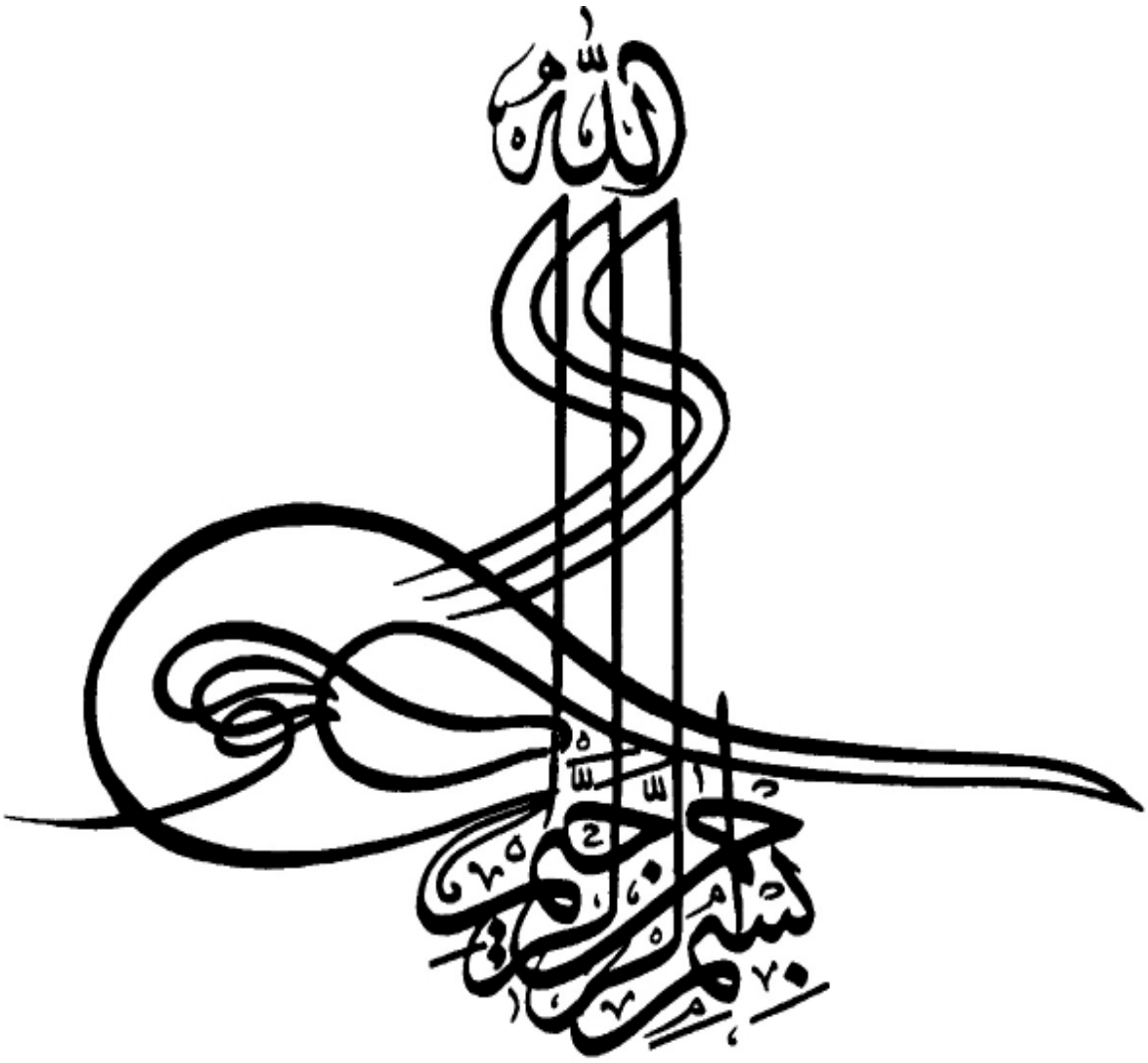

الله
بسم الله الرحمن الرحيم

همه امتیازات این پایان‌نامه به دانشگاه لرستان تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب در مجلات ، کنفرانس‌ها یا سخنرانی‌ها ، باید نام دانشگاه لرستان (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان‌نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر اینصورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

