مباحث ویژه در الکترونیک

الکترونیک نوری

استاد : جناب آقای دکتر ابوالفضل محمدی

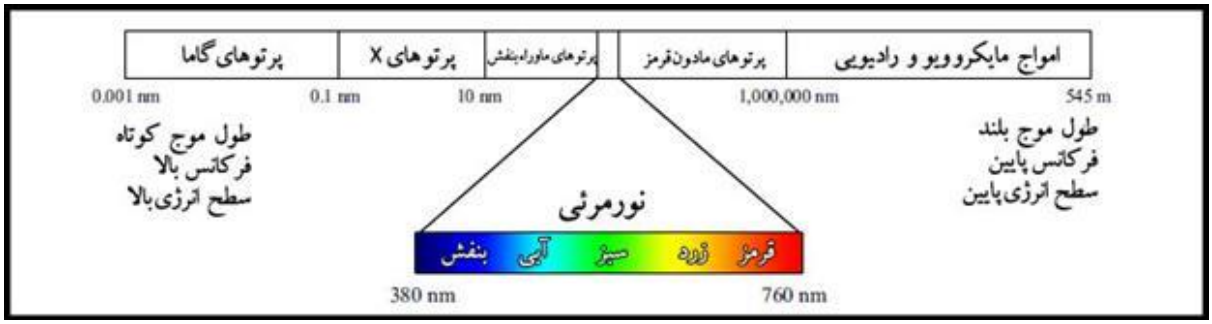
نیمسال دوم ۹۷-۹۸

مروری بر فیزیک و خواص نور :

نور مرئی : یک تابش الکترومغناطیس است که توسط چشم قابل مشاهده است. طول موج نور مرئی تقریبا از حدود ۳۸۰ تا حدود ۷۷۰ نانومتر می باشد و فرکانس نور مرئی تقریبا بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ تراهرتز می باشد.

خارج از این فرکانس و طول موج ها امواج نامرئی هستند.

طیف نور :



ماهیت دوگانه نور: نور از آنجا که یک موج الکترومغناطیس می باشد طبیعتاً دارای خواص موجی بوده و این خواص در آزمایش های مختلفی مشاهده می شود از طرفی در مواردی که مربوط به جذب یا گسیل نور می باشد خواص ذره ای آن مشاهده می گردد و می‌بایست برای تشریح و توجیه عملکرد از این خواص استفاده نمود.

در نظریه ذره ای، نور از بسته های بسیار کوچک انرژی تشکیل شده است که این بسته های انرژی را اصطلاحاً فوتون می نامند.

انرژی یک فوتون با استفاده از رابطه پلانک به دست می آید :

$E=hf$

رابطه بین سرعت نور و فرکانس:

$C=\lambda f$ $c=3x10^{8}$ m/s

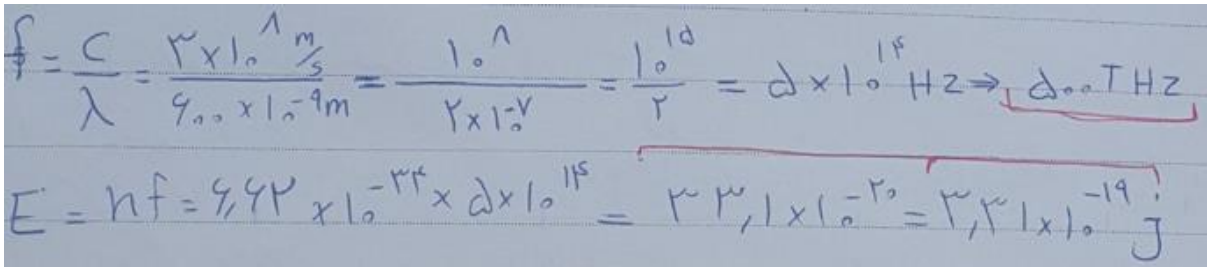
از ترکیب دو فرمول داریم :

$$E=\frac{hc}{\lambda} \Longleftarrow \quad \text{پس} \quad f=\frac{c}{\lambda}$$

مثال : بسامد نور نارنجی با طول موج λ =600nm را به دست آورید، انرژی فوتون این نور را نیز محاسبه نمایید؟

F=?

E=?



نکته : بر اساس نتیجه به دست آمده از مثال بالا نور نارنجی با طول موج 600nm بسته های انرژی (فوتون) با انرژی ثابت j $3.31x10^{-19}$ منتشر می کند و نمی توان با این نور انرژی های با ضرایب غیرصحیح از انرژی فوتون آن تولید کرد.

مثال : یک نور مرئی با طول موج 510nm داریم،فرکانس و انرژی یک فتون آن را محاسبه نمایید.

λ=510nm

$$F=\frac{c}{\lambda}=\frac{3\times10^{8}}{510\times10^{-9}}$$

$$F=\frac{10^{17}}{170}=\frac{10^{16}}{17}=5/9\times10^{14}Hz$$

$$E=h\times f=6/62\times10^{-34}\times5/9\times10^{14}=39/6\times10^{-20}j$$

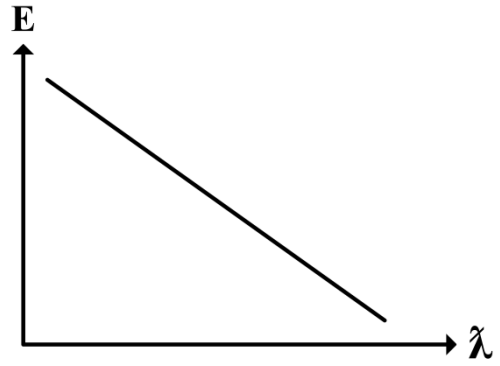
$$1ev=1/6\times10^{-19}$$

$$E=\frac{39/06\times10^{-20}}{1/6\times10^{-19}}ev$$

$$E=37/35\times10^{-1}$$

E=3/735 ev

نمودار انرژی فوتن بر حسب طول موج:



خواص نور:

۱-ذره ای: مربوط به جذب و گسیل نور.

۲-موجی:

الف) بررسی هندسی : بازتاب و شکست.

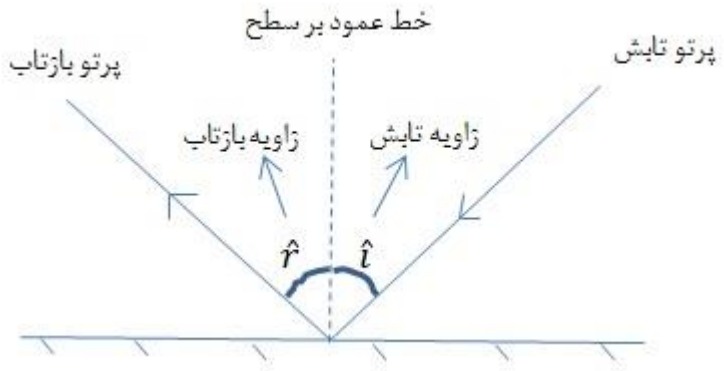
ب) بررسی موجی: تداخل، موج ایسان.

خواص موجی نور : در مواردی که نور در فضا انتشار می‌یابد رفتار موجی داشته و به صورت مستقیم منتشر میشود که در پدیده‌هایی مانند بازتاب و شکست نور به صورت یک پرتو مستقیم (یک خط راست) مورد بررسی قرار می گیرد و در پدیده های نظیر تداخل موج ایستان و سایر پدیده هایی که بر خواص الکترومغناطیسی نور مربوط می‌شوند به صورت یک موج مورد بررسی قرار می گیرند: حالت اول بررسی هندسی پرتو نور و به حالت دوم بررسی موجی پرتو نور می گویند و در هر دو حالت خواص ذره ای و انرژی فوتون ها را در نظر نمی گیریم.

مبانی نور هندسی:

در نور هندسی مباحث بازتاب و شکست نور مورد بررسی قرار می گیرد. در اثر برخورد نور به هر سطح سه حالت مختلف اتفاق می افتد : ۱) جذب ۲) بازتاب ۳) عبور. در اینجا پدیده های بازتاب و عبور را مورد بررسی قرار می دهیم.

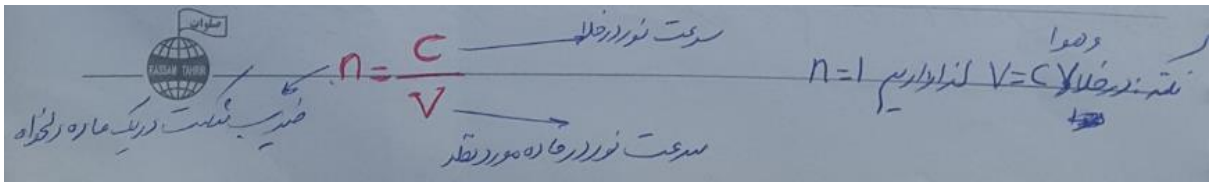
قانون بازتاب نور:



r=i

قانون شکست(اسنل): سرعت نور در محیط های مختلف با یکدیگر تفاوت دارد و این امر باعث می شود در هنگامی که نور از محیطی به محیط دیگر وارد میشود مسیر مستقیم آن با اندکی انحراف مواجه شود. این مسئله به خاطر پارامتری تحت عنوان ضریب شکست به وقوع می پیوندد که طبق تعریف از فرمول زیر به دست می آید:

$$n=\frac{C}{V}$$

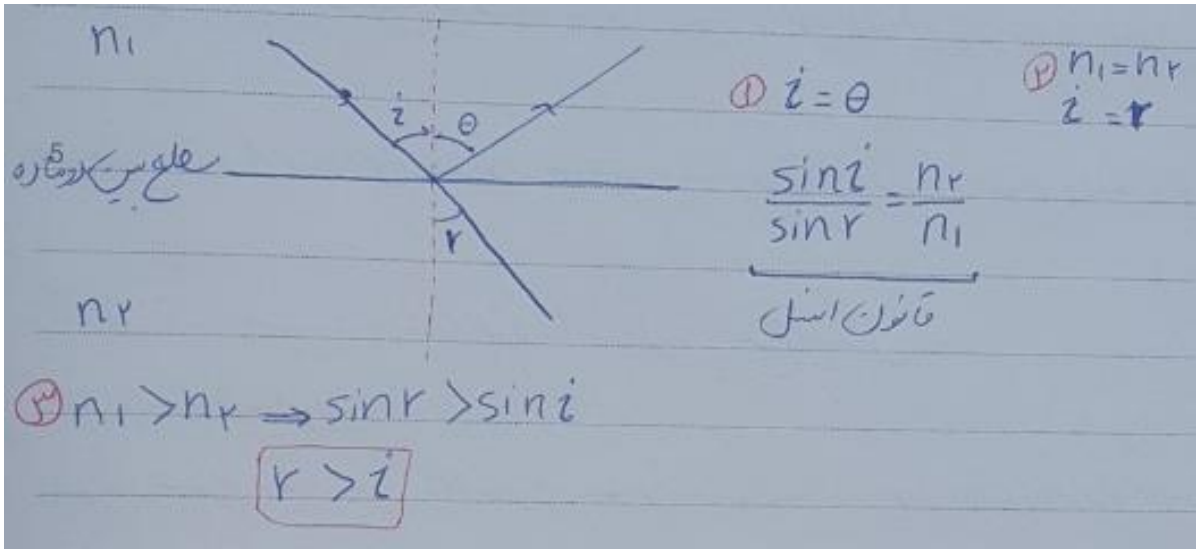


سوال : ضریب شکست خلا را محاسبه نمایید.

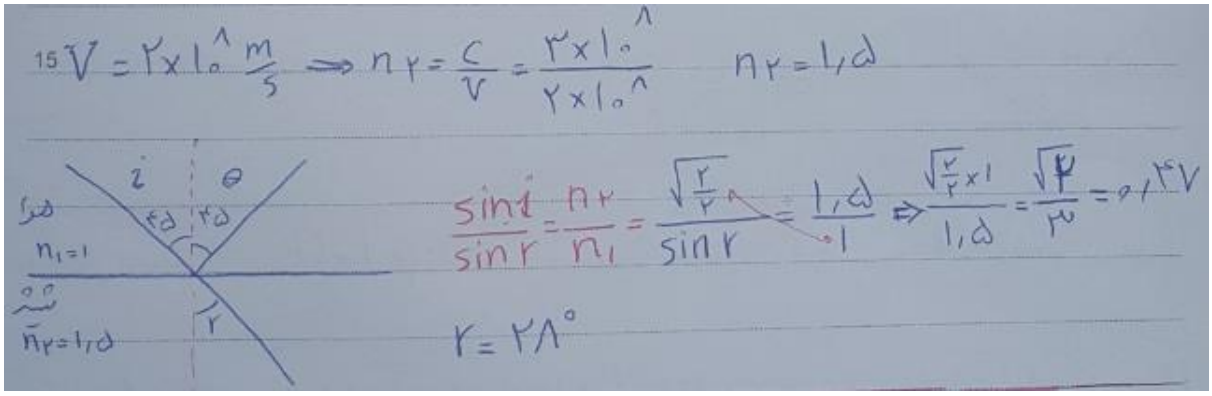
$$n=\frac{C}{V}=\frac{3\times10^8}{3\times10^8}=1$$

$n=1$ در خلا

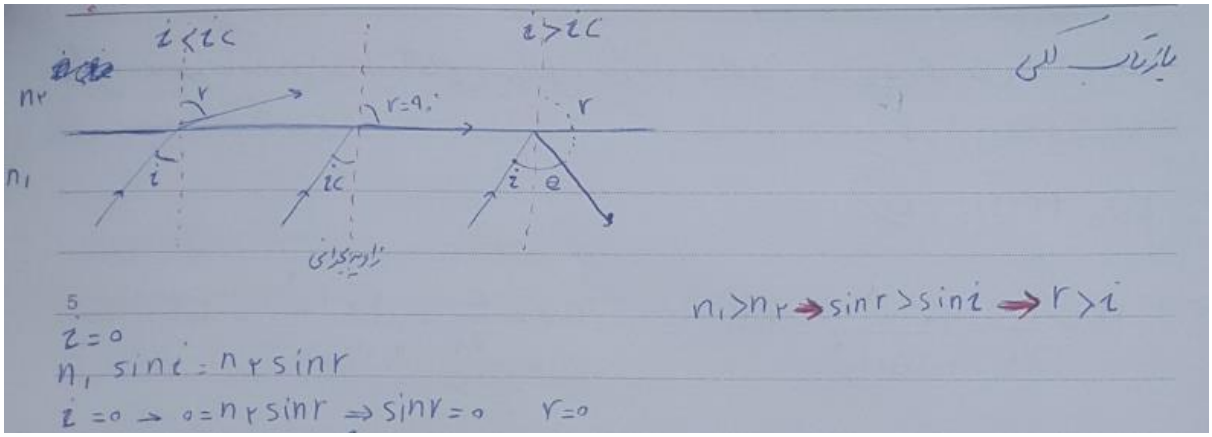
نکته: از آنجا که سرعت نور در محیط های مادی کمتر از c می باشد لذا در این محیط ها $n>1$ می باشد.



