۱۰۲۹۲۱

۸۷/۱/۱۰۲۹۵۴
۸۷/۱۱/۸

دانشگاه پیام نور

مرکز شیراز

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته: فیزیک (اتمی و مولکولی)

دانشکده علوم پایه

گروه علمی: فیزیک

عنوان:

جذب و تابش اپتیکی در سیمهای کوانتومی با مقاطع دایره ای و V شکل

۱۳۸۷ /۹/ ۳۰

اساتید راهنما:

دکتر علیرضا کشاورز

دکتر رضا خرداد

استاد مشاور:

دکتر عبد الرسول قرائتی جهرمی

نگارش:

سید شکرالله موسوی

دی ماه ۱۳۸۶

۱۰۲۹۲۱

دانشگاه پیام نور

مرکز شیراز

تصویب پایان نامه

پایان نامه تحت عنوان: جذب و تابش اپتیکی در سیمهای کوانتومی با مقاطع دایره ای و V شکل که توسط سید شکرالله موسوی در مرکز شیراز تهیه و به هیئت داوران ارایه گردیده است مورد تایید می باشد. تاریخ دفاع:۱۳۸۶/۱۰/۲۷ نمره:۱۷

اعضای هیئت داوران:

نام و نام خانوادگی	هیئت داوران	مرتبهٔ علمی	امضا
علیرضا کشاورز	استاد راهنمای اول	استادیار	
رضا خرداد	استاد راهنمای دوم	استادیار	
عبدالرسول قرائتی جهرمی	استاد مشاور	استادیار	
پرویز الهی	استاد داور	استادیار	
فریبا ارشاد	نمایندهٔ دانشگاه	**استادیار**	

چکیده

ابتدا نیمه رسانا را تعریف کرده و به بررسی وضعییت الکترون رسانشی در آن می پردازیم، آنگاه اتصال نیمه رساناها را مورد بحث قرار داده و چاههای کوانتومی حاصل از اتصال را مطالعه می کنیم. پس از آن دومین ساختار ناشی از اتصال یعنی سیمهای کوانتومی را با حل معادلهٔ شرودینگر در سیم کوانتومی چهار گوش پی می گیریم و چگالی حالتهای الکترون در سیمهای کوانتومی را به دست آورده و با استفاده از آن تابع توصیف کنندهٔ جذب و تابش اپتیکی را نیز به دست می آوریم. در فصل پنجم نیز ابتدا معادلهٔ شرودینگر را برای الکترون در سیم کوانتومی با مقطع دایره ای در دستگاه مختصات استوانه ای و استفاده از بسط مجانبی توابع بسل حل کرده و ویژه مقادیر انرژی را به دست می آوریم، آنگاه با استفاده از مقادیر به دست آمده و استفاده از ساز و کار گذار الکترون و حفره طول موجهای اپتیکی قابل جذب و تابش را محاسبه می کنیم. و در ادامه ویژه مقادیر انرژی الکترون و حفره را در سیم کوانتومی با مقطع V شکل به روش تحلیلی حساب کرده و با روش یاد شده طول موجهای اپتیکی قابل جذب و تابش را برای مقطع V شکل نیز حساب خواهیم کرد. در پایان نیز نمودار توصیفی ضریب بهره را برای یکی از حالتها رسم می کنیم.

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-۱) تعریف نانو..... ۱

۱-۲) نانو فناوری چیست؟..... ۱

۱-۳) نانو ساختارها..... ۱

۱-۴) شاخه های نانو فناوری (نانو فناوری مرطوب، نانو فناوری خشک و محاسبه ای)..... ۲

