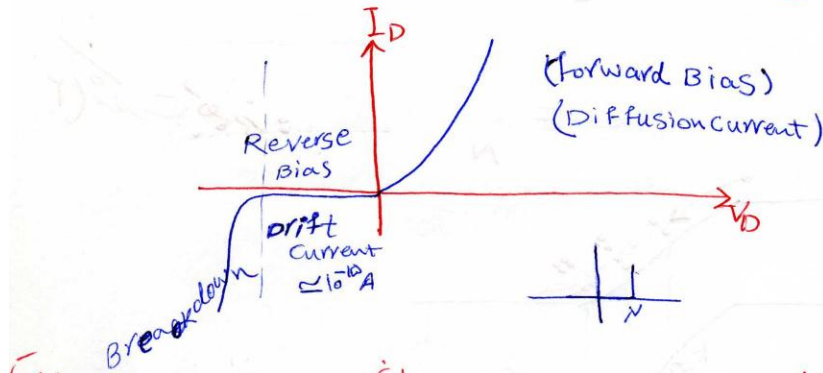
$$N_D x_p = N_A x_n$$

با افزایش دمای سیلین، عرض ناحیه خنثی در آن کاهش می‌یابد.
هرچه میزان ناخالصی کمتر باشد، ناحیه خنثی بیشتر تقویتی‌کننده خواهد بود.
الکتریکی برقرار می‌ماند.

در شکل قبل $N_D > N_A$

(18)

مشخص جریان ولتاژ دیود :



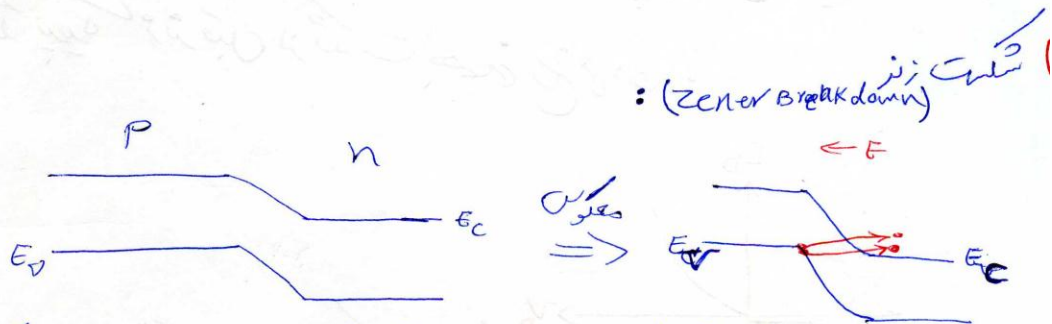
در ولتاژ محدود پتانسیل داخلی پیوند P-N تغییرات جریان نسبت به ولتاژ خیلی زیاد است. می توان گفت ولتاژ دو سر دیود تقریباً ثابت می ماند.

رابطه جریان دیود در بایس مستقیم
معکوس (تأخیر از شکست)

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{qV_D}{KT}} - 1 \right)$$

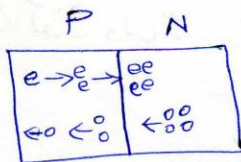
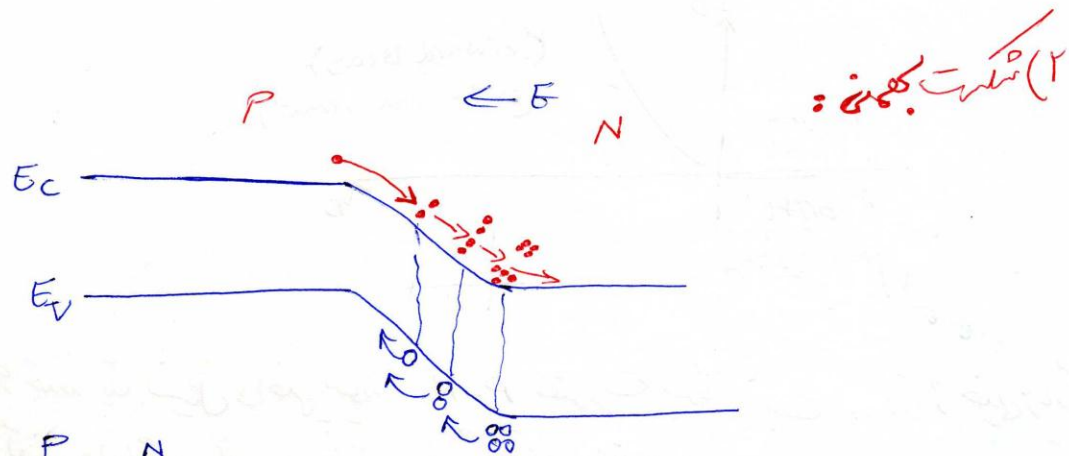
$$\begin{cases} V_D > 0 \Rightarrow I_D \approx I_0 e^{\frac{qV_D}{KT}} \\ V_D < 0 \Rightarrow I_D \approx -I_0 \quad (\text{Reverse saturation current}) \\ \quad \quad \quad (\text{leakage current}) \end{cases}$$