مثال: اگر نور از هوا بر شیشه با زاویه ۴۵ درجه بتابد زوایای پرتوهای بازتاب و شکست را محاسبه نموده و شکل پرتوها را رسم نمایید.(سرعت گل در شیشه برابر با ۲۰۰.۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه است)

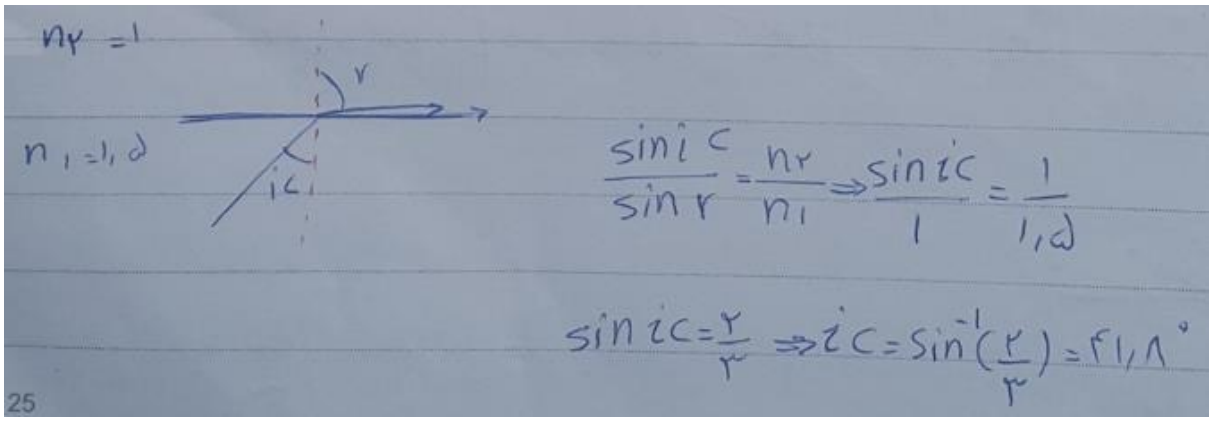


تمرین: پرتو نوری با زاویه ۶۰ درجه از هوا وارد شیشه و از آنجا وارد یک قطعه الماس و در پایان به آب وارد می شود با فرض آنکه سرعت نور در آب ۲۲۵.۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه و سرعت آن در الماس ۱۲۵.۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه می باشد. پرتوهای نور در این مواد را رسم کنید و زوایای آنها را به دست آورید.

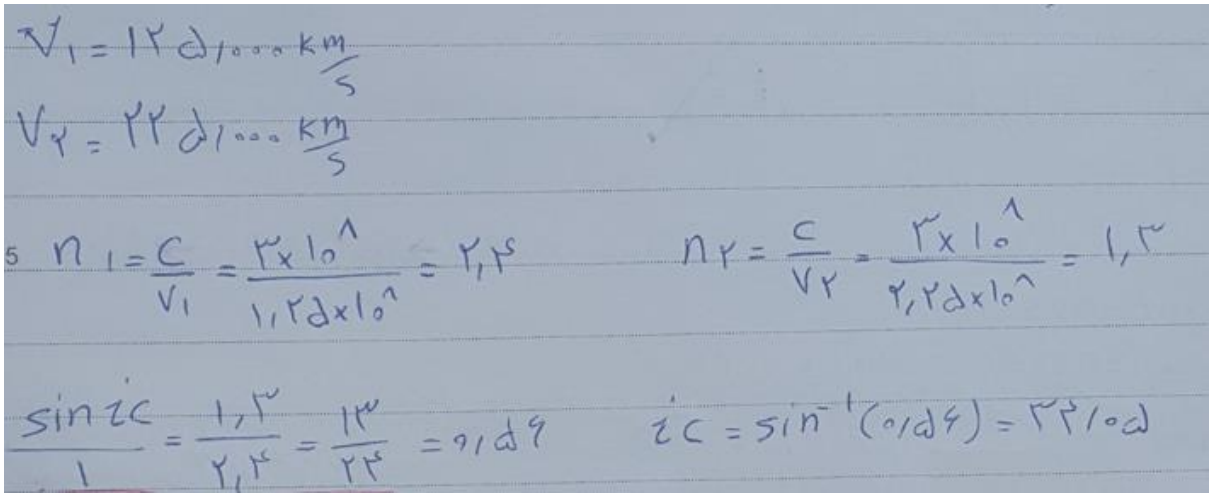


در صورتی که نور از محیطی با ضریب شکست بیشتر به محیطی با ضریب شکست کمتر ($n_1>n_2$) بتابد زاویه شکست در محیط دوم از زاویه تابش در محیط اول بزرگ تر خواهد بود به ازای یک زاویه تابش خاص ($r=90$) خواهد شد یعنی نور در مسیر سطح مشترک دو محیط منتشر می شود این زاویه را زاویه بحرانی (Critical) یا IC می‌نامند در صورتی که زاویه تابش بزرگتر از IC گردد پرتو نور به محیط دوم وارد نمی‌شود و تماماً به محیط اول بازتاب می‌یابد این پدیده را بازتاب کلی می گویند.

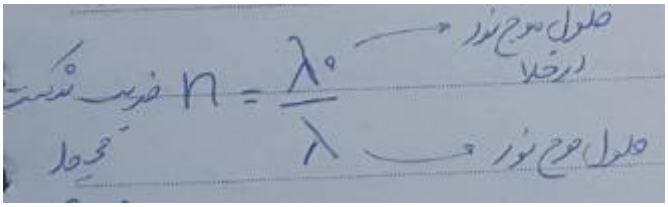
با فرض اینکه نور از یک محیط شیشه به محیط هوا بتابد (زاویه بحرانی (زاویه حد) را محاسبه کنید) ضریب شکست شیشه برابر با ۱.۵ می باشد.



مثال با فرض اینکه نور از داخل الماس به داخل شیشه بتابد مطلوب است محاسبه زاویه حد؟



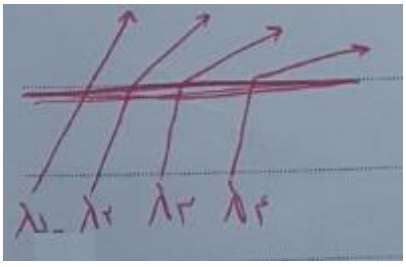
وابستگی ضریب شکست به طول موج نور (اساس کار منشور): تغییر محیط نور علاوه بر آنکه باعث شکست آن می‌گردد در برابر طول موج های مختلف ضریب شکست های مختلفی مشاهده می‌شود یعنی هر چقدر طول موجی که به یک محیط وارد می شود بیشتر باشد ضریب شکست محیط برای آن نور کمتر خواهد بود.



در صورتی که پرتوهای نور تابیده شده به یک محیط با زاویه مساوی طول موج های متفاوتی داشته باشند زاویه شکست آنها در محیط دوم با یکدیگر متفاوت خواهد بود در شکل زیر داریم:

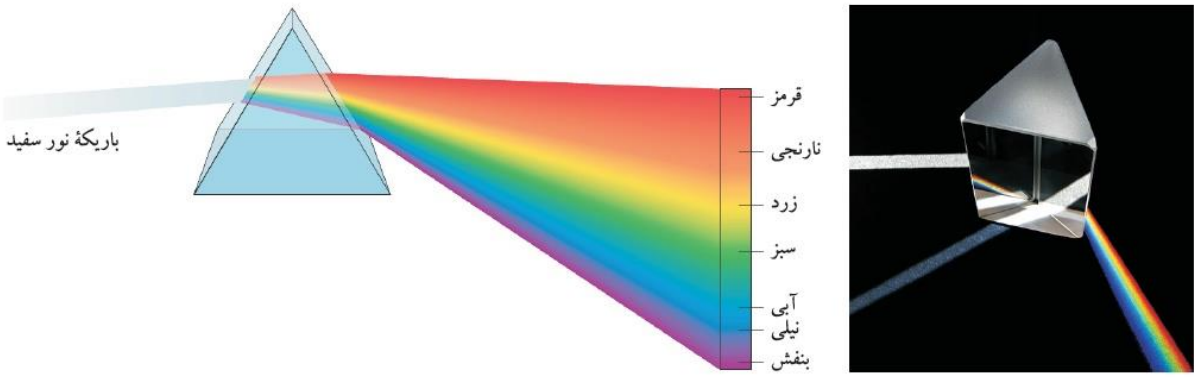
$$\lambda_1>\lambda_2>\lambda_3>\lambda_4$$

$$r_1<r_2<r_3<r_4$$



تمرین: چهار طول موج دلخواه برای چهار رنگ مختلف انتخاب کنید به نحوی که از محیط هوا وارد محیط شیشه شوند و زاویه تابش همه آنها ۳۰ درجه باشد مطلوب است زاویه شکست این چهار پرتو.

منشور:

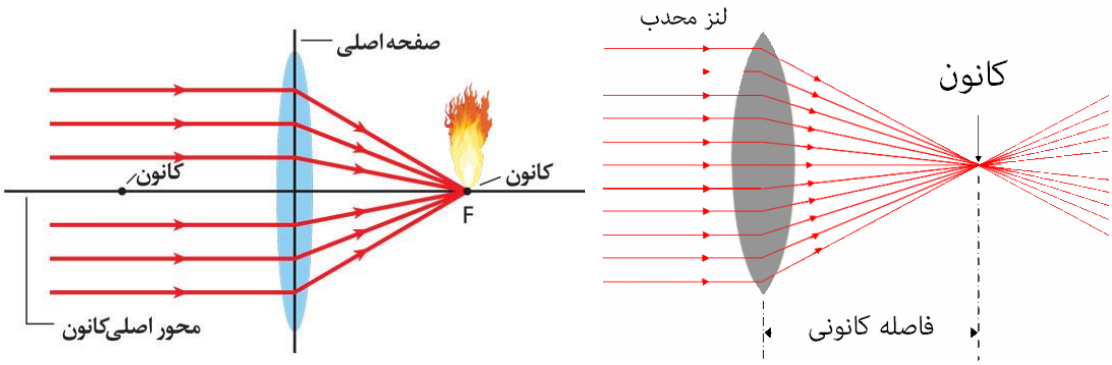


نور خورشید تمام طول موج های نور مرئی را در بر می‌گیرد با تاباندن این نور به منشور با توجه به اینکه ضریب شکست شیشه (منشور) برای طول موج های مختلف متفاوت است لذا در داخل منشور طول موج های مختلف با زوایای مختلفی شکسته می‌شوند و به همین ترتیب با انتقال نور از داخل منشور به هوا زوایای شکست تغییر کرده و نهایتاً یک طیف تجزیه شده از نور مرئی را که از طول موج قرمز تا طول موج بنفش شامل می شود مشاهده می نماییم.

عدسی ها: مواد شفافی هستند که با استفاده از پدیده شکست نور باعث تغییر جهت نور در جهات معین شده و موجب تمرکز یا پراکندگی پرتوها می شوند تاثیر عدسی ها بر پرتوهای نور را می توان با مفاهیم پدیده شکست نور توصیف نمود عدسی ها در نوع همگرا و واگرا (محدب و مقعر) تقسیم می شوند.

نکته: در مباحث مربوط به عدسی ها معمولا نور تابیده شده به صورت تک فرکانس در نظر گرفته می شود.

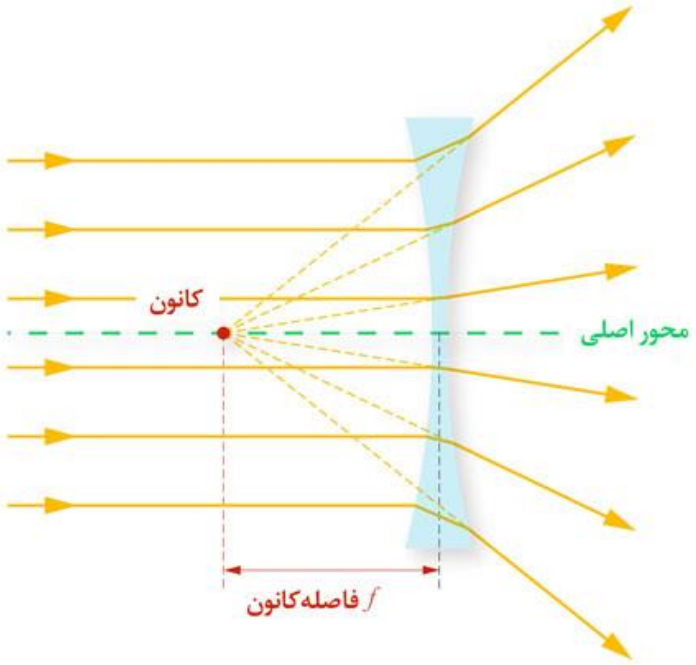
عدسی همگرا (محدب):



کاربرد این عدسی ها در جاهایی که نور را متمرکز می کنند مانند سی دی پلیر و دی وی دی پلیر.

نکته: اگر پرتوهای نور موازی با محور نوری عدسی محدب تابیده شوند یکدیگر را در کانون عدسی قطع می کنند از طرفی اگر یک چشمه نور در کانون عدسی قرار گیرد پرتوهای نور خروجی از عدسی به صورت موازی با محور نوری عدسی منتشر خواهد شد.

عدسی واگرا(مقعر):



در این نوع عدسی پرتوهای نوری که به آن تابیده می شوند پس از خروج از یکدیگر دور می شوند در صورتی که پرتوهای تابیده شده به موازات محور نوری تابیده شوند پرتوهای خروجی به نحوی از یکدیگر دور می شوند که امتداد آنها در سمت تابش کانون عدسی را قطع میکند.