۱-۴-۱) نانو فناوری مرطوب..... ۲

۱-۴-۲) نانو فناوری خشک..... ۲

۱-۴-۳) نانو فناوری محاسبه ای..... ۲

۱-۵) کاربردهای نانو فناوری (پزشکی، بیو فناوری، انرژی، الکترونیک)..... ۳

۱-۶) نانو فوتونیک..... ۳

فصل دوم : شبکه نیمه رسانا و اپتیک خطی(جذب اپتیکی)..... ۵

۲-۱) تعریف رسانا، نارسانا، نیمه رسانا..... ۵

۲-۲) بستگی رسانش رسانا به دما..... ۵

۲-۳) اثر دما بر رسانش نیمه رسانا..... ۶

۲-۴) نظریهٔ نواری رسانش..... ۶

۲-۵) تعریف نوار ظرفیت و نوار رسانش..... ۶

۲-۵-۱) نوار ظرفیت..... ۶

۲-۵-۲) نوار رسانش..... ۷

۲-۶) توصیف رسانا، نارسانا، نیمه رسانا و نظریهٔ نواری رسانش..... ۷

۲- ۶- ۱) تعریف رسانا، نارسانا ونیمه رسانا..... ۷

۲-۶-۲) حفره..... ۸

۲- ۷) آلایش نیمه رسانا..... ۹

۲-۷-۱) نیمه رسانای نوع n ۹

۲-۷-۲) نیمه رسانای نوع p ۱۰

۲-۸) سازوکار پاسخ نیمه رسانا به افزایش دما و تابش فوتون..... ۱۱

۲-۹)مطالعهٔ مقادیر انرژی و توابع حاکم بر الکترون درشبکهٔ نیمه رسانا ۱۱

۲-۹-۱) مقدمه..... ۱۱

۲-۹-۲) جوابهای معادله شرودینگر در شبکهٔ نیمه رسانا..... ۱۱

۲-۱۰) چکالی حالتها در شبکهٔ نیمه رسانا..... ۱۴

۲-۱۱) مکانیزمهای کلی در نیمه رسانا و آمادگی آن برای تابش لیزری..... ۱۷

۲-۱۲)تابش خود به خود و تابش القائی ۱۹

۲-۱۳) لیزر دیود..... ۲۰

فصل سوم : اتصال ناهمجنس وتقریب چاه پتانسیل ۲۲

۳-۱) اتصال غیر همجنس..... ۲۲

۳-۲) تقریب چاه پتانسیل ۲۳

۳-۲-۱) جرم موثر ۲۵

۳-۲-۲) بلندی دیوارهٔ پتانسیل..... ۲۵

۳-۲-۳) پهنای چاه..... ۲۵

۳-۳) انواع اتصال و سه ساختار مهم..... ۲۶

۳-۴) چاه کوانتومی..... ۲۶

۳-۴-۱) چاه پتانسیل با دیوارهٔ نا محدود..... ۲۶

۳-۴-۲) چاه پتانسیل با دیوارهٔ محدود..... ۲۹

۳-۴-۳) پاشیدگی انرژی در سطح چاه پتانسیل محدود..... ۳۱

۳-۵) مقایسه مقدار انرژی وتعداد حالتهای چاه نامحدود و چاه محدود..... ۳۴

۳-۶) عوامل موثر برویژه مقادیرانرژی چاه پتانسیل محدود..... ۳۴

۳-۶-۱) تاثیرطول چاه بر ویژه مقادیر انرژی..... ۳۵

۳-۶-۲) تاثیر ارتفاع چاه بر اندازهٔ ویژه مقادیر..... ۳۶

۳-۶-۳) اثر جرم مؤثر..... ۳۷

۳-۷) تاثیر میدان الکتریکی بر چاه پتانسیل محدود (اثراستارک).....۳۸

۳-۸) تعداد حالتها و چگالی حا لتها برای چاه کوا نتومی ۴۱

۳-۸-۱) جمعییت کل زیر تراز.....۴۲

۳-۹) حفره در محل چاه.....۴۳

۳-۱۰) ها میلتونی بر هم کنش حفره و الکترون.....۴۵

۳-۱۱) ساز و کار جذب وتابش اپتیکی در چاه.....۴۶

فصل چهارم : سیم کوانتومی ۴۸

۴-۱) مقدمه.....۴۸

۴-۲) سیم کوانتومی با مقطع چهار گوش و دیوارۀ بسیار بلند.....۴۹