شکل ۱:



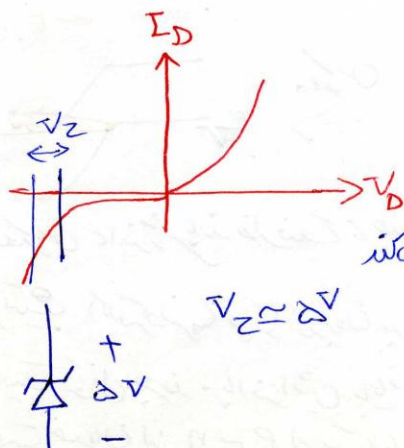
در بایس معکوس، مانند پتانسیل ظرفیت، ناحیه P در درون انداز پتانسیل ناچهارم قرار می گیرد. به این ترتیب، الکترون ها می توانند بدون سد اکسیدن انداز را لازم برای غلبه بر سد از ماند ظاهر به پاندهای تونل بزنند. با افزایش بایس معکوس، میزان این تونل زنی و افزایش یافته و چون جهت جریان از n به P است، بایس افزایش جریان معکوس دیده می شود. (۱۸)

بنابرین این پدیده / زنر گوانتوم است .
Quantum mechanical tunneling



در پایان معکوس زیاد می‌دهیم الکتریکی شدیداً است و الکترن متاب می‌گردد می‌تواند الکترن
پیوند را آزاد نمایند .

الکترن هم آزاد شده به نوبه خود الکترن می‌دهد دیگر آزاد نمی‌شوند به
بصورت بکشی افزاینده و به رشد می‌یابد و جریان زیاد می‌شود .
(با آزاد شدن هر الکترن یک افزونه نیز بوجود می‌آید .
معمولاً پدیده کمتر قبل از شکست بکشی رخ می‌دهد .



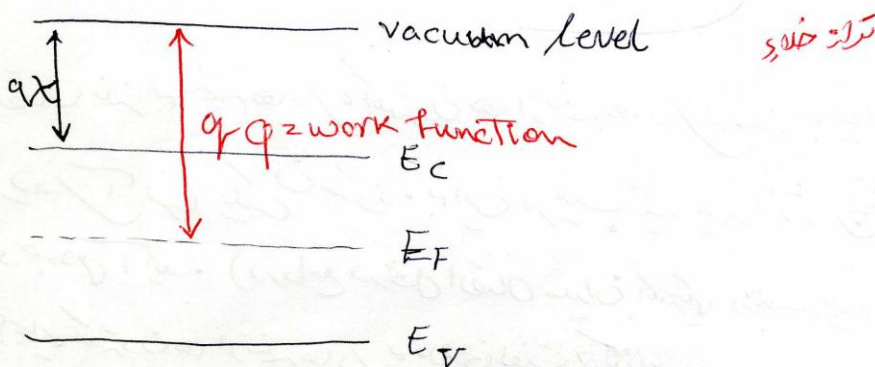
دیود زنر در ناحیه شکست کار می‌کند
ولت و آن حدوداً ۵۰۰ است
 $V_Z \approx 5V$

(19)

اتصال فلز-نیم هادی :

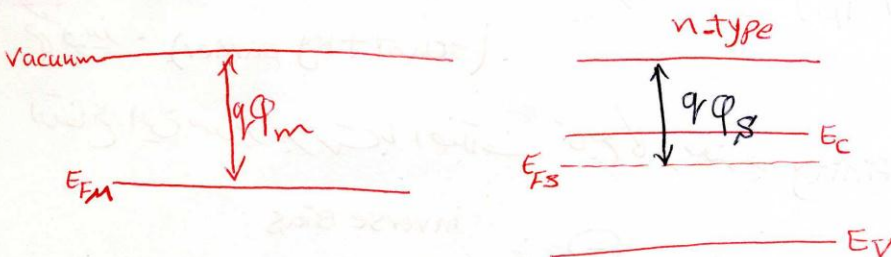
work function = مقدار انرژی لازم که اثر الکترون این انرژی را بدست آورد می تواند از ماده خارج شود .

فاصله انرژی بین تراز خلأ و تراز فری در نیم هادی

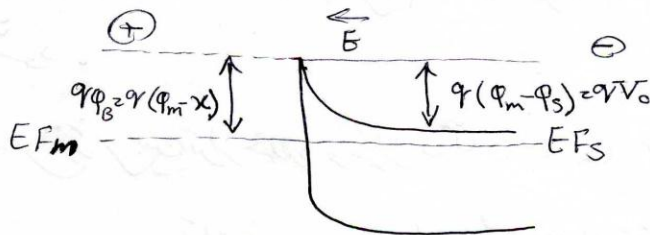


electron Affinity = فاصله بین باند هدایت و تراز خلأ در نیم هادی :