دانشگاه لرستان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

تولید هارمونیک ها در لیزرهای آبشاری

نگارش

فاطمه یاری طالب

استاد راهنما

دکتر علی بهاری

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک اتمی

شهریور ماه ۱۳۹۲

تقدیم به :

پدرم، آنکه اخلاق و چگونه زیستن را به من آموخت

مادرم، آنکه وجودش را نثار زیستن فرزندان نمود

تقدیر و تشکر

سپاس خداوندی را سزاست که از شباهت داشتن به پدیده ها، برتر و از توصیف وصف کنندگان، والاتر است. با تدبیرِ شگفتی آورش ، بر همهٔ بینندگان آشکار، و با بزرگی عزتش، بر همهٔ فکرهای اندیشمندان پنهان است.
داناست، نه آن که آگاهی او از جایی گرفته شده یا در حال فزونی باشد و یا از کسی فراگیرد، اداره کنندهٔ سراسر نظام آفرینش است، بی آن که نیازی به فکر کردن یا اندیشهٔ درونی داشته باشد.خدایی که تاریکی ها او را پنهان نسازد،و از نورها روشنی نگیرد. شب او را نپوشاند و روز بر او نمی گذرد، نه بینایی او از راه دیدگان، و نه علم او از راه اطلاعات و اخبار است.
ابتدا بر خود لازم می دانم نهایت تشکر و قدردانی خود را از استاد فرزانه و بزرگوارم جناب آقای دکتر بهاری که دانش فیزیک خود را مدیون ایشان هستم ابراز دارم ، بزرگواری که در تدریس وسخت کوشی الگوی کاملی است. استاد ارزشمندی که ثانیه های گرانبهایش را با من قسمت کرد و در پیمودن این مسیر با صبر و بردباری جهالتم را نادیده انگاشت.
از جناب دکتر دادستانی و سپهوند که زحمت داوری این پروژه را بر عهده داشتند از صمیم قلب سپاسگزارم.

در نهایت از همراهان عزیزی که در به ثمر رسیدن این پروژه مرا یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

فاطمه یاری طالب
شهریور ماه ۱۳۹۲

فهرست صفحه

فصل اول: نقاط کوانتومی و لیزرهای نیم رسانا

مقدمه ۱

۱-۱ ساختار رساناها ونیم رساناها ۲

۱-۱-۱ ساختار نواری جامدات رسانا ۳

۱-۱-۲ ساختار نواری جامدات نارسانا ٤

۱-۱-۳ ساختار نواری جامدات نیم رسانا ٥

۱-۲ روشهای سنتز نقاط کوانتومی ٦

۱-۲-۱ روش بالا به پایین ٦

۱-۲-۲ روش پایین به بالا ۷

۱-۳ساختارهای نامتجانس ۹

۱-۴ساختار چاه کوانتومی ۱۱

۱-۵ محاسبه چگالی حامل ها در چاه کوانتومی ۱۲

۱-۶ نیمه رسانای با گاف مستقیم وغیر مستقیم ۱٤

۱-۷ جرم مؤثر ۱٥

۱-۸بستگی گاف نوار به فشار و دما ۱٦

۱-۹چاههای کوانتومی نوع اول و نوع دوم ۱۷

۱-۱۰ لیزر ۲۰

۱-۱۰-۱ تاریخچه لیزر..... ۲۰
۱-۱۰-۲ ساختار لیزر..... ۲۱
۱-۱۰-۳ گسیل القایی..... ۲۱
۱-۱۰-۴ تجمع معکوس..... ۲۳
۱-۱۰-۵ همدوس فضایی..... ۲٤
۱-۱۰-۶ همدوس زمانی..... ۲٤
۱-۱۰-۷جهتمندی..... ۲٤
۱۱- ۱ دیود لیزری نیم رسانا..... ۲۵
۱۲- ۱ تجمع معکوس در لیزر نیم رسانا..... ۲۷
۱۳- ۱ لیزرهای ساختار های نامتجانس..... ۲۸
۱۴- ۱ لیزر چاه کوانتومی..... ۳۱