۴-۲-۱) جوابهای تحلیلی معادله شرودینگر.....۵۰

۴-۲-۲) ویژه مقادیرانرژی.....۵۲

۴-۳) سیم کوانتومی با مقطع چهار گوش ودیوارۀ محدود.....۵۲

۴-۳-۱) حل تحلیلی معادلۀ شرو دینگر.....۵۲

۴-۳-۲) مکان الکترون.....۵۴

۴-۴) چگالی حا لتها در سیم ها ی کوا نتومی.....۵۵

فصل پنجم: سیم های کوانتو می با مقا طع دایره ای و V شکل.....۵۸

۵-۱) سیم کوانتو می با مقطع دا یره ای.....۵۸

۵-۱-۱) روش عددی برای حل معا دلهٔ شرودینگر..... ۵۸

۵-۲) جوا بهای تحلیلی در دستگاه مختصات قطبی استوانه ای..... ۶۲

۵-۲-۱) حل معادلهٔ شرودینگر..... ۶۲

۵-۲-۲) شرایط مرزی و معا دلات ویژه مقداری..... ۶۵

۵-۳) ساز و کار جذب و تابش سیم کوانتومی با مقطع دایره ای..... ۶۷

۵-۴) سیم کوانتومی با مقطع .....V شکل..... ۶۹

۵-۴-۱) انرژیها و طول موجهای قابل جذب و تابش برای سیمV شکل..... ..... ۷۶

نتایج و بحث..... ۹۸

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱) طرح نواری رسانا و نیمه رسانا و نارسانا.....۸

شکل۲-۲:نمایش گذار الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش و برعکس.....۹

شکل۲-)۳: طرح نواری نیمه رسانای نوع n.....۱۰

شکل۲-۴:):طرح نواری نیمه رسانای نوع p.....۱۰

شکل۲-۵): نمودار انرژی الکترون وحفره در نوار رسانش و ظرفیت.....۱۲

شکل (۲-۶): مقایسه نمودار انرژی الکترون کاملا آزاد (در فضای آزاد) والکترون تقریبا آزاد(در درون شبکه).....۱۳

شکل(۲-۷): (الف)جذب فوتون –(ب)گسیل خود به خود –(ج)گسیل القایی.....۲۰

شکل (۲-۸) :تراز انرژی در اتصال دیودی.....۲۰

شکل۳-۱): نمایش چگونگی نوارهای رسانش و ظرفیت در محل اتصال.....۲۲

شکل ۳-)۲: شکل الف و ب: مربوط به چگونگی نوارهای ظرفییت و رسانش در دو نوع اتصال، و ایجاد چاه پتانسیل.....۲۳

شکل (۳-۳):دو نوع چاه پتانسیل دوگانه و نمایش الکترون و پروتون که به دام افتاده اند.....۲۳

شکل۳-۴:چاه بتانسیل چند گانه.....۲۴

شکل(۳-۵) :الف:شبکه نیمه رسانا ب: چاه کوانتومی ج:سیم کوانتومی د: نقطه کوانتومی.....۲۶

شکل (۳-۶): الف: مقادیر مجاز انرژی ب:توابع موج حالتهای فرد ج: احتمال وجود الکترون در نقاط مختلف ودر حالتهای متفاوت ۲۸

شکل(۳-۷): چاه پتانسیل یک بعدی با دیوارهٔ محدود.....۲۹

شکل (۳-۸) : تابع موج و ویژه مقادیر انرژی سه حالت اول چاه پتانسیل محدود برای حالت زوج.۳۰

شکل (۳-۹) : محور x با کف چاه موازی و محور y بر آن عمود است ، محور z نیز بردیواره ها عمود می باشد.....۳۱

شکل (۳-۱۰) : مقایسهٔ ویژه مقادیر چاه پتانسیل محدود (خط پر) و چاه نامحدود (نقطه چین).....۳۴