ابتدا حالتی در نظر می گیریم که فلز و نیم هادی به هم متصل نشده اند .
برای حالتی که خواهیم بحث کنیم که تابع کار در فلز بزرگتر از تابع کار در نیم هادی باشد .
($\phi_m > \phi_s$)



اکنون حالتی را در نظر می‌گیریم که فلز به نیم هادی متصل شده (metallic contact):



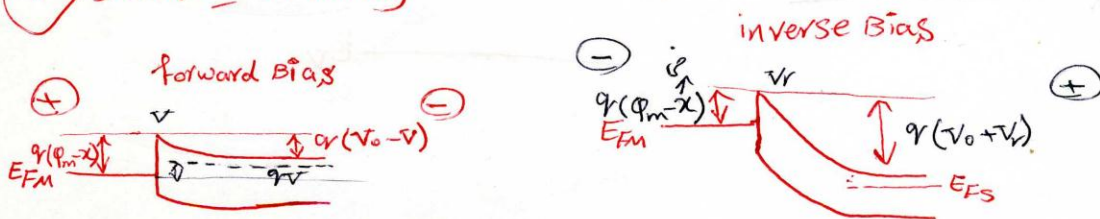
با اتصال فلز به نیم هادی، الکترون‌ها از نیم هادی به فلز جابجایی می‌شوند تا اینکه تراز فرمی هر دو برابر شود. به این ترتیب یک سد انرژی برپا می‌شود که مسیر راه الکترون‌ها را به وجود می‌آورد. (در واقع در محل اتصال میدان الکتریکی در جهت نیم هادی به فلز به وجود می‌آید که با جابجایی الکترون‌ها از نیم هادی به فلز مخالفت می‌کند).

اما گاهی با اعمال ولتاژ مانند شکل، ارتفاع این سد را کاهش داد تا جابجایی الکترون‌ها باعث ایجاد جریان شود. اعمال ولتاژ معکوس باعث کاهش جریان می‌شود.

برودر که به این شکل از اتصال فلز به نیم هادی ساخته شده را دیود شتابکی (Schottky) می‌نامند.

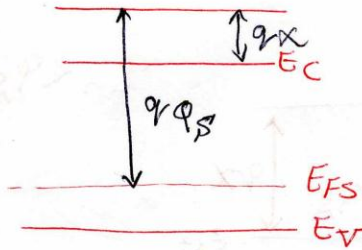
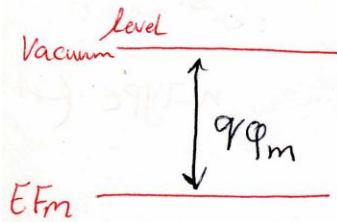
فاصله بین تراز فرمی در فلز تا حد اکثر مقدار باند هدایت $(q\phi_B)$ را سد شتابکی می‌گویند. (Schottky barrier).

ارتفاع این سد برابر است با اختلاف تابع کار فلز و affinity نیم هادی.

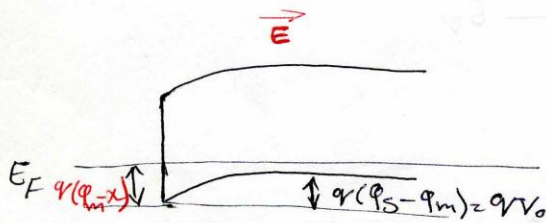


20

برای یک نیم هادی P-TYPE با شرایط $\phi_m < \phi_s$



قبل از اتصال



Forward Bias

بعد از اتصال



با اتصال قشر نیم هادی، حفره کم انرژی هادی به قشر جایی می تواند تا انرژی های فرعی یکسان شوند

در محل اتصال میدان الکتریکی بوجود می آید که به این حالت می گویند. با اعمال بیس مستقیم مانند شکل سه انرژی در مقابل حفره کاهش یافته و جریان افزایش می یابد. با اعمال بیس معکوس جریان ناچیز می شود.

در دو حالت بررسی شده، در محل اتصال سدشکی بوجود می آید و اصطلاحاً این اتصال قشر نیم هادی را Schottky contact می گویند

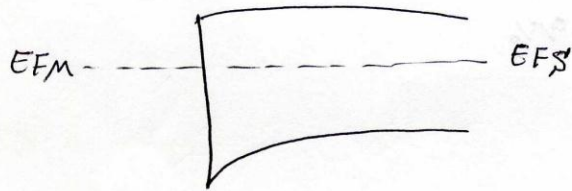
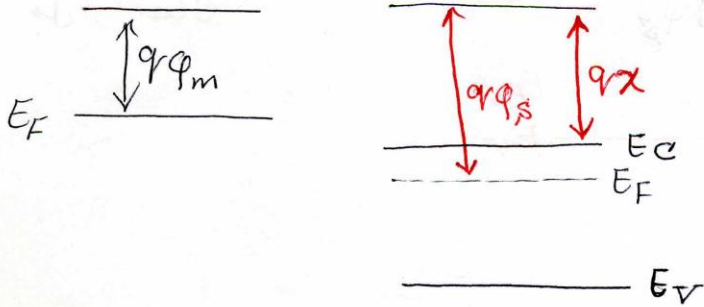
$\phi_m > \phi_s$ n-Type
 $\phi_m < \phi_s$ P-Type

اگر رابطه ϕ_m و ϕ_s در سطح هم برعکس شود، اتصال بوجود می آید که همراه حامل هم ایجاد گشته و جریان سدی وجود ندارد. این اتصالات را اهمی (ohmic contact) می گویند.