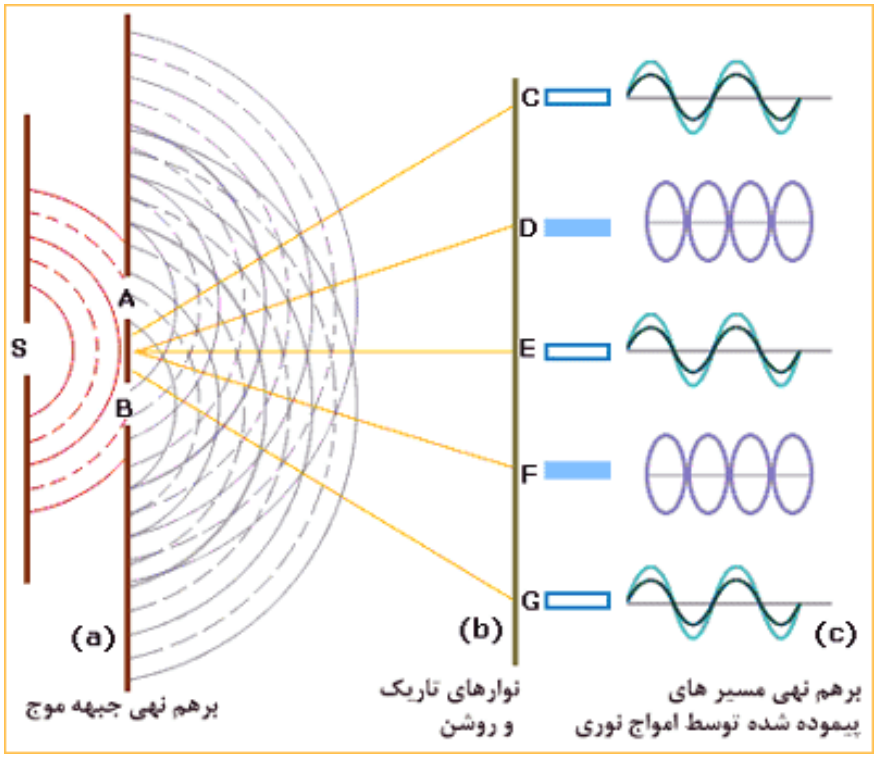
بحث در خواص موجی نور: موج های مختلفی در طبیعت وجود دارد مانند امواج صوتی، مکانیکی، آب، نور ،امواج رادیویی و ... تغییرات متناوب یک پارامتر فیزیکی می تواند به تولید موج منجر گردد به عنوان مثال با تغییر متناوب سطح آب یک موج تولید می شود با تغییر متناوب میدان الکتریکی یک موج الکتریکی تولید می شود نور از نوع امواج الکترومغناطیس است در امواج الکترومغناطیسی میدان های الکتریکی و مغناطیسی عمود بر روی یکدیگر می باشند و در نتیجه یک موج الکترومغناطیسی به جهت انتشار آن از طریق قانون دست راست تعیین میگردد ایجاد خواهد شد. (چهار انگشت دست راست را در جهت میدان الکتریکی قرار می‌دهیم و به سمت میدان مغناطیسی خم میکنیم جهت انگشت شست نشان دهنده جهت انتشار موج الکترومغناطیسی می باشد.

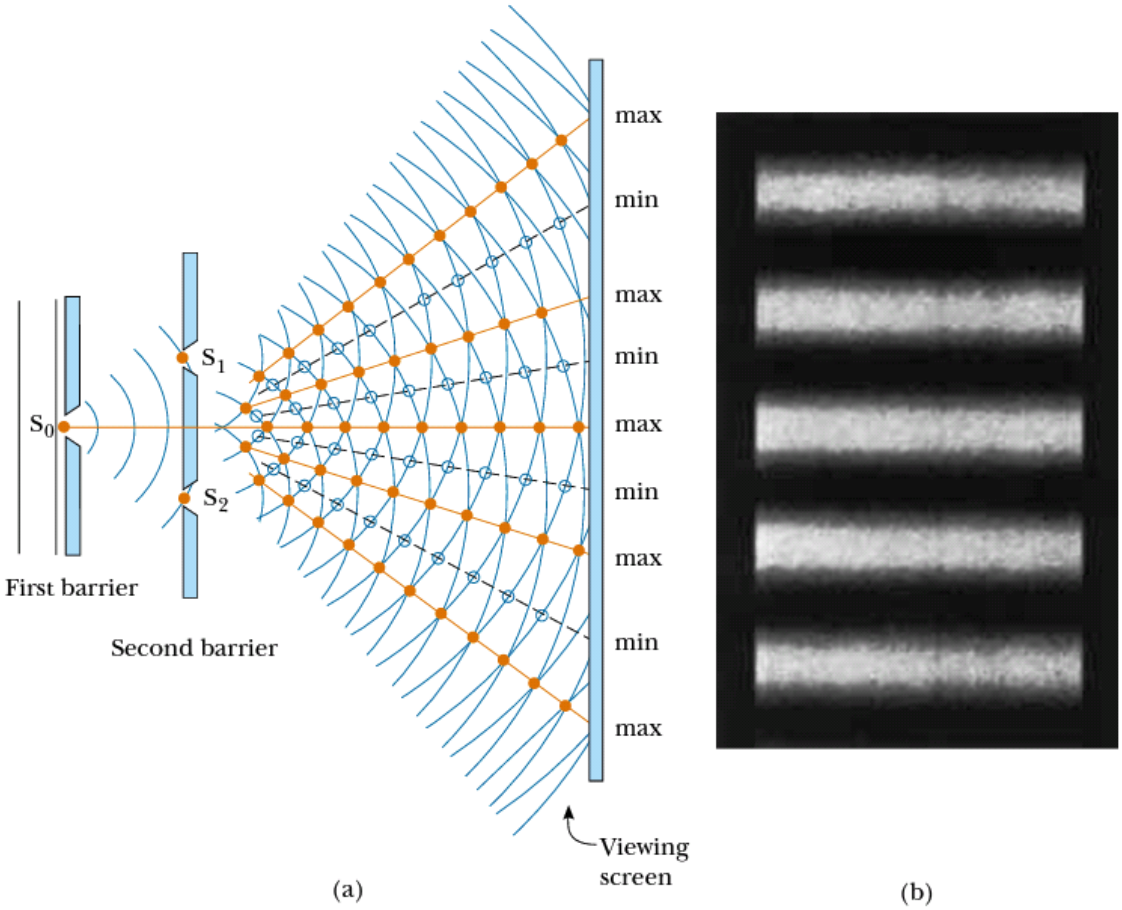
هر پدیده‌ای که در مورد نور مشاهده می شود در صورتی که توسط نظریه های ارائه شده نیز قابل توجیه باشد به تأیید آن نظریه کمک می کند در اینجا در مورد پدیده های تداخل و پَراش توضیحاتی ارائه می‌کنیم.

پراش: توانایی خمش نور به دور گوشه‌های جسم را پراش می‌گویند در زمانی که حتی فقط یک چشمه نقطه ای نور به کار برده میشود ملاحظه می‌گردد سایه لبه‌های سایه جسم کاملاً تیز نیست در حالی که اگر نور به خط مستقیم سیر می نمود لازم بود لبه ها کاملا تیز باشد، به عبارت دیگر با این آزمایش مشاهده می‌شود که نور کاملاً به خط مستقیم نیز سیر نمی کند در حالی که در نظریه ذره ای بر حرکت نور در مسیر مستقیم داشتیم.

تداخل :

تداخل اولین بار در سال ۱۸۰۱ توسط یانگ ارائه گردید



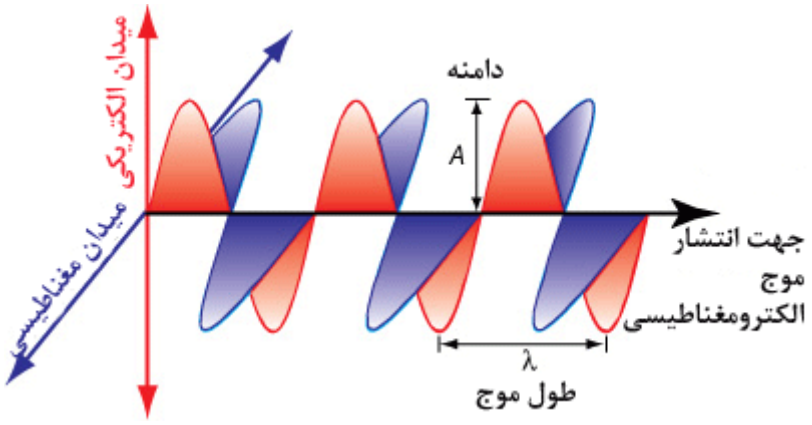


در این آزمایش دو چشمه نقطه ای نور که به فاصله مشخصی از یکدیگر قرار گرفته اند به یک پرده تابیده می شوند در حالت عادی انتظار دارید با تابش نور این دو چشمه به پرده مذکور تمام پرده روشن گردد اما برخلاف انتظار ملاحظه می کنیم که بر روی پرده نقاط روشن و تاریک متناوبی تشکیل می گردد این پدیده را تنها می توان با نظریه موجی نور توجیه نمود به این ترتیب که با توجه به فاصله هر نقطه از پرده از چشمه های نور در آن نقطه امواج نور دو چشمه یکدیگر را تقویت کرده یا خنثی می نمایند در حالتی که امواج هم فاز باشند باعث تقویت و تشکیل نقاط روشن و در حالتی که در فاز مخالف باشند باعث تضعیف شدت نور و تشکیل نقاط تاریک بر روی پرده می گردد.

جمع دو یا چند موج به طور هم فاز ⟵ نوار های روشن

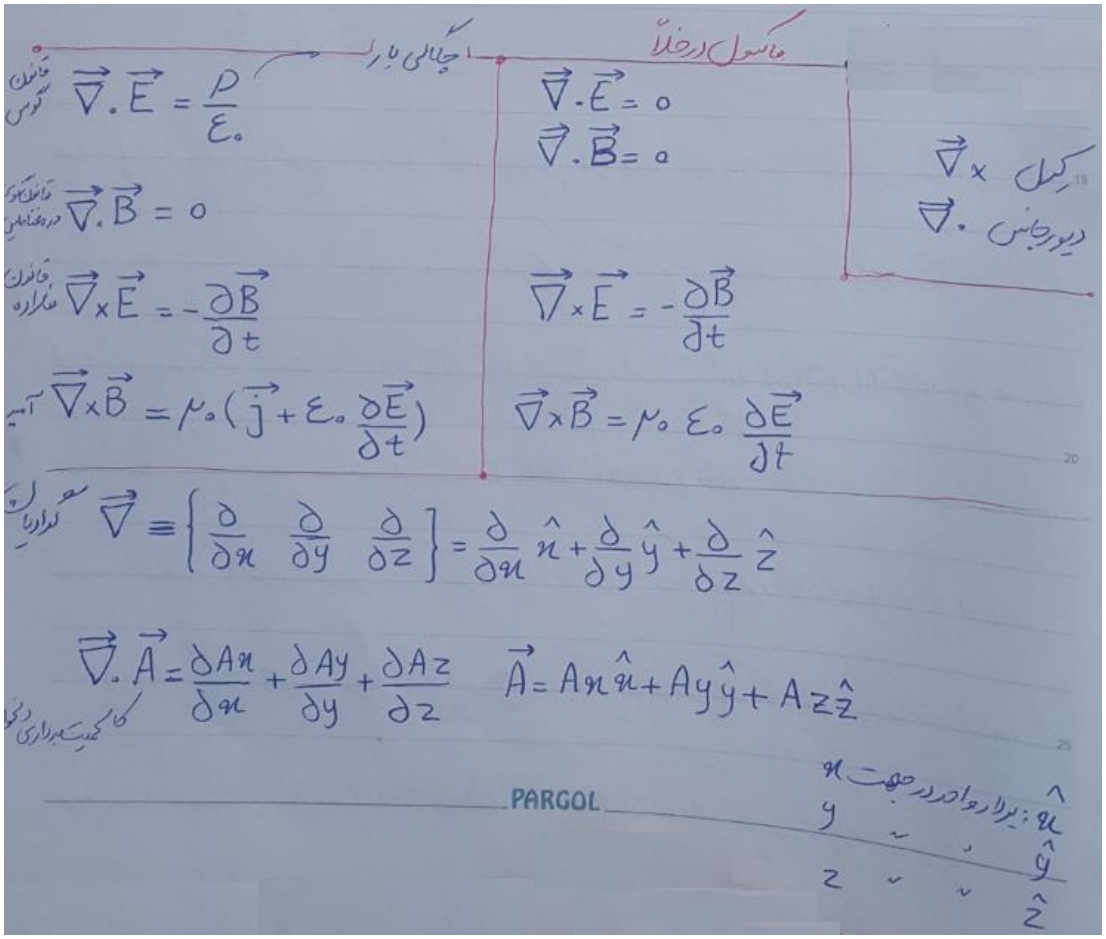
جمع دو یا چند موج در فاز مخالف به نحوی که یکدیگر را خنثی کنند ⟵ نوارهای تاریک

امواج الکترومغناطیس:



در شکل نشان داده شده یک موج الکترومغناطیسی را مشاهده می کنید که شامل مولفه های الکتریکی و مغناطیسی می‌باشد میدان های الکتریکی و مغناطیسی این موج در هر نقطه بر هم عمودند و به صورت هم فاز می باشند میدان الکتریکی در جهت $\pm x$ و میدان مغناطیسی در جهت $\pm y$ نوسان می کنند جهت انتشار موج الکترومغناطیسی با استفاده از قانون دست راست به دست می آید.

معادلات ماکسول: برای توصیف امواج الکترومغناطیس و بررسی این امواج و میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در شرایط مختلف معادلاتی وجود دارد که ماکسول با جمع بندی آنها به چهار معادله اساسی الکترومغناطیس دست یافت که البته این معادلات حاصل جمع بندی نتایج به دست آمده های دانشمندان پیش از وی می باشد.



$$\vec{\nabla}\times\vec{A}=\begin{vmatrix}\hat{x} & \hat{y} & \hat{z}\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ A_x & A_y & A_z\end{vmatrix}=\left(\frac{\partial A_z}{\partial y}-\frac{\partial A_y}{\partial z}\right)\hat{x}+\left(\frac{\partial A_x}{\partial z}-\frac{\partial A_z}{\partial x}\right)\hat{y}+\left(\frac{\partial A_y}{\partial x}-\frac{\partial A_x}{\partial y}\right)\hat{z}$$

یادآوری: مواد از نظر هدایت الکتریکی: ۱- رسانا (Conductor) ۲- نارسانا (Insulator) ۳- نیمه رسانا (Semiconductor)

مواد رسانا: موادی که الکترون های آزاد زیادی در باند هدایت دارند با اعمال یک اختلاف پتانسیل با دامنه محدود جریان قابل توجهی از آنها عبور می نماید به عبارتی مقاومت الکتریکی آنها ناچیز است (مانند طلا، نقره، مس) با یک گرم طلا می‌توان مفتولی به طول یک کیلومتر ایجاد نمود و از آن به عنوان هادی جریان در مدارات مجتمع (IC ها) استفاده نمود در برد های الکترونیکی چندین برابر سنگ معدن طلا، طلا وجود دارد.