شکل (۳-۱۱) : وابستگی اندازهٔ ویژه مقادیر انرژی به طول چاه پتانسیل محدود.....۳۵

شکل (۳-۱۲) : رفتار تابع موج در درون و بیرون چاه.....۳۶

شکل (۳-۱۳) : تاثیر ارتفاع پتانسیل بر اندازهٔ ویژه مقادی.....۳۷

شکل (۳-۱۴): اثراندازهٔ جرم مؤثر بر اندازهٔ انرژی حالت پایه برای نوع $(GaAs\ /Ga_{0.6}Al_{0.4}A_s)$.....۳۸

شکل (۳-۱۵) : تاثیر میدان الکتریکی ضعیف و موازی با محور z بر شکل چاه.....۳۹

شکل(۳-۱۶): تاثیر میدان الکتریکی بر چاه پتانسیل دوگانه و تغییر وضعییت الکترون و حفره..۴۰

شکل (۳-۱۷) : دایره ای در فضای k و به شعاع k که شامل N سلول واحد است.....۴۱

شکل (۳-۱۸) : ساز و کار ایجاد حفره در باند والانس و چگونگی قرار گرفتن آن در چاه پتانسیل..۴۳

شکل (۳-۱۹) : الکترون و حفره در چاه پتانیسل و تابع موج حاکم بر آنها در پایینترین مقدار انرژی.....۴۴

شکل ۳-۲۰) : نمایش تابع موج دو حالت اول مربوط به حفره و الکترون و نمایش اختلاف انرژیها..... ۴۷

شکل (۳-۲۱) : هر چه پهنای چاه کمتر باشد اختلاف انرژی ترازها بیشتر شده و فوتونهای پر انرژی تر که طول موج کمتری دارند جذب می شوند اما تعداد طول موجهای کمتری جذب می شوند..... ۴۷

شکل (۴-۱) : سیم کوانتومی با مقطع چهارگوش و دیواره های بسیار بلند..... ۴۹

شکل (۴-۲) : پتانسیل تعریف شده در محل دیواره ها برای اعمال در معادلهٔ شرودینگر..... ۵۳

شکل (۴-۳): احتمال حضور الکترون و چگالی بار الکتریکی برای چهار حالت $(1,1),(2,1),(1,2),(2,2)$..... ۵۵

شکل (۵-۱) : سیم کوانتومی با مقطع دایره ای..... ۵۸

شکل(۵-۲) : چگونگی بستگی مقادیر انرژی حالتهای اول و دوم سیم استوانه ای به شعاع سیم..... ۶۱

۵-۳) نمایش گذار الکترون و حفره..... ۶۷

شکل (۵-۴): سیم کوانتومی با مقطع V شکل ۶۹

شکل (۵-۵): تقریب مناسب برای این که بتوان معادلهٔ شرودینگر را حل کرد..... ۶۹

شکل (۵-۶): تقریب شکل برای جداسازی متغیرها..... ۷۱

۵-۷) نمودار توصیف کنندهٔ ضریب بهره برای سیم کوانتومی با مقطع V شکل از نوع $Al_{0.8}Ga_{0.2}As/GaAs$..... ۷۸

فهرست جدولها

عنوان **صفحه**

جدول ۵-۱: انرژیها و طول موجهای قابل جذب در نوع: $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ ۷۶

جدول ۵-۲: مقایسهٔ انرژیها و طول موجهای قابل جذب در $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ و $Al_{0.8}Ga_{0.2}As$ ۷۷

فصل اول

مقدمه

۱-۱) تعریف نانو

نانو در لغت یونانی به معنای کوچک می باشد اما در اصطلاح علمی امروز، یک میلیاردیم یا به عبارتی $۱۰^{-۹}$ برابر یک واحد را نانو می نامند. به عنوان مثال اندازهٔ باکتریها در حدود یکصد نانو متر و در ابعاد اتمی و مولکولی، هر اتم هیدروژن یک دهم نانو متر می باشد.