المعادن احدى :

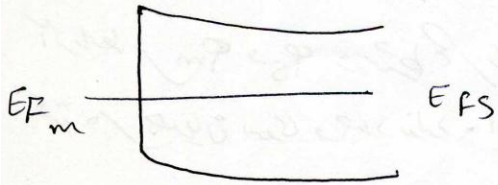
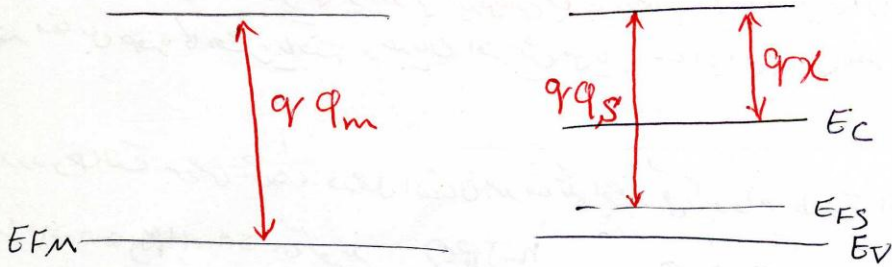
n-type (

$$\phi_m < \phi_s$$



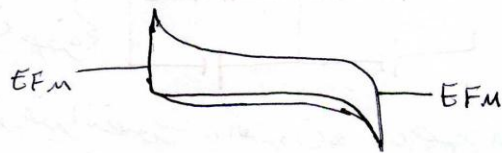
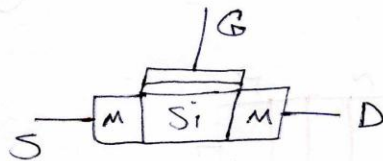
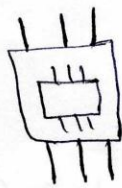
(p-type

$$\phi_m > \phi_s$$

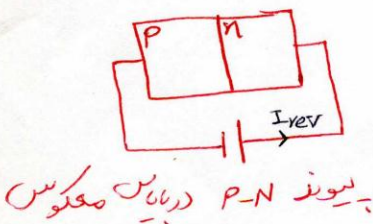


21

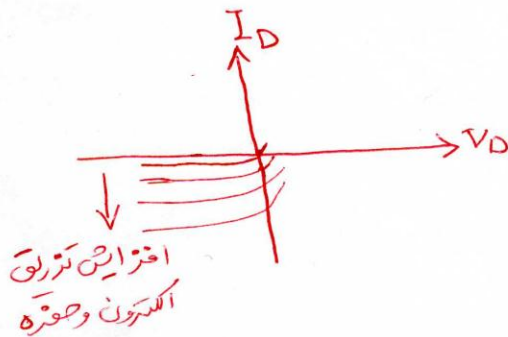
در حالت الف پراش هم تریلز شدن تریلز فرقی آکسرون باید از خنتر به نیمه هادی جایجا شود و سد اندر تر مقابل آن ناپیژدیت و باید نیمه کمی لیزین در رود در حالت ب حفره لیزین نیمه هادی جایجا شود و سد اندر تر مقابل آن ناپیژدیت این اتصال خاصیت یکسو کنندگی ندارند و آنها را اتصالات اهمی می نامند.



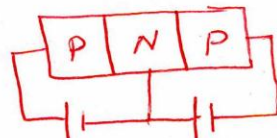
انتزیسور دو قطبه پیوندی Bipolar junction Transistor



پیوند P-N در بایس معکوس

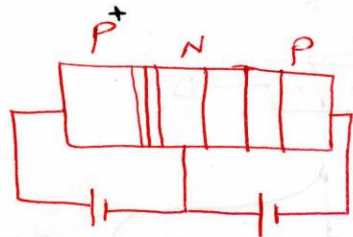


افزایش تریلق
آکسرون و حفره



در پیوند P-N با یک مستطی حفره ها در اثر Diffusion از P به n و یا می تواند در نتیجه این پیوند P-N در یک مستطی می تواند تزریق حفره به ناحیه n انجام دهند.