فصل دوم: لیزرهای آبشاری کوانتومی

مقدمه..... ۳۵
۱ -۲ پرتوهای تراهرتز..... ۳۶
۲ -۲ مقدمه ای بر چاه کوانتومی و ساختارهای نامتجانس..... ۳۸
۳ -۲ لیزرهای آبشاری کوانتومی..... ۴۳
۴ -۲ مروری بر تاریخچه لیزرهای آبشاری کوانتومی..... ۴۴
۵ -۲ اصول عملکردی اولین لیزر آبشاری کوانتومی..... ۴۹

۶ -۲ لیزر درون زیر باندی بر حسب لیزر درون باندی..... ۵۱

۷ -۲ ساختارهای متفاوت طراحی های ناحیه ی فعال..... ۵٤

۸ -۲ جنبه های مادی وتکنیک های رشد..... ۵۶

۹ -۲ عملکرد موج پیوسته در بالاتر از دمای اتاق..... ۶۱

۱۰ -۲ منابع لیزر آبشاری کوانتومی با بهره ی پهن..... ۶۲

۱۱ -۲ بهره نوری ۶۳

۱۲ -۲ انتقال تابشی و غیر تابشی در نیم رسانا ها..... ۶۵

۱-۱۲ -۲ انتقال تابشی..... ۶۵

۲-۱۲ -۲ انتقال غیر تابشی..... ۶۷

فصل سوم: اپتیک غیر خطی در لیزرهای آبشاری کوانتومی

مقدمه ۷۰

۱-۳ قطبش غیرخطی و معادله موج..... ۷۰

۱-۱-۳ قطبش مرتبه دوم..... ۷۳

۲-۱-۳ قطبش مرتبه سوم(حالت میدان تکفام)..... ۷۴

۲- ۳ ضریب شکست غیر خطی..... ۷۵

۳- ۳ بهره غیر خطی..... ۷۶

۴-۳ اثرالکترواپتیکی کر..... ۷۶

۴- ۳ محاسبه ی پذیرفتاری الکتریکی مرتبه اول،دوم و سوم درلیزر آبشاری..... ۷۷

فصل چهارم: محاسبه پذیرفتاری الکتریکی مرتبه سوم ناحیه فعال لیزر آبشاری

۴-۱ مدل سازی تئوری.....۸۲

۴-۲ اثر اعمال بایاس بر اندازه پذیرفتاری الکتریکی مرتبه سوم.....۸۵

۴-۳ اثراعمال بایاس بر $\chi^{(3)}(\omega;\omega,\omega,-\omega)$و بهره محیط فعال لیزر آبشاری..... ۹۱

۴-۴ بحث و نتیجه گیری..... ۹۳

مراجع..... ۹۴

نام خانوادگی: یاری طالب	نام:فاطمه	
عنوان پایان‌نامه: تولید هارمونیک هادرلیزرهای آبشاری		
استاد راهنما: دکتر علی بهاری		
درجه تحصیلی: دانشیار	رشته: فیزیک	گرایش:
استاد مشاور:		
درجه تحصیلی:	رشته:	گرایش:
محل تحصیل(دانشگاه): لرستان	دانشکده: علوم پایه	گروه آموزشی: فیزیک
تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۹۲/۶/۳۱	تعداد صفحه: ۱۰۵	

کلید واژه‌ها:

فارسی: اثرات غیرخطی- پذیرفتاری اپتیکی- لیزرهای آبشاری

انگلیسی: Optical susceptibility -Nonlinear effects- cascade lasers

چکیده

در لیزر های کوانتومی آبشاری پرتوهای لیزری در اثر انتقالات درون باندی باند رسانش ایجاد می شوند و اساس ساختار لیزرهای آبشاری کوانتومی چاه کوانتومی نامتجانس است.