۱-۲) نانوفناوری چیست؟

تولید مواد به کار رونده و طراحی آنها و همچنین کنترل هر سیستمی که در محدودهٔ یک تا یکصد نانو متر می باشد، نانو فناوری نامیده می شود. باید یادآوری کنیم که در محدودهٔ فوق با توجه به کوچک بودن ابعاد، برای توصیف یا بررسی خواص یک سیستم، باید از فیزیک کوانتومی بهره بگیریم، بنابراین اثری هم که مشاهده می شود، اثرکوانتومی[۱] نامیده می شود.

۱-۳) نانو ساختارها

ساختارهای برجستهٔ نانوفناوری امروزه، لوله های کربنی در ابعاد نانومتر[۲] می باشد، که با در کنار هم قرار دادن اتم های کربن و با فناوری خاص خود ایجاد می شود، که کاربردهای فراوانی دارد. از جمله می تواند به جای مویرگهای یک موجود زنده قرار گیرد.

۱-**Quantum effect**

۲-**Nano tube**

چاهها[۳] ، سیمها[۴] و نقاط کوانتمی[۵] نیز سه موضوع مهم در نانو فناوری هستند، که ماده اصلی این نوع ساختارها، نیمه رسانا ها با جنسهای مختلف می باشد، که دارای خواص الکترونیکی و اپتیکی می باشند.

۱-۴) شاخه های نانو فناوری:

۱-۴-۱) نانو فناوری مرطوب: این شاخه به مطالعهٔ سیستمهای زنده ای می پردازد که اساسا در محیطهای آبی وجود دارند. در این شاخه ساختمان مواد ژنتیکی وغشاها وسایر ترکیبات سلولی در مقیاس نانومتر مورد مطالعه قرار می گیرد.

۱-۴-۲) نانوفناوری خشک: این شاخه به مطالعهٔ تشکیل ساختارهای کربنی سیلیکون ومواد غیره آلی وفلزی و نیمه رساناها می پردازد

۱-۴-۳) نانو فناوری محاسبه ای: ذرات، نیمه هادیها و نقاط کوانتومی، بر حسب ا ندازه بر پایهٔ اصول و معماری جدید بکار گیری کارخانه جات مولکولی یا خوشه ای که مزیت مونتاژ مواد در سطح نانو را دارند، در آینده موجب ساخت مواد و ابزار ها خواهند شد. امکان سنتز بلوک های ساختما نی نا نو با اندازه و ترکیب به دقت کنترل شده و سپس چیدن آنها در ساختارهای بزرگتر، راههای کاملا" جدیدی برای ساخت محصولات شیمیایی و دارویی ارائه می کنند.

۳-**Quantum Wells**

۴- **Quantum Wires**

۵- **Quantum Dots**

۱-۵) کاربردهای نانوفناوری:

الف: پزشکی: رفتار مولکولی در مقیاس نانو متر، سیستمهای زنده را اداره می کند. یعنی مقیاسی که شیمی، فیزیک، زیست شناسی و شبیه سازی کامپیوتری همگی به آن سمت در حال گرایش هستند. نگرشهای اخیر، استفاده از ابزارها وسیستمهای نانو ساختاری را پیشنهاد می دهد، که افزایش قدرت انسان برای ترسیم سرشت ژنتیکی یک فرد و روشهای شناسایی و درمان را دگرگون می کند.

ب: بیو فناوری: از مواد و ساختارهای نا نویی و خواص آنها در مسائل زیستی مانند ژنتیک، عکسبرداری با استفاده از فناوری نانو و. . . را می توان نام برد.

انرژی: می توان با استفاده از این فناوری باتریهای بسیار کوچک برای کاربردهای در ابعاد کوچک و انرژی کم تولید کرد.

ج: الکترونیک: خواص الکترونیکی نانو ساختارهای نیمه رسانا در مدارهای الکترونیکی بسیار ریز می توانند کار برد داشته باشند.