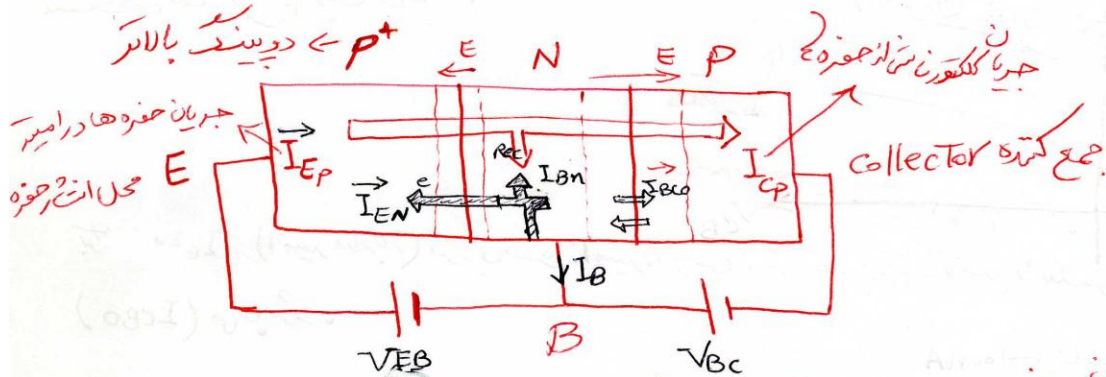
برای این حفره ها بیشتر تزریق شود و حتماً به میدان الکتریکی پیوند P-N در یک معکوس وارد شوند، معمولاً طراعی به صورت زیر است:



عوض کند ناحیه n به واسطه حفره از بین حفره؟

میدان E و حرکت در جریان است. در غیر این صورت با الکترون ها ناحیه n ترکیب شده از بین می روند. doping اضافی ناحیه P+ برای تزریق بیشتر حفره است.

(22)



I_{Ep} : جریان ناشی از جابجایی حفره‌ها در اثر diffusion در پیوند P-N بایس مستقیم در جهت $N \leftarrow P$

I_{En} : جریان ناشی از جابجایی الکترون‌ها در اثر diffusion از ناحیه P به n در پیوند EB که بایس مستقیم است.

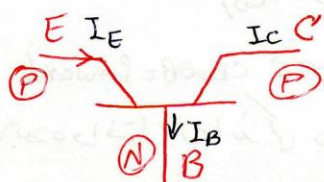
جهت جریان الکترون مخالف جهت جابجایی (از P به n) می‌باشد.

Recombination (از ترکیب): قسمتی از حفره‌ها در تریقه آمیخته در حین عبور از بین با الکترون زیاد ناحیه n پس با ترکیب می‌شوند. به این ترتیب تعدادی از حفره‌ها در تریقه آمیخته از بین رفته و همچنین با از بین رفتن تعدادی از الکترون‌ها ی ناحیه n این ناحیه خنثی بودن حفره را از دست می‌دهد و برای حفظ خنثی بودن از مدار خارج الکترون می‌گیرد.

I_{Bn} = جریان ناشی از الکترون‌ها در ورود به بایس از مدار خارج برای حفظ تعادل چگالی الکترون‌ها در بایس جهت جریان به سمت خارج بایس است.

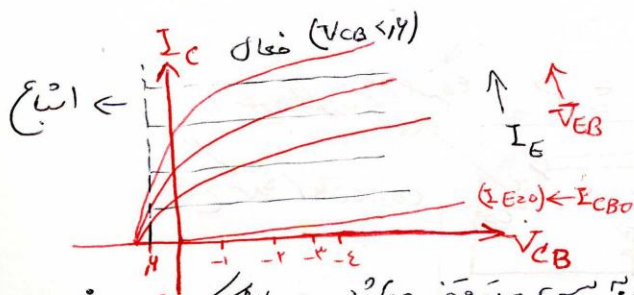
I_{Cp} = جریان ناشی از حفره‌ها در پیوند C-P به کلکتور از آمیخته.

I_{Bco} = جریان اشباع معکوس پیوند BC در بایس معکوس.



با کوچک کردن عرض بین می توان به ترکیب حفره ها در بین کاهش داد.

مشخصه ها و جریان ولتاژ



برای $I_{E=0}$ (امپدانس بار باز) تریزین صفوا از امپدانس بین متوقف می شود و جریان کلکتور پیوند CB (I_{CBO}) می باشد.

$$I_{CBO} \approx 1-100 \text{ nA}$$

if $V_{EB} < V_{\gamma}$ قطع

if $V_{EB} > V_{\gamma}$ متقیم و وارون
forward CB فعال
Reverse

در محور افقی به ازای $V_{CB} < 0$ پیوند BC در بایاس معکوس است $\Leftarrow$ فعال
اها به ازای $V_{CB} > 0$ بایاس متقیم است $\Leftarrow$ انجماع

با افزایش I_E (افترایش V_{BE}) به علت افزایش تریزین حفره I_C زیاد می شود.
به ازای یک مقدار ثابت I_E ، جریان I_C کاملاً ثابت نبوده و با افزایش $|V_{CB}|$ کمی افزایش می یابد.
با افزایش ولتاژ معکوس V_{CB} ، پیوند BC در بایاس معکوس بزرگتری قرار می گیرد و عرض ناحیه انتقالی پیوند CB بزرگتری شود و بیشتر در بین گسترش می یابد. به این ترتیب عرض بین کاهش یافته و میندان با ترکیب در آن کم شده و تعداد بیشتر از حفره ها تریزین امپدانس کلکتور می رسد.
این پدیده مدولاسیون عرض بین (Base width modulation) یا پدیده ارلی (Early Effect) نامیده می شود که باعث ایجاد ریب در منحنی $(I_C - V_{CB})$ شده است.