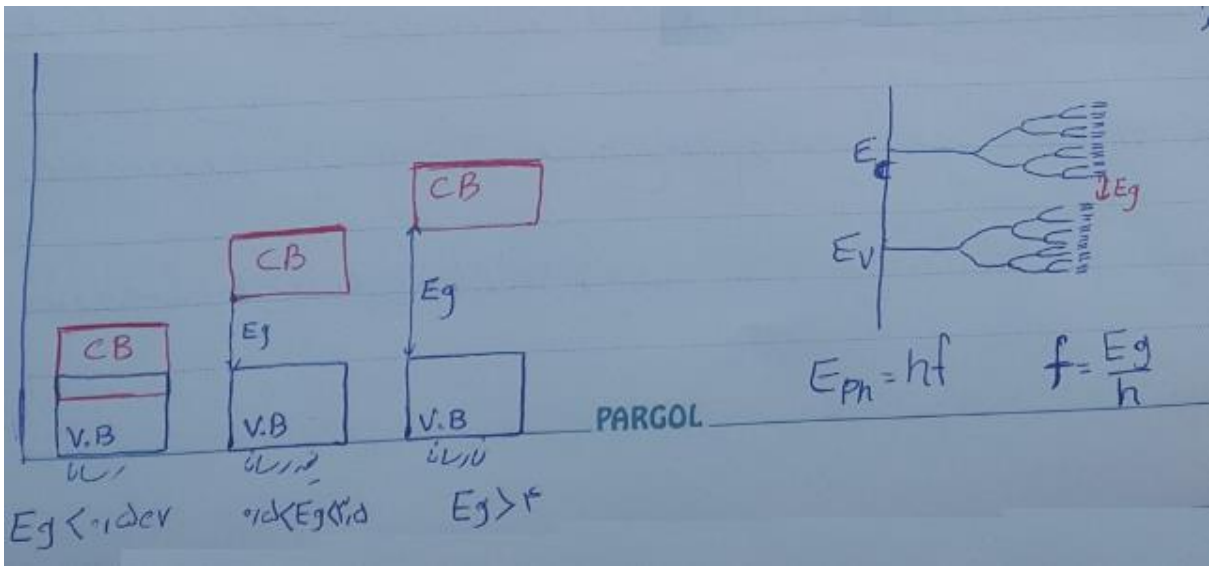
نارسانا: در این مواد الکترون های آزاد. در باند هدایت بسیار کم بوده و با اعمال یک اختلاف پتانسیل با دامنه محدود جریان بسیار ناچیزی (تقریباً صفر) از آنها عبور می نماید به عبارت دیگر مقاومت الکتریکی بسیار بالایی دارد مانند پلاستیک، چوب و میکا.

نیمه رسانا: موادی که در حالت ذاتی (بدون ناخالصی) و در دمای صفر کلوین (-273°C) الکترون آزادی در باند هدایت ندارند و شبیه عایق عمل می‌کنند اما با افزایش دما، تابش نور، افزودن برخی عوامل (عناصر) ناخالصی (سه ظرفیتی و پنج ظرفیتی) اعمال میدان های الکتریکی، مغناطیسی، الکترومغناطیسی و وارد نمودن ضربه الکترونهای آزاد در باند هدایت آنها ایجاد شده و مقاومت الکتریکی آن ها کاهش می یابد همانطور که گفتیم با افزودن مقدار کمی ناخالصی‌های سه یا پنج ظرفیتی می توان نیمه هادی های نوع P و نوع N تولید کرد. همچنین با ایجاد پیوند بین انواع مختلف نیمه هادی ها می توان قطعات الکتریکی متنوعی با کاربرد های گوناگون طراحی نمود تا کنون در درس های الکترونیک با ساختار و کاربرد های نیمه هادی ها در طراحی قطعات الکترونیکی مانند: دیود، ترانزیستور و ... آشنا شده ایم. در درس الکترونیک نوری می‌خواهیم کاربردهای جدیدی از پیوند های مواد نیمه رسانا در جهت طراحی و ساخت قطعات الکترونیک نوری را معرفی نماییم. برخی از قطعات الکترونیک نوری عبارتند از : ال ای دی، دیود لیزری، اپتوکوپلر، آشکارساز نوری، فیبر نوری، تزویج کننده نوری و ... برای این منظور در فصل گذشته مباحثی در مورد آشنایی با ماهیت نور مطرح نمودیم و آموختیم که هر یک از خواص ذره ای و موجی نور در چه شرایطی مورد بهره برداری قرار می گیرد.

یادآوری: ویژگی اصلی نیمه رسانا ها که باعث ایجاد قابلیت ها و کاربرد های متنوعی در آن ها گردیده است وابستگی هدایت الکتریکی آن ها به پارامترهای مختلف مانند حرارت نور ، ولتاژ ، میدان مغناطیسی ، ضربه ، افزودن ناخالصی و ... می باشد از طرفی قابلیت پیوند نیمه رسانا ها به یکدیگر و به ویژه ایجاد ساختار هایی

با پیوند های ناهمگون موجب طراحی و ساخت محصولات بسیار متنوعی در حوزه نیمه هادی ها گردیده است.

یادآوری: مدل های ارائه شده برای ساختار اتم: اولین نظریه ها در مورد مواد توسط فلاسفه یونان و هند ارائه گردید که اعتقاد داشتند ماده از واحدهای مجزایی تشکیل شده که غیر قابل تجزیه می باشد و آن را می‌نامند پس نظریات دیگری توسط دانشمندان در خصوص اتم ارائه گردید که عبارتند از: ۱- مدل دالتون ۲- مدل تامسون: (اولین مدلی که وجود ذرات مثبت و منفی در آن ارائه گردید.) ۳- مدل رادرفورد (علت خنثی بودن اتم را تفسیر کرد) ۴) مدل بور : (مدل سیاره ای- ساختار اتم را به منظومه شمسی تشبیه کرد) ۵- مدل لایه ای یا کوانتومی : این مدل توسط شرودینگر ثبت گردید مطابق نظریه او اتم از هسته و الکترون تشکیل شده است اما حرکت الکترون ها به دور هسته در فضای ابر مانند به نام اوربیتال صورت می گیرد که ویژگی های زیر را دارد: ۱- قطر فضای اوربیتال ده هزار برابر هسته اتم است ۲- سرعت حرکت الکترونها در لایه های اوربیتال بسیار بالاست و نمی توان محل دقیق آنها را مشخص نمود



تئوری باند: در حالتی که یک اتم منفرد داریم این اتم دارای یک لایه ظرفیت با یک لایه هدایت می باشد. حال اگر دو اتم منفرد و دور از هم را در نظر بگیریم هر کدام از این اتم ها نیز دارای یک لایه ظرفیت و یک لایه هدایت می باشند و اگر نمودار انرژی های مجاز برای هر اتم را رسم نماییم یک سطح انرژی ظرفیت Ev و یک سطح انرژی هدایت Ec خواهیم داشت با نزدیک شدن اتم ها و تشکیل پیوند بین آنها، اگر نمودار انرژی مجموعه دو اتمی را ترسیم نماییم ملاحظه می‌شود که توسط انرژی مجاز برای ظرفیت دو سطح انرژی مجاز برای هدایت خواهیم داشت با افزایش تعداد اتم ها و تشکیل یک شبکه کریستالی تعداد لایه های ظرفیت به حدی زیاد و نزدیک به هم می شود که به نظر می رسد به جای سطوح انرژی مجاز با فاصله

از هم یک باند یا نوار انرژی مجاز ظرفیت و یک باند و نوار انرژی مجاز هدایت خواهیم داشت به نحوی که الکترونها در هر یک از باندهای انرژی می‌تواند به صورت پایدار حضور داشته باشند در حد فاصل دو باند ظرفیت و هدایت الکترون ها نمی توانند به صورت پایدار حضور داشته باشند و پس از مدت کوتاهی به یکی از دو باند فوق‌الذکر منتقل می‌شوند این باند انرژی غیرمجاز را باند ممنوعه می نامند و فاصله انرژی بین بالاترین نقطه باند ظرفیت و پایین ترین نقطه باند هدایت را Eg یا انرژی شکاف باند می‌نامند که یکی از مهمترین پارامترها در نیمه رساناها میباشد. در رساناها Eg کمتر از ۰.۵ الکترون ولت، در نیمه رساناها بین ۰.۵ تا ۳.۵ الکترون ولت و در نارساناها Eg کمتر از ۴ الکترون ولت می باشد.

با افزایش درجه حرارت در نیمه رساناها Eg کاهش می یابد.

اندازه Eg ، تعیین کننده مشخصات ماده است در نیمه رسانا ها می توان با تغییراتی ، EG را تغییر داد ، که به این کار ، مهندسی شکاف باند (Band gap engineering) می گویند.

فواید جذب و گسیل نور در نیمه هادی: پدیده های تولید و باز ترکیب:

تولید و باز ترکیب حامل ها هادی در نیمه رسانا هنگامی اتفاق می‌افتد که الکترون از باند ظرفیت به باند هدایت در نیمه رسانا منتقل گردد که این عمل نتیجه‌ای از برهم کنش بین الکترون با سایر الکترونها، حفره ها و فوتون ها و یا نوسان شبکه کریستالی می باشد.

تولید و با ترکیب در نیمه رسانا همیشه هم به صورت نوری و هم به صورت حرارتی اتفاق می‌افتد و به گونه ای است که نرخ تولید و با ترکیب در حالت تعادل با یکدیگر بالانس می گردد.

اگر چگالی الکترون ها و حفره ها در حالت تعادلی حرارت را با N_0 و P_0 و چگالی حامل های ذاتی را با N_i نمایش دهیم آنگاه برای حالت تعادل حرارتی داریم: $N_0 \times P_0 = N_i^2$

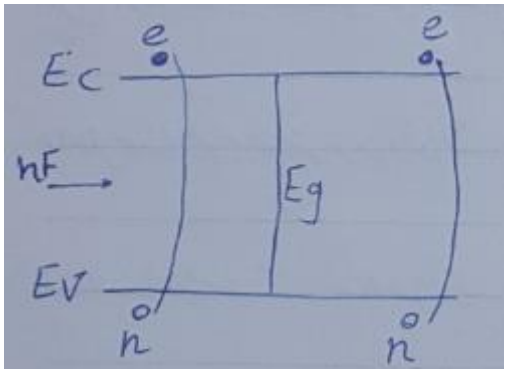
اگر در نیمه هادی حامل های مازاد (اضافه) داشته باشیم آنگاه $n.p>n_i^2$ خواهد بود.تحت این شرایط میزان باز ترکیب بیشتر از میزان تولید زوج الکترون حفره EH خواهد بود.

به عبارتی اگر تصور کنیم که هر یک از این باز ترکیب ها به تولید یک فوتون منجر شود می‌توان از چنین شرایطی برای طراحی یک منبع نوری نیمه رسانا استفاده نمود اگر کمبود حامل‌ها را داشته باشیم آنگاه $n.p<n_i^2$ نرخ بازترکیب کمتر از نرخ تولید زوج الکترون حفره خواهد بود.

توجه می‌کنیم که در هر دو حالت فوق سیستم ها تمایل به حرکت به سمت حالت تعادل دارند.

انواع مکانیزم های تولید و باز ترکیب:

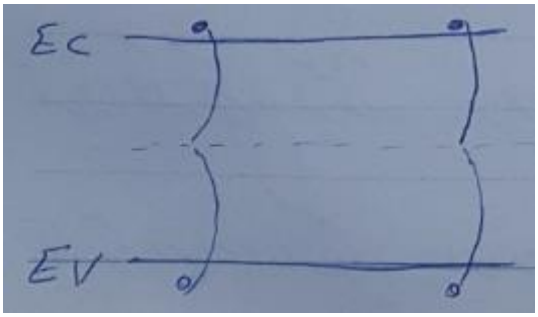
الف) مستقیم:



در صورتیکه پالایش فوتون به نیمه رسانا اگر الکترون باند ظرفیت مستقیماً به باند هدایت متصل شود و یا الکترون باند هدایت مستقیماً با حفره باند ظرفیت ترکیب شوند اصطلاحا می‌گویند تولید و یا باز ترکیب مستقیم اتفاق افتاده است.

نکته: تولید و با ترکیب مستقیم در نیمه رساناهای با شکاف باند مستقیم امکانپذیر می باشد مانند گالیوم-آرسنید در الکترونیک (الکترون) نوری معمولا از این نوع نیمه هادی استفاده می شود.

ب)غیرمستقیم:



اگر نیمه هادی از نوع مستقیم باشد، در پدیده بازترکیب ، فتون منتشر می نماید ، و اگر از نوع غیر مستقیم باشد ، هنگام بازترکیب ، انرژی به صورت ، حرارتی آزاد می شود و فتون ایجاد نمی گردد.

مستقیم : Dirct Band : Ga As

غیر مستقیم : Indirect Band : Si

نکته : در الکترونیک نوری ، با نیمه هادی های از نوع شکاف باند مستقیم کار می کنیم. که عمدتا نیز ، از نوع ترکیبی می باشد.

تولید و بازترکیب در نیمه هادی ها به صورت نوری و حرارتی اتفاق می افتد و این امر به گونه ایست که نرخ تولید و بازترکیب در حالت تعادل با یکدیگر بالانس می گردد. اگر چگالی الکترون ها و حفره ها در حالت تعادل حرارتی را با no و po و چگالی حامل های ذاتی را با ni نمایش دهیم آنگاه برای حالت تعادل حرارتی داریم $ni^2=po\ no$ در صورتی که در نیمه هادی های حالت مازاد (اضافه) داشته باشیم آنگاه $n\times p < ni^2$ خواهد بود و تحت این شرایط میزان بازترکیب از میزان تولید زوج الکترون حفره بیشتر خواهد بود. حالت سوم ، اگر کمبود حامل های بار الکتریکی داشته باشیم آنگاه $n\times p < ni^2$ و نرخ بازترکیب کمتر از نرخ تولید زوج الکترون ، حفره خواهد بود.