۱-۶) نانو فوتونیک:

این قسمت از بحث که هدف ما در این مقوله نیز می باشد، مربوط به خواص اپتیکی نیمه رساناها و اتصالات مربوط به آنها (چاهها، سیمها و نقاط کوانتومی) است که به مطالعه ویژه حالتها و ویژه مقادیر انرژی در شبکهٔ نیمه رسانا و چاهها و سیمها و نقاط کوانتومی می پردازد. با مشاهدهٔ آثار جذب و تابش اپتیکی می توان به حالتهای با انرژیهای متفاوت الکترون در آنها پی برد. روش دیگری که برای مطالعهٔ آثار اپتیکی ساختارهای فوق وجود دارد، روش محاسبهٔ نظری است که با حل معادلهٔ شرودینگر آغاز شده، سپس محاسبهٔ چگالی حالتها ودر نهایت جذب اپتیکی آنها را با استفاده از

چگالی حالتها مورد بحث قرار می دهد. بنا براین آنچه که در این مقوله مورد بحث قرار می گیرد مطالعهٔ ویژه مقادیر انرژی و ویژه توابع حاکم بر الکترون در شبکهٔ نیمه رسانا و چاهها و سیمها ی کوانتومی و یافتن تابع توصیف کنندهٔ جذب اپتیکی با استفاده از نتایج این مطالعه است. در شبکه نیمه رسانا الکترون در تمام جهات آزادی حرکت نسبی دارد، بنا براین مقادیر انرژی پیوسته است. در چاه کوانتومی الکترون در دو بعد آزادی حرکت دارد (حرکت در صفحه) و محدودیت دریک بعد باعث پیدایش اثر کوانتومی یعنی گسستگی انرژی می شود و این محدودیت در سیمهای کوانتومی در دو بعد است و الکترون در یک بعد مانند الکترون آزاد بررسی می شود.

در سیمهای کوانتومی الکترون در دو بعد محدود شده و هر بعد اثر کوانتومی یعنی گسستگی انرژی را باعث می شود، بنابراین تعداد حالات و مقادیرانرژی متنوع تر خواهد شد. ساده ترین حالت، سیم کوانتومی با مقطع چهارگوش می باشد که حل تحلیلی معادله شرودینگر برای چنین شکلی از سیم، بسیار ساده است. شکلهای دیگری از سیمهای کوانتومی نیز اخیرا مورد توجه قرار گرفته اند(سیمهای با مقاطع L، V و T). ما در این مقوله قصد داریم کار خود را با مقطع دایره ای آغازکرده و در دستگاه مختصات استوانه ای کار کنیم، تا کارآیی توابع بسل را با مقایسهٔ جوابهای به دست آمده با [23] محک زده، آن گاه سیم با مقطع مثلثی را با تقریب مناسب و با استفاده از دستگاه مختصات استوانه ای مورد بحث قرار می دهیم.

فصل دوم

شبکه[۶] نیمه رسانا[۷] و اپتیک خطی(جذب اپتیکی)

۲-۱) تعریف: رسانا ، نارسانا، نیمه رسانا

رسانا: موادی که تحت هر شرایطی (درهر دمایی) دارای بار الکتریکی آزاد بوده و جریان الکتریکی را ازخود عبورمی دهند، رسا نا نامیده شده واز قانون اهم پیروی می کنند[1].

نارسانا: موادی که تحت هر شرایطی تمام بارهای الکتریکی درون آن به سختی مقید بوده و آزادی حرکت نداشته باشند، قادر به انتقال بار الکتریکی از خود نبوده و نارسانا نامیده می شود[1].

نیمه رسانا: موادی که تحت شرایطی (در دماهای کمتر از حدود $2k$) نارسانا بوده و با افزایش دما به رسانای الکتریکی تبدیل می شوند، شبه رسانا یا نیمه رسانا نامیده می شوند[1].

۲-۲) بستگی رسانش رسانا به دما:

درمواد رسانا هر چه دما بالاتر می رود، رسانش الکتریکی کمتر می شود یا به عبارتی مقاومت الکتریکی افزایش می یابد، که از قاعدهٔ زیر پیروی می کند[2,3,4].