$(V_{CB} > 0)$ C_B و $E_B = \text{forward}$ ناحیه راجع در ناحیه راجع جریان کلکتور به شدت تحت تاثیر V_{CB} بوده و افزایش اندکی در V_{CB} ، کاهش قابل ملاحظه امر در I_C ایجاد می کند.

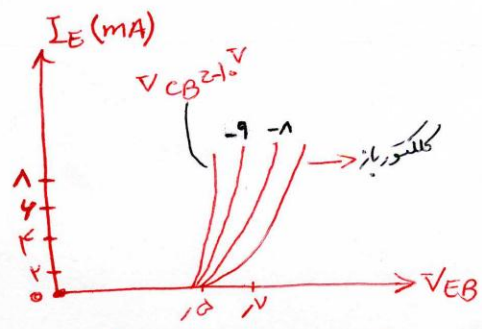
۲۰

۲۰ دلیل ۱

پیوند CB بایس مستقیم است

۱) میدان الکتریکی ضعیف شده (عرض مسیر خلیه کوچکتر می شود) (این میدان عامل جذب - جعبه هام ترانزیستور است) پیوند به سمت کلکتور است.

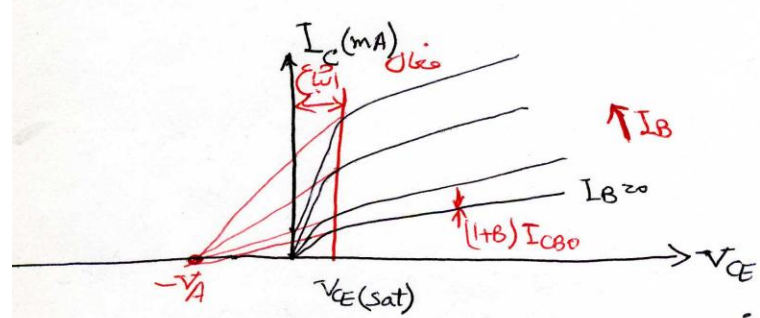
۲) جریان مستقیم پیوند CB در جهت P به N در خلاف جهت جریان ناشی از امیتر است و آن را خنثی می کند.



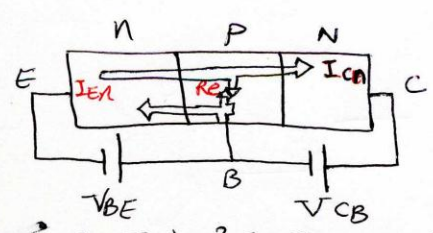
با افزایش V_{EB} بعد از مقدار آستانه آن $V_{EB} \approx 0.7V$ (یا $0.5V$) جریان افزایش می یابد.
 و از آن $V_{EB} < 0.5V$ جریان امیتر تقریباً صفر است.

با افزایش ولتاژ معکوس $|V_{CB}|$ (به ازای یک مقدار معین V_{EB}) جریان I_E افزایش می یابد.
 این افزایش از اثر اری است.

نپن ۴



- با افزایش I_B جریان کلکتور زیاد می شود.
 - با افزایش V_{CE} به دلیل محدودیت ولتاژ عبور پس جریان ثابت می ماند.



در حالت اشباع هر دو پیوند بایس مستقیم هستند.

$$V_{CE} = V_{BE} - V_{BC}$$

به ازای یک V_{BE} ثابت وقتی $V_{CE} < V_{CE(sat)}$ می شود یعنی V_{BC} مثبت تر می شود و این یعنی پیوند CB بایس معکوس می شود و جریان کاهش می یابد.

۳۹۰/۱۰/۱

(24)

۳۹۱

میرید الکترونیک

led (Light Emitting Diode)

مقدار یخه هادر هر مستقیم و غیر مستقیم :
از الکترونیک معمولاً انرژی را با پهنای هادی و ظرفیت را بر حسب بردار موج
رسم می کنند. بردار موج $\hbar k$ است. انرژی موج صفاً (تابع موج)
منسوب به الکترون می باشد.
مثلاً برای الکترون آزاد تابع موج بصورت زیر است :

$$\psi(x) = V(k, x) e^{ik_x x} \quad \text{حالت انرژی } k_x$$

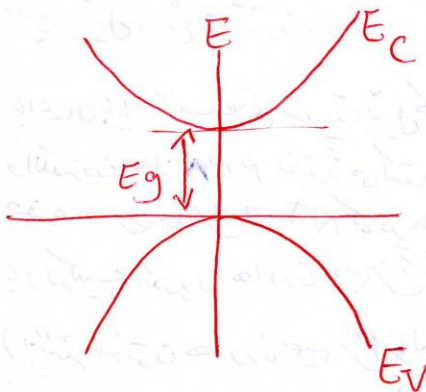
مقدار متوسط انرژی حرکت الکترون در یک کره k بصورت زیر است :