تذکر : در هر یک از حالات بیان شده فوق سیستم ها تمایل به حرکت به سمت حالت تعادل را دارند.

برخی پدیده های نوری و نیمه رسانا ها :

الف) گسیل نور : در صورتی که بازترکیب الکترون باند هدایت با حفره باند ظرفیت به تولید فتون منجر شود این پدیده را بازترکیب تشعشعی می نامند. انرژی فتون آزاد شده برابر Eg می باشد و فرکانس آن طبق رابطه Eph=Eg=hf به صورت زیر خواهد بود.

$$F=\frac{Eg}{h}$$

از آنجا که فرکانس فتون منتشر شده تعیین کننده طول موج به صورت زیر خواهد بود :

$$C=\lambda f\ \frac{m}{s}$$

$$\lambda=\frac{c}{f}$$

و از طرفی فرکانس و طول موج تعیین کننده رنگ نور منتشر شده می باشند لذا تغییر میزان Eg به تغییر رنگ نور منتشر شده از نیمه هادی منجر خواهد شد. و بدین ترتیب قابلیت تولید منابع نوری با رنگ های مختلف و ساخت نمایشگر های تمام رنگی به وجود می آیند.

سوال : Eg را چگونه کنترل کنیم ؟

برای این منظور از نیمه هادی های ترکیبی چند عنصری استفاده می کنیم.

مثال : ساختار $Al_x\ Ga_{1-x}\ As$ را در نظر بگیرید. برای این ساختار داریم :

$Eg(Al_X\ Ga_x\ As)=1/424+1/1x$

$X=0$

$Eg = 1/424$

$X=0/1$

$Eg=1/424+0/11=1/534\ ev$

$X=0/2$

$Eg=1/424+0/22=1/644\ ev$

مثال : برای $x=0/2$ در ساختار $Al_x\ Ga_{1-x}\ As$ تعیین کنید که آیا فتون منتشر شده در محدوده نور مرئی قرار دارد یا خیر ؟ در صورت مثبت بودن رنگ فتون را مشخص کنید:

$X=0/2$

$Eg=1/424+0/22=1/644\ ev$

$$F=\frac{Eg}{h}$$

$$F=\frac{Eg}{h}=\frac{1/624\times1/6\times10^{-19}}{6/62\times10^{-34}}$$

$$F=0/39\times10^{15}$$

$$\lambda=\frac{c}{f}=\frac{3\times10^{8}}{0/39\times10^{15}}=7/69\times10^{-7}m$$

$$\lambda = 769nm$$

در محدوده مادن قرمز می باشد ، یعنی می توان با آن دیود مادون قرمز طراحی نمود.

پدیده جذب نور : همانطور که اشاره شد در پدیده های جذب و گسیل نور در نیمه رسانا ها خاصیت ذره ای نور مشاهده می گردد و طبق آن نور با فرکانس f از بسته های انرژی (فتون) با انرژی $Eg_{photon}=hf$ تشکیل شده است در یک نیمه رسانا با انرژی باند ممنوعه Eg تنها در صورتی می توان با تابش فتون الکترون ها را از باند ظرفیت به باند هدایت منتقل نمود که انرژی فتون از Eg بزرگتر باشد.
$(Eg_{photon}=hf>Eg)$

در غیر این صورت امکان انتقال الکترون از باند ظرفیت به باند هدایت و تولید زوج الکترون حفره وجود ندارد. بر این اساس دو حالت قابل تصور است :

۱- جذب حامل و تولید زوج الکترون–حفره

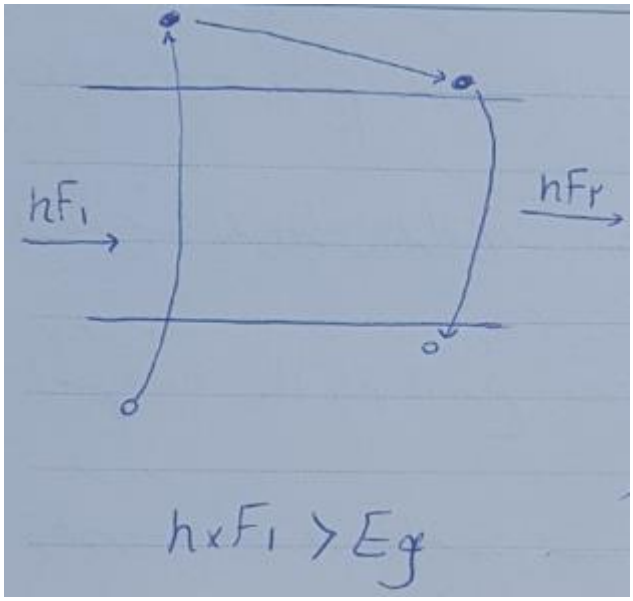
$Eg_{photon}=hf > Eg$

۲- جذب ضعیف و عدم تولید زوج الکترون – حفره

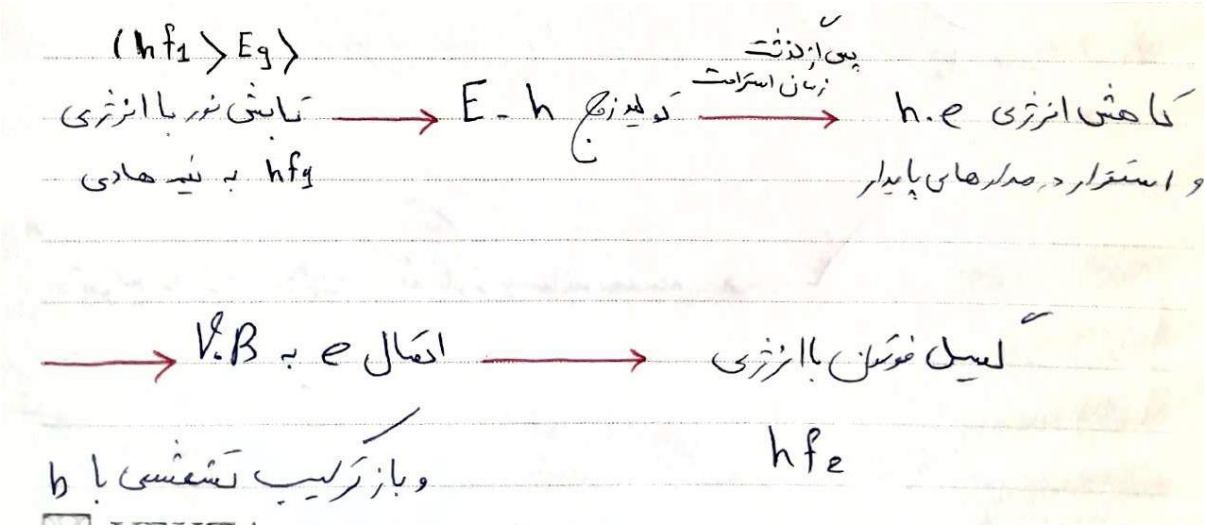
$Eg_{photon}=hf < Eg$

پدیده های جذب و گسیل نور علی رغم سادگی مفهوم مبانی تولید و طراحی ادوات مختلفی در صنعت الکترونیک نوری می باشند ، از پدیده جذب نور در طراحی سلول های خورشیدی یا Solar Cells ، سنسورهای نوری و ... مورد استفاده قرار می گیرند و پدیده گسیل نور در طراحی منابع نوری مانند LED ، LD (Laser diod) و ... مورد استفاده قرار می گیرند.

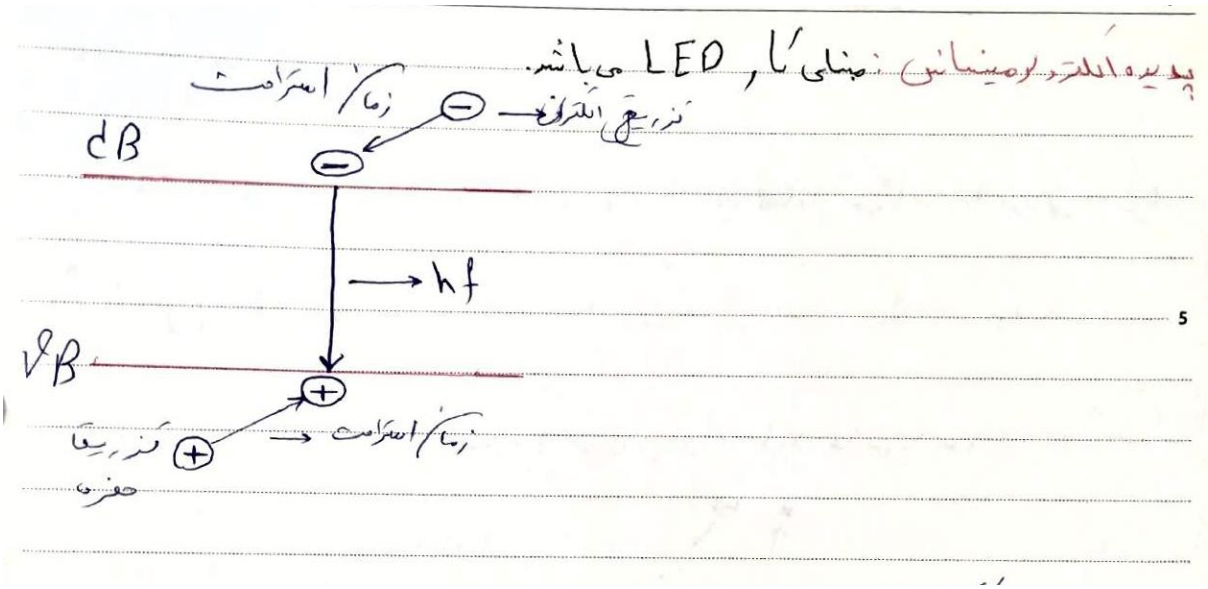
پدیده فوتولومینسانس: در صورتی که فوتونی با انرژی بزرگتر از Eg ($hxF_1>Eg$) به یک نیمه رسانا بتابد یک زوج الکترون حفره ایجاد نموده و باعث انتقال الکترون ها بر سطوح انرژی بالاتر از نوار هدایت می گردد

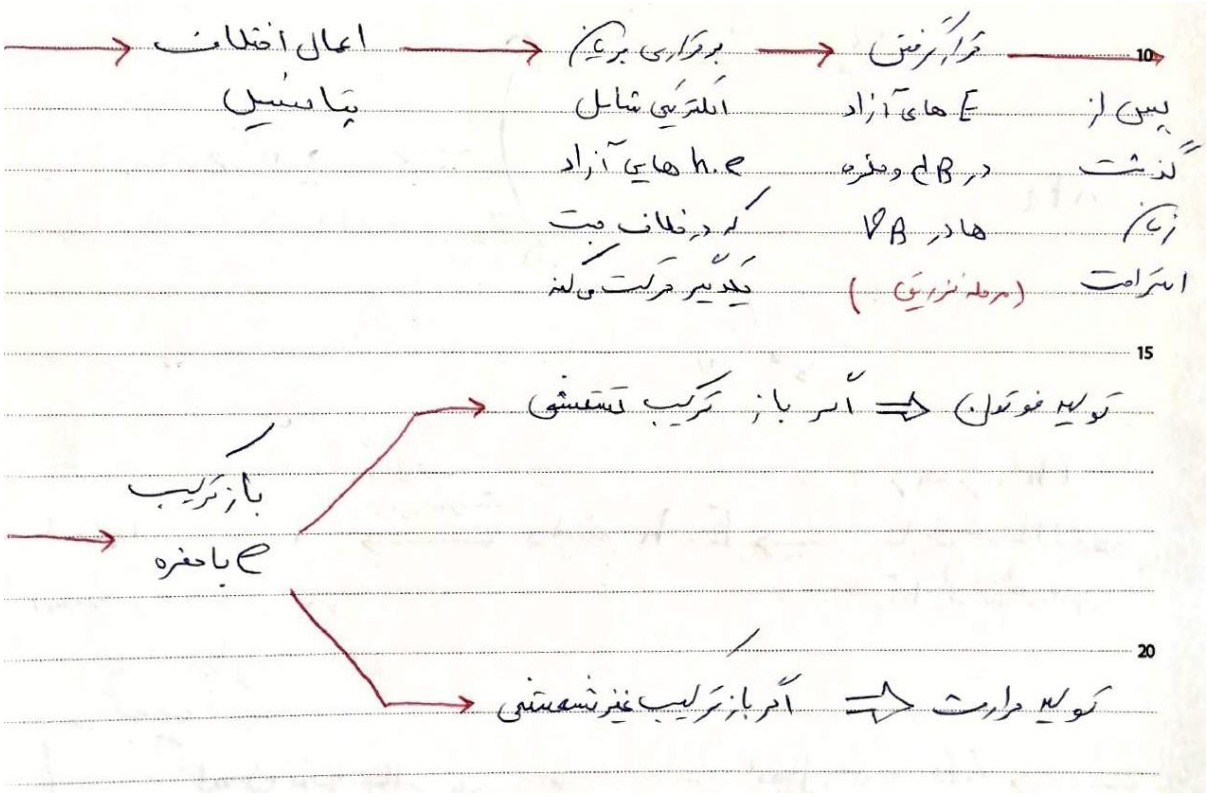


پس از گذشت زمانی(موسوم به زمان استراحت) الکترون و حفره در باند های خود به صورت کامل قرار می گیرند و می توانند در سطوح انرژی دیگری قرار گیرند در اثر باز ترکیب تشعشعی الکترون از باند هدایت به باند ظرفیت منتقل شده و فوتونی با فرکانس F_2 و انرژی hF_2 تولید می نماید که لزوماً با فرکانس فوتون اولیه یکسان نیست این پدیده در تحریک نوری در برخی از انواع لیزرهای نیمه رسانا کاربرد دارد.