هدف اولیه از این پایان نامه محاسبه پذیرفتاری مرتبه سوم در ناحیه فعال لیزر آبشاری $GaInAs - AlInAs$ بود. این اثر بر اساس تقریب جرم مؤثر و از طریق حل معادله شرودینگر یک بعدی مورد مطالعه قرار داده شد.در این پایان نامه اثرات مختلف هماهنگ مرتبه سوم،تفاضل بسامد و بهره در بایاس های مختلف و ساختارها ی مورد مطالعه

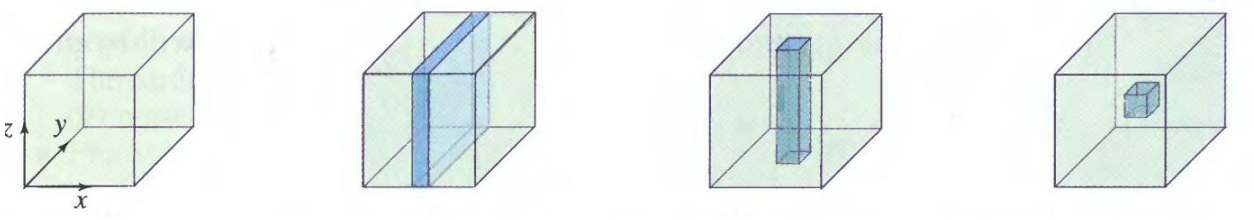
بررسی شد.این اثرات به شدت به پارامترهایی نظیر ترکیبات ساختار، بایاس و انرژی فوتون پمپ شده وابسته است. با اعمال بایاس و افزایش آن می توان این ساختارها رابرای داشتن پذیرفتاری وبهره با قله ای در ناحیه تراهرتز طراحی کرد. شدت پذیرفتاری مرتبه سوم و بهره غیر خطی به بایاس و ترکیبات ساختار بستگی دارد.بایاس کوچکتر قله پذیرفتاری و بهره غیر خطی کوچکتری دارند.کاهش مقدار گالیم در ترکیبات چاه کوانتومی باعث کوچکتر شدن قله پذیرفتاری و بهره غیر خطی می شود.

فصل اول

نقاط کوانتومی و لیزرهای نیم رسانا

مقدمه

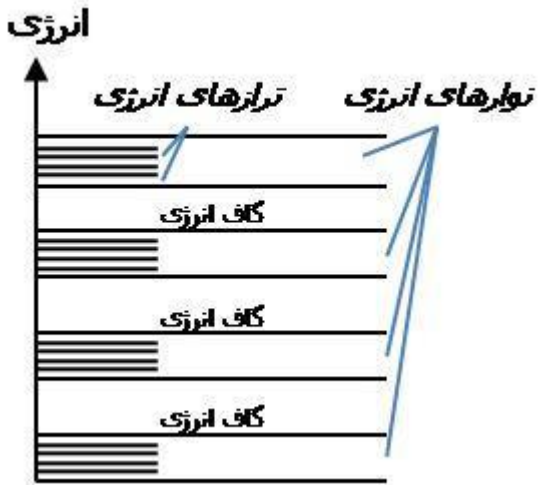
هنگامی که ابعاد یک ماده به صورت پیوسته از مقیاس بزرگ به مقیاس کوچک کاهش یابد، خواص ماده در ابتدا ثابت می ماند،اما به تدریج با نزدیک شدن به ابعاد محدوده ی فناوری نانو(محدوده ی بین ۱ تا ۱۰۰ نانو متر) خواص ماده تغییرات چشم‌گیری می‌یابد.همان طور که می دانیم همهٔ مواد پیرامون ما دارای سه بعدهستند. اگر یک بعد ماده تا مقیاس نانو کوچک شود اما دو بعد دیگر در مقیاس بزرگ باشد، ساختاری پدید می‌آید که آن را چاه کوانتومی می‌گوییم.هر گاه دو بعد ماده تا مقیاس نانو کوچک شود اما یک بعد دیگر در مقیاس بزرگ باشد،ساختار حاصل را سیم کوانتومی می گوییم.ودر نهایت ،هرگاه هر سه بعد ماده درمقیاس نانو متری قرارگیرد،ساختار حاصل را نقطه کوانتومی می گوییم.البته باید توجه کنیم که فقط ورود یک یا دو یا سه بعد از ابعاد یک ماده به محدوده‌ی نانومتری، موجب نمی‌شود که ما آن ساختار را کوانتومی بنامیم، بلکه این ابعاد باید آن قدر کوچک شوند که خواص ماده از قوانین فیزیک کلاسیک قابل توجیه نباشند و فقط فیزیک کوانتوم بتواند رفتار ماد را توجیه کند.