$$\langle P_n \rangle = \hbar k_x \quad \text{مقدار متوسط الکترون در جهت } x$$

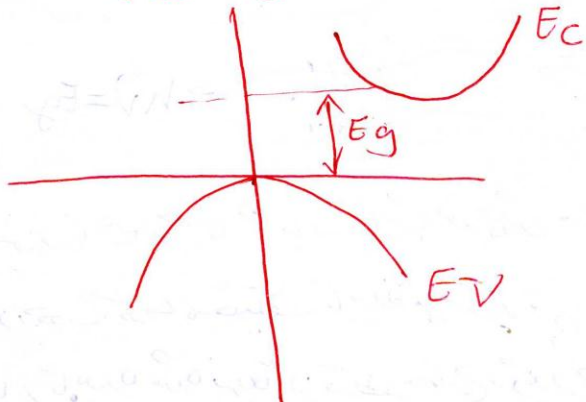
momentum

$\frac{\hbar}{2\pi}$ حالت انرژی

بنابراین منحنی $E-k$ در واقع انرژی الکترون را بر حسب Momentum می دهد
(با تفویض به انرژی نزدیک میرید)



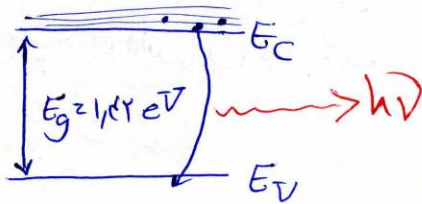
Direct semiconductor



Indirect semiconductor

در نیم هادی چر می‌تواند، باز ترکیب الکترون معمولاً با تولید فوتون همراه است در حالی که در نیم هادی غیر چر می‌تواند الکترون انرژی خود را به صورت گرما به شبکه منتقل می‌کند.
سیلیسیم غیر چر می‌تواند است.

گالیم آرسناید GaAs چر می‌تواند است.

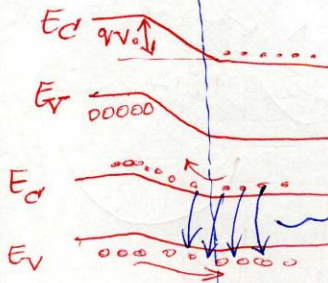


$$h\nu = E_g \Rightarrow \nu = \frac{E_g}{h}$$

LED در واقع یک پیوند P-N است که از یک نیم هادی چر ساخته شده است.
led ها معمولاً به صورت P-N⁺ ساخته می‌شوند.



چند doping در نیم هادی کم است با عموماً به دلیل خنثی بیشتر در P کمتر می‌باشد.



۹۷٪ پیوند خنثی داخلی در تعادل است.

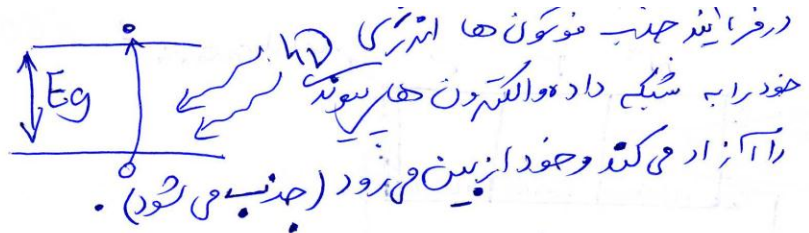
در پیوند خنثی مانع از نفوذ الکترون ها از N⁺ به P است.

با اعمال بایاس مستقیم سرعت پیوند خنثی می‌باشد و الکترون ها از N⁺ به P نفوذ می‌کنند (diffusion) صفحه ها را در دین P به N⁺ کمتر هستند.

باز ترکیب الکترون ها در ناحیه خنثی و همچنین در ناحیه خنثی P بایاس ثابت نمی‌شود.
(بیشتر فوتون ها در ناحیه P تولید می‌شوند) و در جهت های مختلف تابیده می‌شوند.

در ساختار led باید بگونه ای باشند که فوتون ها را تابیده شده سریعاً از قطعه خارج شوند و خود جذب نمی‌شوند. برای این منظور به است از ناحیه P بارشکننده. باشد یا از ساختار Heterostructure استفاده شود.

فراکیند جذب



ساختار Hetro structure :

در اطراف مایه تولید فوتون از نیم هادی با E_g بزرگتر استفاده می شود.