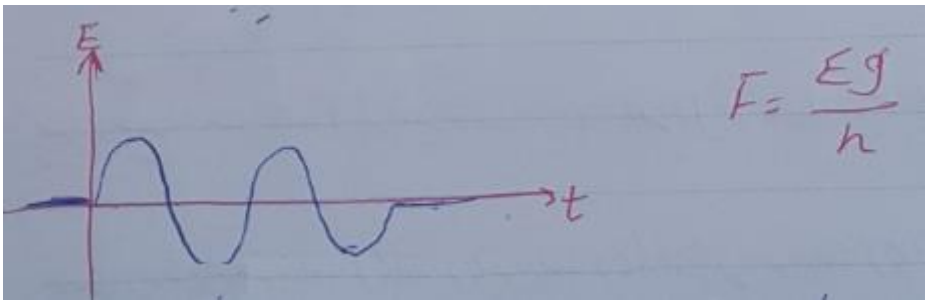
پدیده الکترو لومینسانس: در اثر اعمال اختلاف پتانسیل جریانی شامل الکترون ها و حفره ها که در داخل نیمه رسانا برقرار می گردد به نحوی که الکترونها در C.B و حفره ها در V.B قرار می گیرند تزریق الکتریکی بعد از گذشت زمان استراحت و قرار گرفتن الکترون و حفره در مقابل یکدیگر آمادگی برای باز ترکیب ایجاد می شود در این حالت با انتقال E از C.B به V.B و باز ترکیب با حفره اگر بازترکیب از نوع تشعشعی باشد یک فوتون با انرژی hF گسیل(منتشر) می‌گردد این پدیده مبنای کار لامپ LED است زیرا با اعمال میدان الکتریکی نور منتشر می گردد.



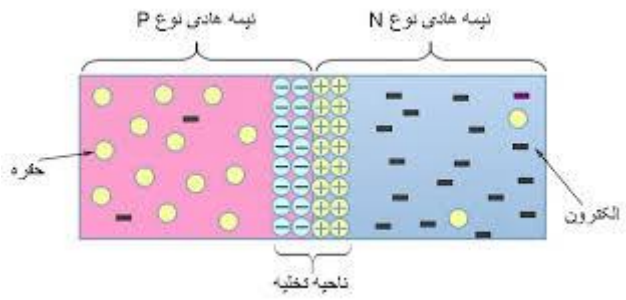


ساختار موجی نور منتشر شده:

فوتون حاصل از باز ترکیب تشعشعی به صورت موجی و فقط برای مدت کوتاهی منتشر می گردد و به منظور تولید یک موج نوری کامل و قابل دیدن باید عمل باز ترکیب الکترونها و حفره‌ها به صورت پی در پی انجام پذیرد به این تکه موج قطار موج گفته می‌شود و معمولاً به فاصله اختلاف باز ترکیب های مختلف زوج الکترون حفره ها فوتون های تولید شده دارای فرکانس های مختلفی هستند و در نتیجه نیمه رسانا بازه ای از فرکانس ها و طول موج ها را منتشر می کند اما در این حال بیشتر باز ترکیب ها مربوط به فوتون هایی هستند که انرژی آنها تقریباً به اندازه انرژی باند ممنوعه Eg می باشد

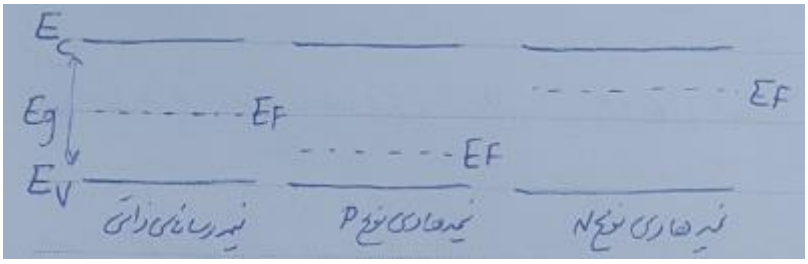


پیوند PN هم جنس: در این نوع پیوند هر دو ناحیه P و N از یک جنس ماده نیمه رسانا تشکیل می شوند.

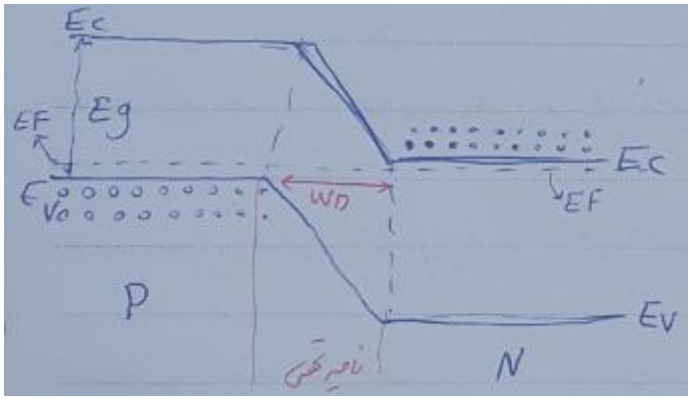


نمایش باند های انرژی پیوند PN :

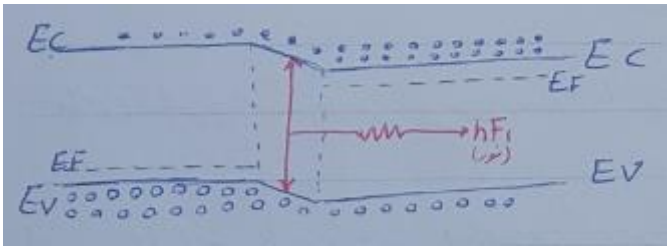
الف) بدون اعمال ولتاژ:



اگر دو نیمه هادی با یکدیگر پیوند برقرار نمایند به سطح فرعی آنها در حالت عدم اعمال پتانسیل الکتریکی هم سطح خواهد شد لذا برای پیوند P-N بدون اعمال ولتاژ داریم:



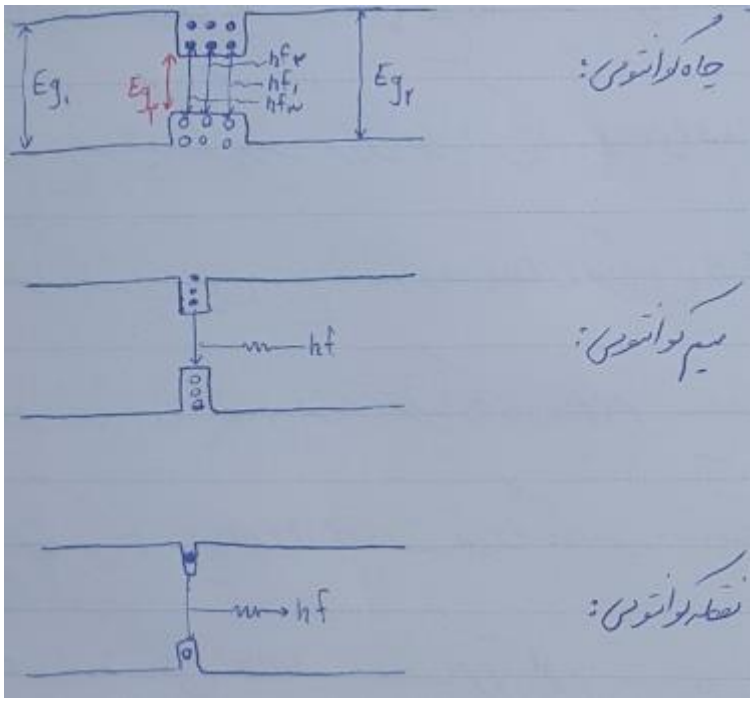
با اعمال ولتاژ خارجی بایاس مستقیم داریم:



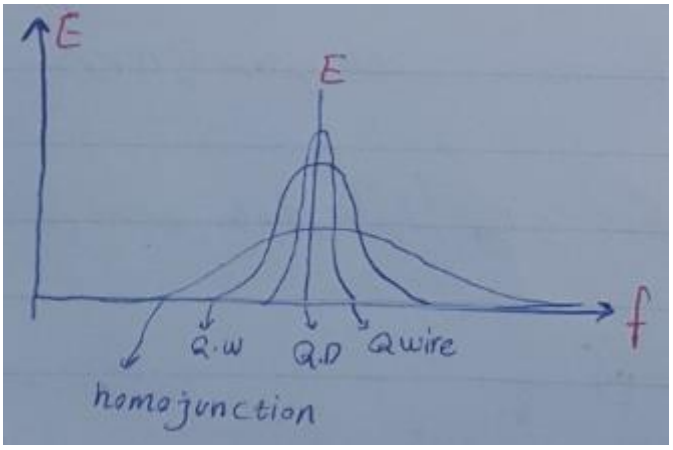
با اعمال بایاس مستقیم پدیده الکترولومینسانس و تابش فوتون به وقوع می پیوندد.

پیوند چندگانه P-N (غیرهمجنس): در عمل معمولاً به خاطر رسیدن به ساختار هایی که بتوانند اهداف طراحی ما را برآورده سازند نیازمند استفاده از پیوندهای از نیمه رسانا های مختلف می باشیم.

به این ترتیب این نیم رساناها دارای Eg متفاوت بوده و با پیوند آنها می توان نمودارهای نوار انرژی متفاوت و کاربردی تر ایجاد نمود این امر اساس ایجاد چاه کوانتومی (Quantum well) سیم کوانتومی (quantum wire) و خال یا نقطه کوانتومی (quantum dot) می باشد که به ترتیب حامل ها را در ۱،۲،۳ بُعد محدود میکند.



با ایجاد ساختارهای فوق می‌توان حامل ها را بارها (الکترون و حفره) در ناحیه مشخصی محصور نمود بدین ترتیب در آن ناحیه تعداد الکترون های هدایت و حفره‌های ظرفیت به تعداد قابل توجهی افزایش می یابد و این امر باعث افزایش احتمال باز ترکیب الکترون و حفره ها و تولید فوتون می گردد هر چقدر محدود سازی بیشتر باشد فرکانس فوتون های تولید شده نزدیک تر به هم بوده و نور تولیدی به سمت نور تک رنگ و تک فرکانس بیشتر نزدیک می شود.



در عمل به دنبال رسیدن منابع نوری تک فرکانس هستیم زیرا این منابع می‌توانند در مخابرات نوری و نیز مدارهای مجتمع الکترونیک نوری به افزایش پهنای باند کمک شایانی نمایند.

منابع نور: در الکترونیک نوری بر اساس کاربرد های مختلف می توان از منابع نوری متفاوتی استفاده نمود . مهمترین این منابع عبارتند از دیودهای نور گسیل (LED)، دیودهای مادون قرمز(فرو سرخ) که نور آنها نامرئی و دیود های لیزری برخی از کاربردهای این منابع نور عبارتند از نمایشگر های ساده در محصولات الکترونیکی، منابع نوری در مخابرات نوری، کاربرد های صنعتی در برش دهنده های لیزری، تلویزیون های شهری، انتقال اطلاعات در فضای آزاد و ...

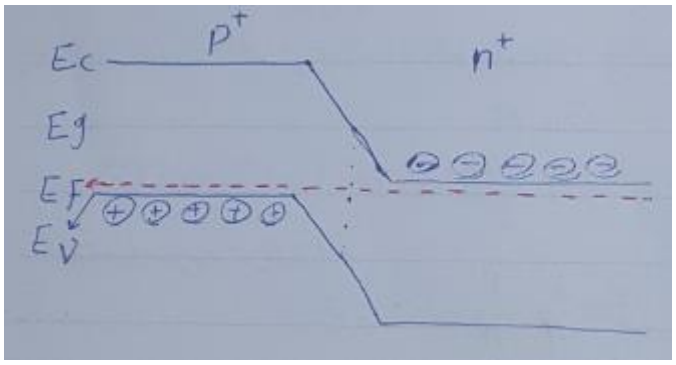
LED : دیود نور گسیل دیودی است که بر اثر باز ترکیب الکترون و حفره ها نور منتشر می‌کند با توجه به طول موج فوتون های منتشر شده این نور می تواند در یکی از طیف های مادون قرمز، ماورا بنفش و یا مرئی منتشر گردد LED را معمولاً به صورت مستقیم بایاس می کنند.

ساختار فیزیکی: ساده ترین ساختار فیزیکی که می‌تواند نور منتشر نماید یک پیوند $p^+ n^+$ می باشد علامت + بر روی n و p به معنی غلظت بسیار بالای ناخالصی های سه و پنج ظرفیتی در این نواحی می باشد افزایش چگالی ناخالصی ها منجر به افزایش الکترون ها و حفره ها و در نتیجه افزایش احتمال باز ترکیب تشعشعی آنها می شود.

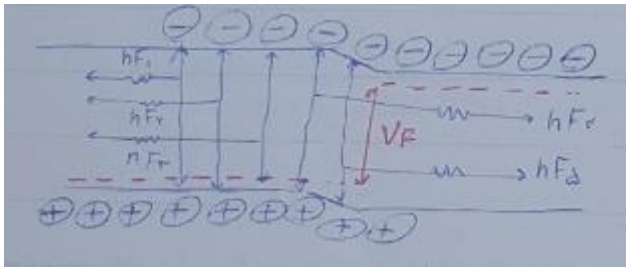
ساختمان کریستالی و نماد مداری دیود

نمودار نوار انرژی LED :

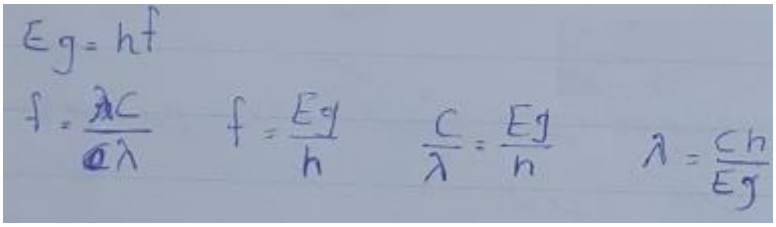
الف) بدون اعمال ولتاژ:



ب) با اعمال ولتاژ(بایاس مستقیم):



نکته: بر اساس روابطی که در گذشته ارائه دادیم، داریم:

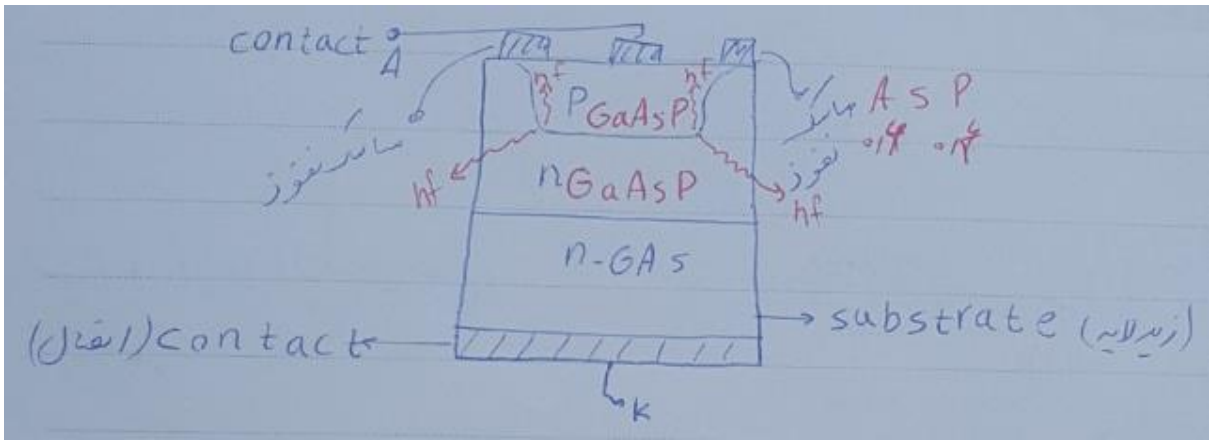


یعنی طول موج فوتون منتشر شده با Eg نسبت عکس دارد. به عبارت دیگر با افزایش Eg طول موج نور منتشر شده از LED کاهش می یابد.