شکل(۱- ۱): نانوساختارهای، چاه کوانتومی سیم کوانتومی ونقطه کوانتومی[۱]

۱-۱ ساختار رساناها ونیم رساناها

ترازهای انرژی الکترون‌ها در جسم جامد، مانند ترازهای انرژی الکترون‌ها در یک اتم، مقدارهایی گسسته‌اند. هر تراز انرژی تنها توسط یک الکترون می‌تواند پر شود. و مهم‌تر از همه اینکه ترازهای انرژی الکترون‌ها در جسم جامد، نوارهای مشخصی را تشکیل می‌دهند. هر نوار انرژی شامل تعداد بسیار زیادی ترازهای گسسته است که از نظر مقدار انرژی بسیار به هم نزدیک‌اند. تفاوت انرژی برخی نوارها بسیار زیاد است، یعنی بین آخرین تراز انرژی نوار پایین با اولین تراز انرژی نوار بالا، اختلاف زیادی وجود دارد. در این فاصله هیچ تراز انرژی وجود ندارد، یعنی الکترون‌ها در این فاصله نمی‌توانند قرار بگیرند. این ناحیه را ناحیه‌ی ممنوع یا گاف انرژی می‌گوییم.



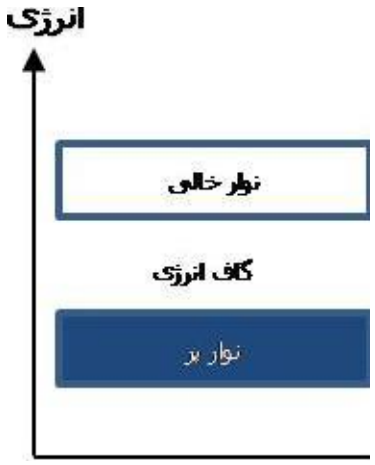
شکل(۲- ۱): نحوه قرارگیری ترازها، نوارها و گاف انرژی

در جسم جامد الکترون‌ها به ترتیب از پایین‌ترین تراز انرژی در پایین‌ترین نوار توزیع می‌شوند. از آنجاییکه در هر تراز انرژی فقط یک الکترون می‌تواند قرار بگیرد، ترازهای انرژی به ترتیب توسط الکترون‌ها پر می‌شوند