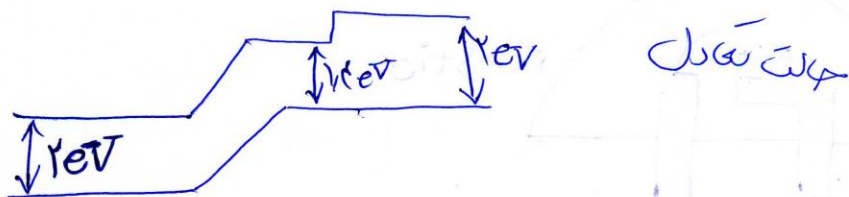
$h\nu > E_g$ شرط جذب

به این ترتیب در سیم نواحی $h\nu < E_g$ است و جذب کاهش می یابد.



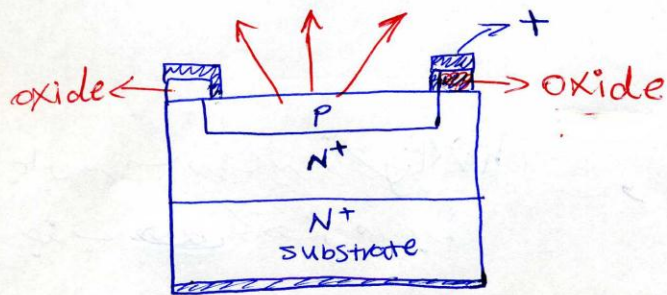
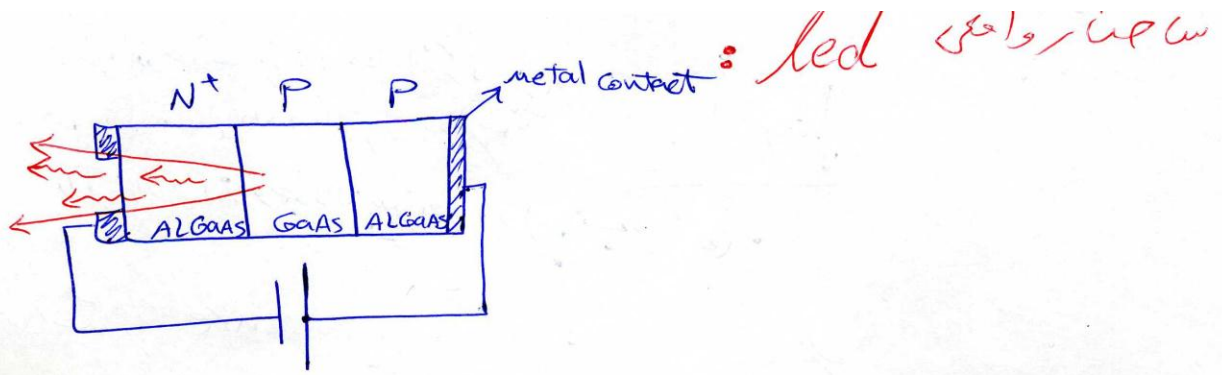
$$E_g(\text{ALGaAs}) > E_g(\text{GaAs})$$

$$2\text{eV} > 1.4\text{eV}$$

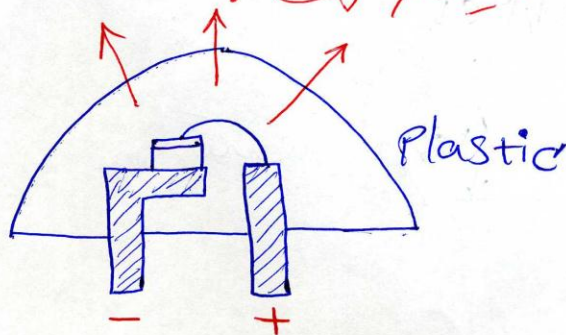


$h\nu < 1.4 < 2$

به این ترتیب فوتون ها تولید شده در GaAs، شرایط جذب را در نواحی کنونی ندارند ($h\nu < 2\text{eV}$) در نتیجه در نواحی کناری جذب نمی شوند.

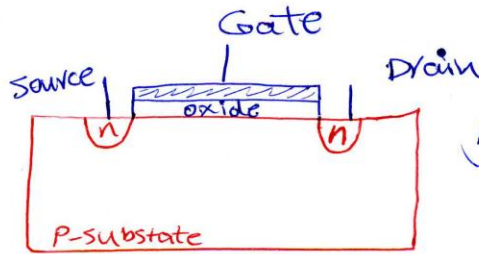


در مزرینچه ها دی.، هوا بدلیل اختلاف ضریب شکست، انگار سگلی رخ می دهد و قسمتی از فوتون ها به درون نیمه پرمی سرگردند. معمولاً پیوند P-N را توسط ماده نلاریتیکی شفاف به صورت کپسول در می آورند. که ضریب شکست آن از هوا بیشتر است.



: MOSFET

(metal-oxide-semiconductor field effect transistor)



با اعمال ولت به گیت، الکترون ها زیر لایه P
زیر اکسید جمع می شوند و یک کانال نوع N
تشکیل می شود.

اگر $V_G > V_{Th}$ باشد کانال نوع N تشکیل می شود. در این حالت با اعمال
ولت درین می توان در ماسفت جریان ایجاد کرد.

(N-channel mosFet)