نکته: با انتخاب نیمه رسانا های مختلف میتوان LED با رنگهای متفاوت تولید کرد که در جدول زیر لیست مواد و طول موج و رنگ منتشر شده از آنها آورده شده است.

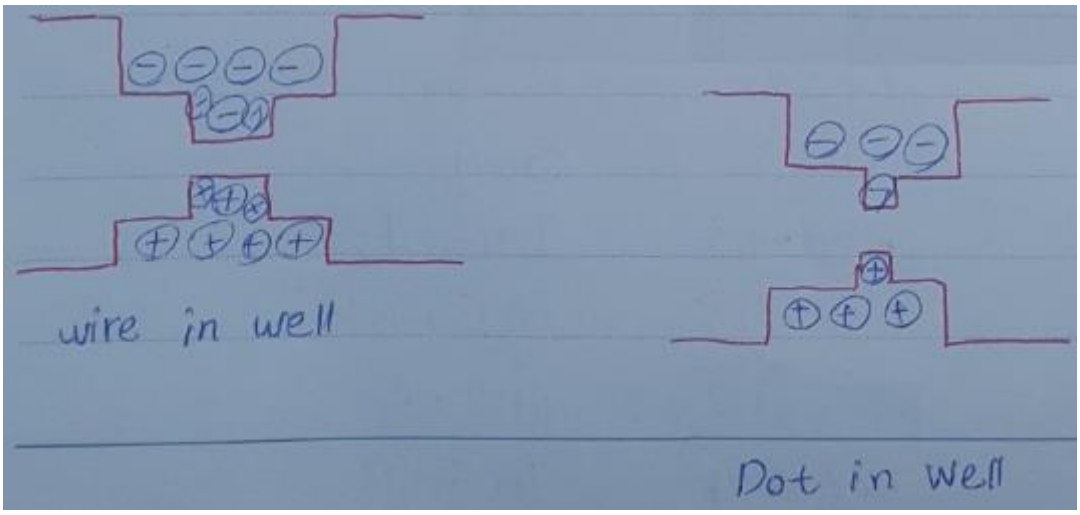
ماده نیمه رسانا	Eg(ev)	ƛ(nm)	رنگ نور
GaAs	1.43	870	مادون قرمز (فروسرخ)
InGaAs	0.95-1.3	1000-1300	مادون قرمز (فروسرخ)
InGaAsP	0.75-1.35	900-1700	مادون قرمز (فروسرخ)
AlGaAs	1.4-1.7	700-900	قرمز / فروسرخ
InGaP	1.82-1.94	640-680	قرمز
GaAsP	1.9-2.05	630-650	نارنجی / قرمز
GaP	2.260	549	زرد
GaN / AlGaN	2.5-2.75	450-500	آبی / سبز

ساختار واقعی تر از LED :



تذکر: هر چه قدر در ساختار نشان داده شده زیر لایه شفاف تر باشد بازدهی نور خروجی افزایش می یابد اما شفاف کردن زیر لایه به تکنولوژی های پیچیده و پرهزینه ای نیازمند است و برای LED های معمولی از

آن ها استفاده نمی شود. نکته قابل توجه دیگر آن است که در LED های با ساختارهای غیر همجنس (Heterostructure) به خاطر وجود چاه کوانتومی (QW) و افزایش تمرکز و غلظت حامل ها در چاه کوانتومی احتمال وقوع باز ترکیب تشعشعی بالاتر از پیوندهای همجنس می باشند لذا بازدهی این پیوندها بالاتر پیوندهای هم جنس است. اما ساختارهای غیرهمجنس پیچیده‌تر دارای تنوع بسیار بیشتر و نیازمند تکنولوژی ساخت مدرن تری می باشند



مزایای استفاده از ساختارهای چند لایه :

۱- در ناحیه چاه کوانتومی با هر قسمتی که به عنوان ناحیه اصلی تولید نور استفاده می شود به دلیل کوچک تر بودن Eg فوتون های تولید شده به لایه های مجاور که Eg بزرگتری دارند جذب نمی شوند و در نتیجه بازدهی خروجی نور افزایش می یابد.

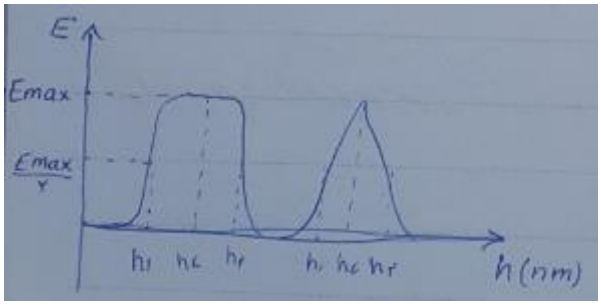
۲- باتوجه به تجمع حامل های تزریق شده در یک ناحیه کوچک و محدود زمان مورد نیاز برای باز ترکیب تشعشعی کاهش می یابد و این امر به افزایش سرعت LED و افزایش بازدهی داخلی آن منجر می شود

۳- با توجه به تفاوت ضریب شکست ناحیه چاه کوانتومی با لایه های مجاور که معمولا بیشتر از این لایه ها می باشد احتمال نفوذ نور به این لایه ها کاهش می یابد.

مشخصات اپتیکی LED :

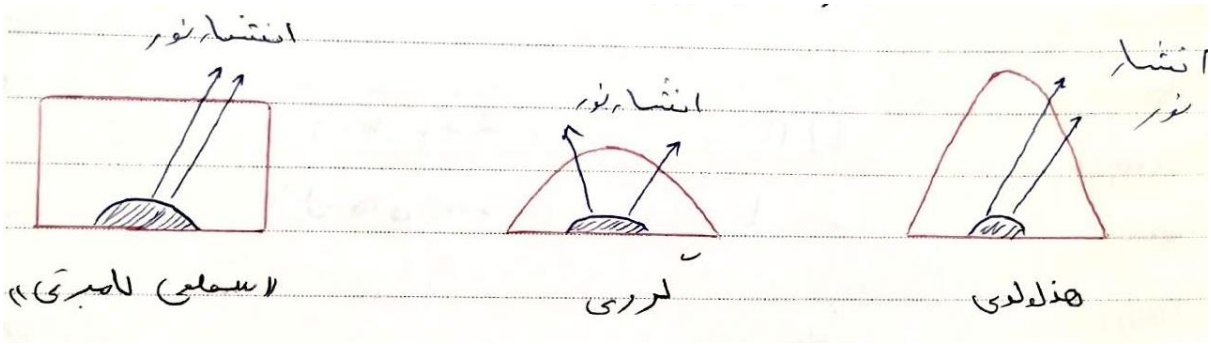
۱- طیف نور خروجی : یکی از مهمترین مشخصات اپتیکی LED می باشد و نشان میدهد که طول موج های مختلف چه مقدار از کل انرژی نور تابشی را در بر گرفته اند.

مثال شکل زیر را که نشان دهنده طیف نور خروجی برای دو LED مختلف می باشد را در نظر می گیریم:



در مخابرات فیبر نوری به دنبال افزایش پهنای باند و سرعت انتقال اطلاعات می باشیم و هر چقدر h_1 و h_2 کوچکتر باشد پهنای باند افزایش خواهد یافت در حالت ایده‌آل به دنبال منبع نوری تک فرکانس می باشیم که یکی از چالش‌های اساسی در الکترونیک نوری است.

۲- توزیع نور خروجی: گسیل نور خروجی از سطح LED با توجه به نوع سطح به یکی از سه شکل سطحی ، کروی و هذلولوی می باشد.

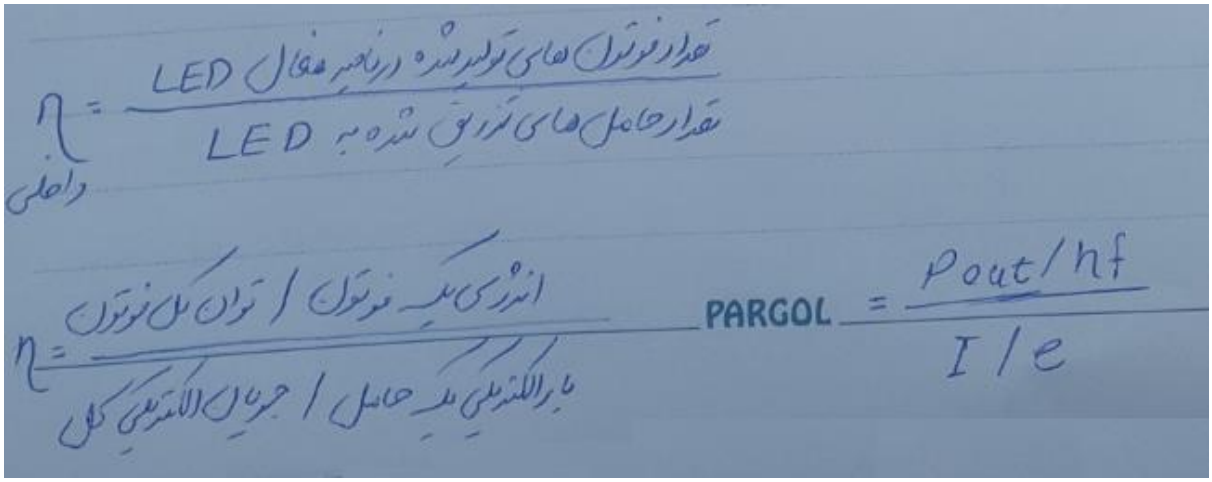


در بین LED های فوق بیشترین تمرکز نور خروجی متعلق به LED ها هذلولوی می باشد در LED کروی نور در تمام جهات تقریبا به صورت یکنواخت منتشر می شود.

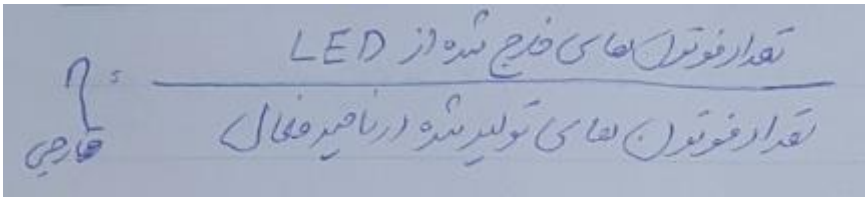
۳- بازدهی LED : یکی از پارامترهای مهم LED بازدهی آن است در حالت ایده‌آل تمام الکترون ها و حفره ها در اثر باز ترکیب به فوتون تبدیل شده اما در محل به واسطه وجود نقص در بلور (کریستال) و نیز بازترکیب‌های غیرتشعشعی بازدهی LED کاهش می یابد.

دو نوع بازدهی برای LED ها قابل تعریف است:

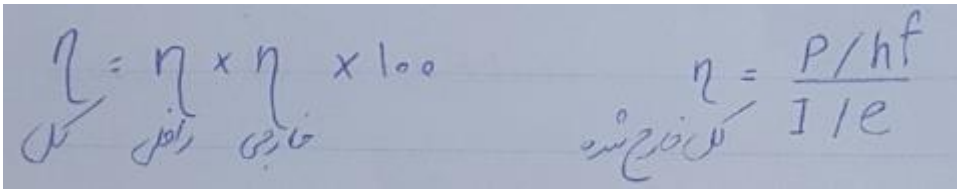
الف) بازدهی داخلی کوانتومی



ب) بازدهی خارجی:



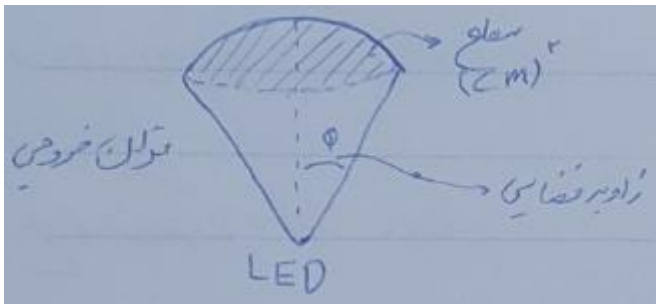
ج) بازدهی کل برحسب درصد:



۴- درخشندگی: در LED های مرئی این پارامتر بیشتر از بازده اهمیت دارد درخشندگی که به حساسیت چشم انسان بستگی دارد و با توجه به نمودار حساسیت چشم انسان به طول موج های مرئی ملاحظه می شود که بیشترین حساسیت چشم نسبت به نور سبز می باشد لذا اگر دو Led دارای بازده یکسان بوده و طول موج های خروجی سبز و قرمز داشته باشند درخشندگی LED سبز بیشتر است اما دست یابی به بازدهی بالا در دیود های LED سبز رنگ بسیار مشکل تر از LED های قرمز می‌باشد.

واحد درخشندگی کاندلا: تعریف قدیمی آن میزان شدت روشنایی یک شمع استاندارد بوده اما بنابر تعریف جدید اگر یک منبع نور تک رنگ با توان نوری معادل 1/683 w را در طول موج 555nm (طول موج نور سبز) بر واحد زاویه فضایی بتابانند شدت درخشندگی آن یک کاندلا (cd) است.