تا یک نوار انرژی کاملاً پر شود. الکترون‌های بعدی در ترازهای انرژی نوار بالاتر قرار می‌گیرند و این ماجرا ادامه می‌یابد تا همه‌ی الکترون‌ها در ترازهای انرژی جا بگیرند. بدین ترتیب آخرین نوار انرژی یا کاملاً از الکترون پر است و یا نیمه‌پر است. واضح است نوارهای انرژی پایین‌تر همگی پر هستند و نوارهای انرژی بالاتر خالی هستند. در جسم جامد الکترون‌ها با جذب انرژی می‌توانند از تراز انرژی پایین‌تر به تراز انرژی بالاتر در همان نوار منتقل شوند. اما برای تغییر تراز انرژی از یک نوار به نوار بالاتر، انرژی بسیار زیادی لازم است که درشرایط معمولی، اتفاق نمی‌افتد. بنابراین گذار الکترون از یک تراز انرژی به تراز انرژی دیگر، تنها در صورتی انجام می‌شود که نوار نیمه‌پر باشد؛ چون الکترون‌ها فقط می‌توانند به ترازهای انرژی بالاتر در همان نوار گذار کنند و گذار از یک نوار به نوار بالاتر امکان‌پذیر نیست ،از آنجاییکه الکترون‌های موجود در نوارهای پر، امکان گذار از یک تراز انرژی به تراز انرژی بالاتر را ندارند، بنابراین سهمی در رسانایی الکتریکی ندارند. به بیان دیگر تنها الکترون‌هایی که در نوارهای نیمه‌پر قرار دارند و امکان گذار از یک تراز انرژی به تراز انرژی بالاتری در همان نوار را دارند، در رسانایی الکتریکی جسم جامد نقش دارند.

۱-۱-۱ ساختار نواری جامدات رسانا

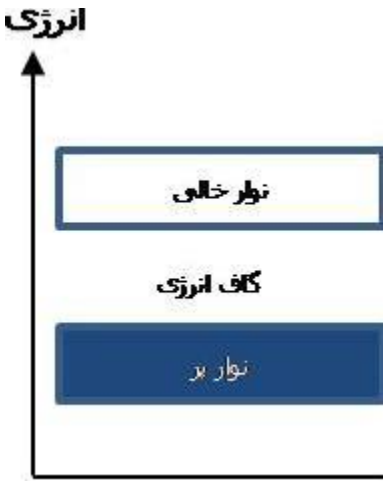
اگر در ساختار نواری جسم جامد، نوار نیمه‌پر وجود داشته باشد، آن جسم رسانا است. زیرا الکترون‌های نوار نیمه‌پر به آسانی و تحت تأثیر اختلاف پتانسیل الکتریکی که دو سر رسانا اِعمال می‌شود، می‌توانند تراز انرژی خود را تغییر دهند و در رسانایی الکتریکی شرکت کنند. این الکترون‌ها را الکترون‌های رسانش و نوار نیمه‌پر را نوار رسانش می‌گوییم. مشخصه‌ی اصلی رساناها، وجود نوار نیمه‌پر در ساختار نواری آن‌ها است.



شکل(۳- ۱): نحوه قرارگیری ترازها، نوارها و گاف انرژی در یک جسم رسانا

۲-۱-۱ ساختار نواری جامدات نارسانا

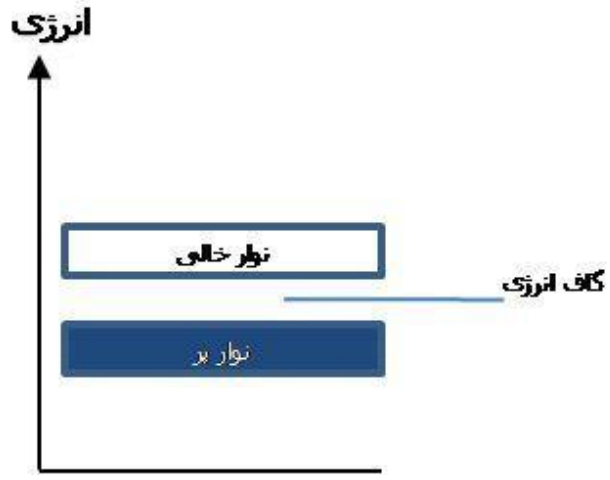
در ساختار نواری جامدات نارسانا، نوار نیمه‌پر وجود ندارد. گاف انرژی در جامدات نارسانا بسیار بزرگ است و بنابراین هیچ الکترونی نمی‌تواند از نوار پر به نوار خالی گذار کرده و موجب رسانایی الکتریکی شود ، این مواد رسانایی الکتریکی نمی‌باشند.