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta\theta) \qquad (۱-۲)$$

رابطهٔ فوق یک رابطهٔ خطی است و علت افزایش مقاومت ویژه با دما، افزایش برخوردها با افزایش دما می باشد.

۶-**Bulk**

۷-**Semiconductor**

۲-۳) اثر دما بر رسانش نیمه رسانا:

رابطهٔ رسانش نیمه رسانا با دمای آن برعکس رساناها بوده و با افزایش دما، رسانش آنها بیشتر می شود، که این پدیده را نمی توان با قوانین فیزیک کلاسیک توجیه کرد، بلکه با قواعد فیزیک کلاسیک متناقض است. بنابراین باید به یک قاعدهٔ دیگری متوصل شد، که نظریهٔ جدید در این مورد، نظریهٔ نواری رسانش می باشد.

۲-۴) نظریهٔ نواری رسانش:

بر اساس این نظریه که براساس اصول فیزیک کوانتومی بنا شده، الکترونهای درون ماده به اتمهای خود وابسته بوده و در حالتهای خاصی از انرژی قرار می گیرند یا به عبارتی الکترون طبق این نظریه، نمی تواند هر مقدار انرژی را داشته باشد و انرژیهای مجاز، نوارهای ویژه ای را تشکیل می دهند که کیفیت این نوارها به ساختار ماده و جنس اتمهای آن بستگی دارد. نوارهای انرژی مربوط به سه حالت رسا نا، نارسا نا و نیمه رسا نا، تفاوتهایی باهم دارند که این تفاوتها باعث بروز خواص متفاوتی برای آنها شده است.

۲-۵) تعریف نوار ظرفیت[۸] ونوار رسانش[۹]:

۲-۵-۱) نوار ظرفیت : بالاترین نواراشغال شده توسط الکترون که فقط به اتم تعلق دارد نوار ظرفیت نامیده می شود[1].

۸-**Valence Band**

۹-**Conduction Band**

۲-۵-۲) نوار رسانش: از برهم کنش اتمهای شبکه که هر کدام مانند چاه پتانسیل برای الکترون فرض می شود، یک نوار مجاز و مشترک برای اتمها ایجاد می شود که بالاتر از نوار ظرفیت بوده واگر الکترون در این نوار انرژی قرار گیرد، به علت مشترک بودن نوار، می تواند به هر نقطه از شبکه منتقل شود، یا به عبارتی در هر لحظه کنار هر اتمی قرار گیرد. بنابراین آزادی حرکت داشته ورسانش را ممکن می سازد[1,3].

۲-۶) توصیف رسانا، نارسانا و نیمه رسانا و نظریهٔ نواری رسانش:

۲-۶-۱) تعریف رسانا ، نارسانا و نیمه رسانا:

رسانا: موادی که در هر حال در نوار رسانش آنها الکترون یافت می شود دارای بار آزاد دائمی بوده و همواره رسانا هستند.

نارسانا: در این نوع مواد نوار رسانش خالی از الکترون بوده و فاصلهٔ شکاف انرژی[۱۰] یا پهنای منطقهٔ ممنوعهٔ انرژی بین نوار ظرفیت و نوار رسانش زیاد است و در حدود ($5eV$) می باشد و الکترون نمی تواند به سادگی به تراز رسانش برود و آزادی حرکت کسب کند، بنابراین ماده همچنان نارسانا باقی می ماند.

نیمه رسانا: در این نوع از ماده فاصلهٔ نوار ظرفیت و نوار رسانش کم (در حدود $1eV$) می باشد و الکترون می تواند با کسب انرژی (به اندازهٔ اختلاف انرژی نوار ظرفیت و رسانش) به نوار رسانش رفته و ماده به رسانا تبدیل شود که در دما های بالاتر از $2k$ این شرایط ایجاد می شود.

۱۰-**Energy Gap**