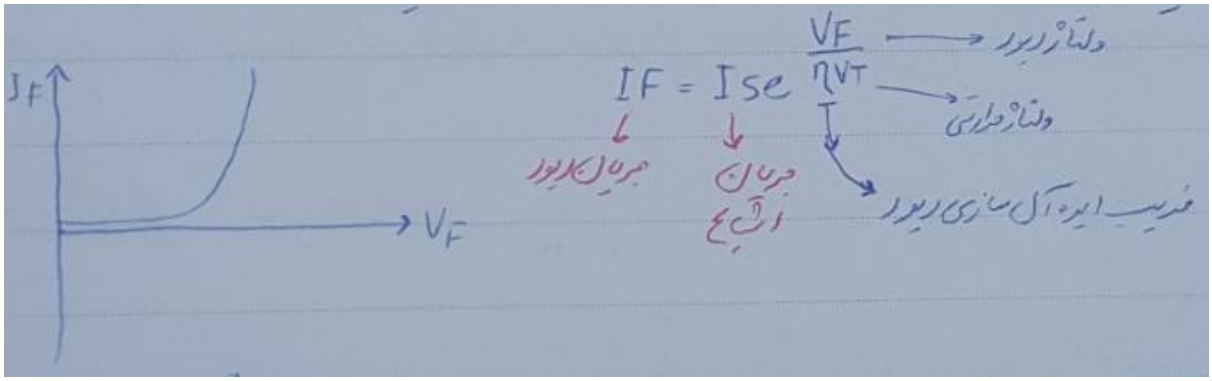
۵-میزان تابندگی: در کاربردهای مانند مخابرات فیبر نوری که حساسیت چشم انسان مد نظر نمی باشد تمرکز نور و مقدار توان خروجی آن دارای اهمیت بیشتری است. در این قبیل از موارد میزان تابندگی مورد توجه می باشد که عبارتست از: میزان توان خروجی بر واحد سطح بر واحد زاویه فضایی.



مشخصات الکتریکی در LED ها:

۱- ولتاژ مستقیم (VF) : همان افت ولتاژ دو سر LED در حالت بایاس مستقیم می باشد در این حالت ولتاژ دو سر دیود تقریباً ثابت و افزایش جریان عبوری، افزایش ولتاژ بسیار کوچک خواهد بود.

منحنی مشخصه LED :

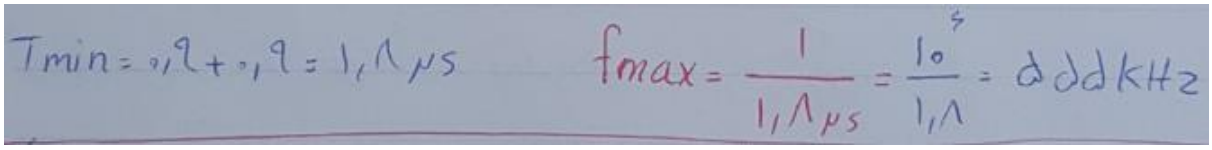


۲- ولتاژ شکست معکوس (V_{BR}) : با توجه به غلظت بالای ناخالصی ها در LED طبیعتاً ولتاژ شکست معکوس در LED اندازه کمتری نسبت به دیود پیوندی P-N معمولی دارد لذا در ملاحظات طراحی مدارهای الکترونیک نوری شامل LED باید بر اندازه V_{BR} در کاتالوگ LED توجه نمود و اندازه ولتاژ معکوس اعمالی را کمتر از V_{BR} , LED در نظر گرفت.

۳- جریان اشباع معکوس: شبیه جریان اشباع معکوس در دیود های معمولی تعریف می شود با این تفاوت که در LEDها به خاطر غلظت بالای ناخالصی اندازه جریان اشباع معکوس نیز بیش از دیودهای معمولی است به عنوان مثال: در یک دیود نوردهنده فروسرخ (LED مادون قرمز) ولتاژ شکست معکوس برای نیمه هادی GaAs سه ولت ($V_{BR} = 3v$) و جریان اشباع معکوس ($I_r = 10uA$) می باشد.

۴- سرعت پاسخ: حداقل زمان لازم پس از تزریق جریان تا خروج و انتشار نور از LED را سرعت پاسخ گویند. به منظور اندازه گیری این پارامتر با اعمال پالس های جریان به LED به اندازه گیری زمان روشن و خاموش شدن آن می توان سرعت پاسخ را اندازه گیری نمود این پارامتر در تعیین پاسخ فرکانسی LED اهمیت دارد.

مثال: در یک LED مادون قرمز زمان های روشن و خاموش شدن برابر 0.9us می باشد حداکثر فرکانس تحریک به صورت پالسی را محاسبه کنید.



پارامترها و ابعاد هندسی LED :

محفظه LED : معمولا سطح LED را با ماده شفافی به نام اپوکسی می‌پوشانند که نقش عدسی کروی را برای نور خروجی ایفا می‌کند و باعث افزایش بازده خارجی می گردد.

دیود فروسرخ (مادون قرمز) شبیه LED های معمولی هستند با این تفاوت که نور خروجی آنها در طیف مادون قرمز می باشد و همانطور که میدانید نور مادون قرمز غیر مرئی بوده و طول موج آن از 770nm تا 1mm می باشد. و پهنای این طیف حدوداً سه هزار برابر کل طیف نور مرئی می باشد در مقالات علمی طیف فروسرخ را به خاطر گستردگی زیاد به دو بخش فروسرخ نزدیک (near infrared) و فروسرخ دور (far infrared) تقسیم‌بندی می‌کنند طول موج 770nm تا 1400nm را فروسرخ نزدیک و مابقی طیف را تا 1mm فروسرخ دور می نامند برخی از پارامترهای مهم در دیود های فروسرخ عبارتند از: ۱- شدت نور بر حسب فاصله (برد) ۲- سرعت پاسخ ۳- زاویه پرتو ۴- تغییرات حرارت طول موج ۵- طول موج نور خروجی.

لیزر(LASER) : (Light Amplification by stimulated Emissiion Of Radiabion)

به معنی تقویت نور توسط تابش گسیل برانگیخته می باشد بدین معنی که لیزر از طریق مواد مختلف نور را تولید و با استفاده از فرآیند گسیل برانگیخته (القایی) آن را تقویت می نماید. نور تقویت شده به صورت پرتوهای موازی و همگرا با توانی بسیار بالا و تقریبا تک فرکانس از محیط لیزر خارج می شود این نور کاربرد های بسیار متعددی در حوزه های پزشکی ، تصویر سازی ، جوشکاری ، ذخیره اطلاعات در CD و DVD ها ، صنایع طراحی و دوخت لباس ، صنایع دفاعی ، برش های لیزری و ... دارد.

مخترع لیزر پروفسور علی جوان است.

نور خروجی از لیزر سه خاصیت دارد :

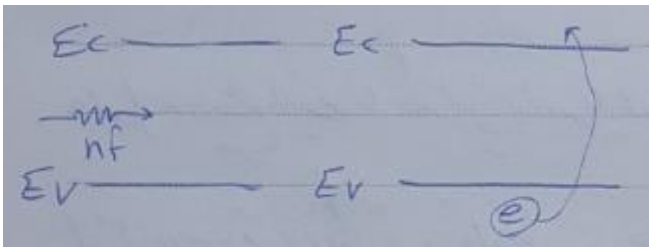
۱- تک رنگ (تک فام) نور لیزر دارای یک طول موج است و به عبارتی تک رنگ می باشد به منظور تولید چنین نوری کافی است منبع تولید لیزر تنها با یک فرکانس مشخص تحریک شده و در نتیجه نور لیزری با همان میزان فرکانس تولید گردد.

۲- همراستایی (همسو) : خروجی لیزر به صورت باریک و موازی تولید می‌شود یعنی پرتوهای آن پراکنده نمی شوند و به عبارتی در یک مسیر نسبتاً مستقیم منتشر می‌گردند و نور لیزر می‌تواند مسافت های طولانی را بدون پراکنده شدن طی نمایند به منظور دستیابی به این ویژگی در محفظه تولید کننده نور لیزر از آینه های خاصی استفاده میشود که باعث میشوند اشعه لیزر در راستاهای مختلف توسط آینه ها بازتاب شده و به صورت موازی و از یک مسیر مشخص خارج شوند.

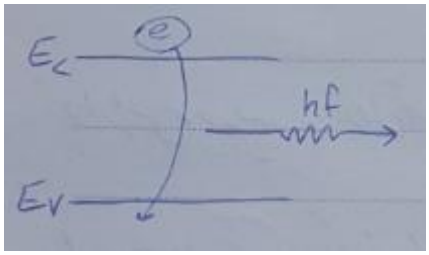
۳-همدوس: به این معنی است که امواج تولید شده نور لیزر از نظر مکانی و زمانی با یکدیگر هماهنگ و به عبارتی هم فاز اند لذا این امواج یکدیگر را تقویت نموده و نور خروجی لیزر توان بالایی دارد

فرایند های نوری در نیمه رساناها:

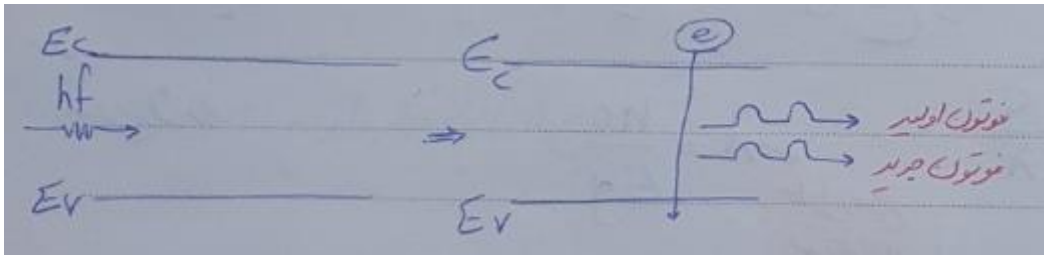
۱- جذب خود به خودی



۲- گسیل خود به خودی

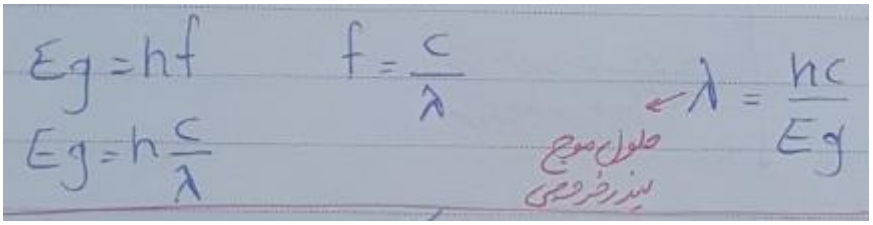


۳- گسیل برانگیخته (القایی)

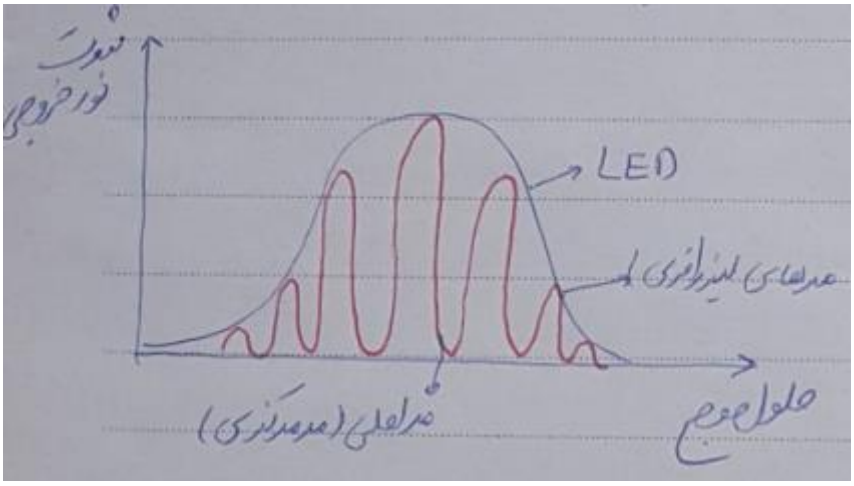


در لیزر با تحریک مناسب تعداد الکترون ها در باند هدایت افزایش می‌یابد و این افزایش تا جایی ادامه می یابد که اصطلاحاً پدیده وارونگی جمعیت حامل‌ها رخ می‌دهد در این حالت با بازگشت الکترون ها به نوار ظرفیت فوتون های پدید آمده مشخصات یکسانی نسبت به فوتون قبلی خواهند داشت این امر باعث تقویت نور شده و اصطلاحاً می‌گوییم گسیل القایی رخ داده است توجه داشته باشید که معمولا تمام فوتون ها شبیه فوتون های گسیل القایی نمی باشند و فقط قسمت اندکی از انرژی داده شده به ماده لیزر تبدیل به نور لیزر می شود به منظور تقویت پرتوهای گسیل القایی باید این فوتون ها در محدوده لیزر باقی بمانند تا بتوانند با فوتون های بعدی ترکیب شوند به همین دلیل در دو سمت محیط لیزر آینه های قرار می گیرد که این آینه ها فوتون ها را به محیط لیزر برمی‌گردانند و عمل رفت و برگشت پرتوهای گسیل القایی نوسان لیزر میکنند.
تذکر: شرط ایجاد نوسان موفق در لیزر این است که طول محیط مضرب صحیحی از نصف طول موج لیزر باشد این امر باعث تولید موج ایستان میشود هنگامی که پرتو لیزر به اندازه ای قوی شد که بر تلفات محیط لیزر غلبه نماید می‌تواند از یک سمت محیط لیزر که دارای ضریب بازتاب کمتری است خارج گردد به حداقل جریان مورد نیاز برای این امر جریان آستانه لیزر می گویند

نکته: طول موج لیزر منتشر شده همانند LEDها به Eg ماده بستگی دارد



از آنجا که در واقعیت در نیمه رساناها بیشتر از یک تراز برانگیخته قرار دارد خروجی LED به صورت یک طیف پیوسته می‌باشد اما با توجه به شرط نوسان لیزر ، پرتو خروجی دیود لیزری تنها در برخی قسمت‌های طیف می‌تواند خروجی داشته باشد به این خروجی اصطلاحاً مدهای لیزر می گویند قوی ترین مد لیزر را مد مرکزی یا مد اصلی می گویند و به سایر مدها مدهای فرعی گفته می‌شود معمولاً در لیزرهای نیمه هادی مدهای فرعی بسیار ضعیف تر از مدهای اصلی می‌باشند و می‌توان از آنها در مقابل مد اصلی صرف نظر نمود در این حالت می توان لیزر را لیزر تک مد نام نهاد در شکل زیر خروجی LED و لیزر نشان داده شده است.



پارامترهای مهم دیود لیزری: توان نور خروجی: حداکثر توان نور لیزر خروجی است.

۲- طول موج لیزر : برای لیزر های تک مد برابر با طول موج موج خروجی لیزر و برای لیزر های چند مُد برابر طول موج مُد اصلی میباشد.

۳- جریان آستانه : حداقل جریانی که لیزر را در حالت گسیل القایی قرار داده و باعث ایجاد پرتو لیزر در خروجی می گردد.

پایان