شکل(۴- ۱): نحوه قرارگیری ترازها، نوارها و گاف انرژی در یک جسم نارسانا

۳-۱-۱ ساختار نواری جامدات نیم رسانا

در ساختار نواری جامدات نیم‌رسانا، همانند نارساناها، نوار نیمه‌پر وجود ندارد. اما گاف انرژی در نیم رساناها بسیار کمتر از نارساناها است. در نیم رساناها، بالاترین نوار پر را نوار ظرفیت و پایین‌ترین نوار خالی را نوار رسانش می‌گوییم. کوچک بودن گاف انرژی در جامدات نیم رسانا موجب می‌شود که تعدادی از الکترون‌های نوار ظرفیت حتی در دمای اتاق برانگیخته شده، به نوار رسانش بروند و در رسانایی الکتریکی شرکت کنند. با افزایش دما، الکترون‌های بیشتری امکان گذار از نوار ظرفیت به نوار رسانش را می‌یابند و بنابراین رسانایی الکتریکی بیشتر می‌شود.



شکل(۵- ۱): نحوه قرارگیری ترازها، نوارها و گاف انرژی در یک جسم نیمه‌رسانا

ساده ترین عناصر نیم رسانا ازگروه چهارم جدول تناوبی هستند ، یعنی چهار الکترون در آخرین باند خود دارند. سیلیکون و ژرمانیوم دو عنصر مهم نیم رساناهستند.علاوه بر عناصر نیم رساناها ترکیبات گوناگون نیم رساناها هم وجود دارد ، GaAs یک نمونه نیم رساناست که از ترکیب عناصر Ga و As بدست آمده، حال

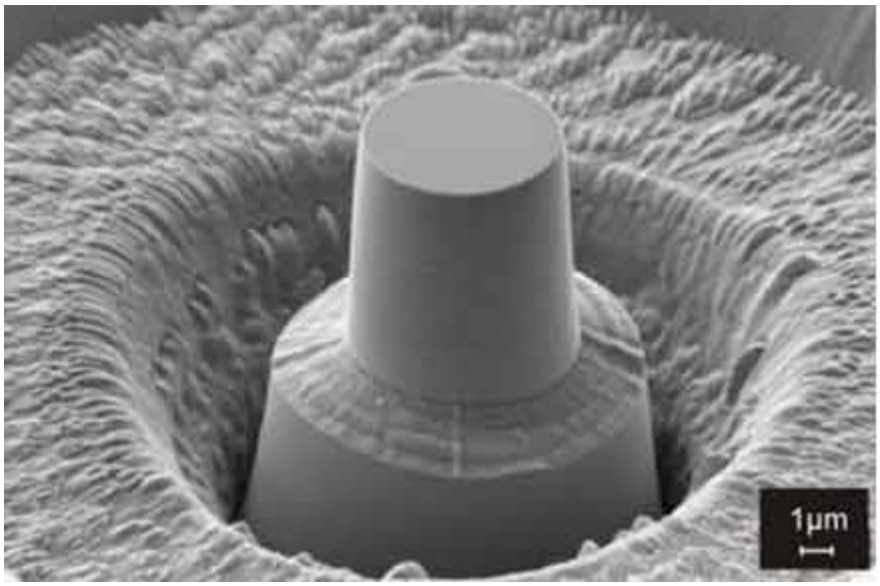
اگر یکی از عناصر گروه سوم اصلی را به آن اضافه کنیم (مثلاً آلومینیوم) نیم رسانا نوع Pواگر عنصر گروه پنجم (مثلاً آرسنیک) را به آن اضافه کنیم نیم رسانا نوع Nرا خواهیم داشت.

۱-۲ روشهای سنتز نقاط کوانتومی

خواص الکترونیکی ونوری نانو بلورهای فلزی و نیم رساناها وابستگی زیادی به اندازه ی آنها دارد،بنابراین باید از روشهای خاصی برای سنتز نقاط کوانتومی نیم رساناها استفاده نمود.به طور کلی عناصر پایه با دو رویکرد"بالا به پایین"و"پایین به بالا"تولید می شود.

۱-۲-۱ روش بالا به پایین

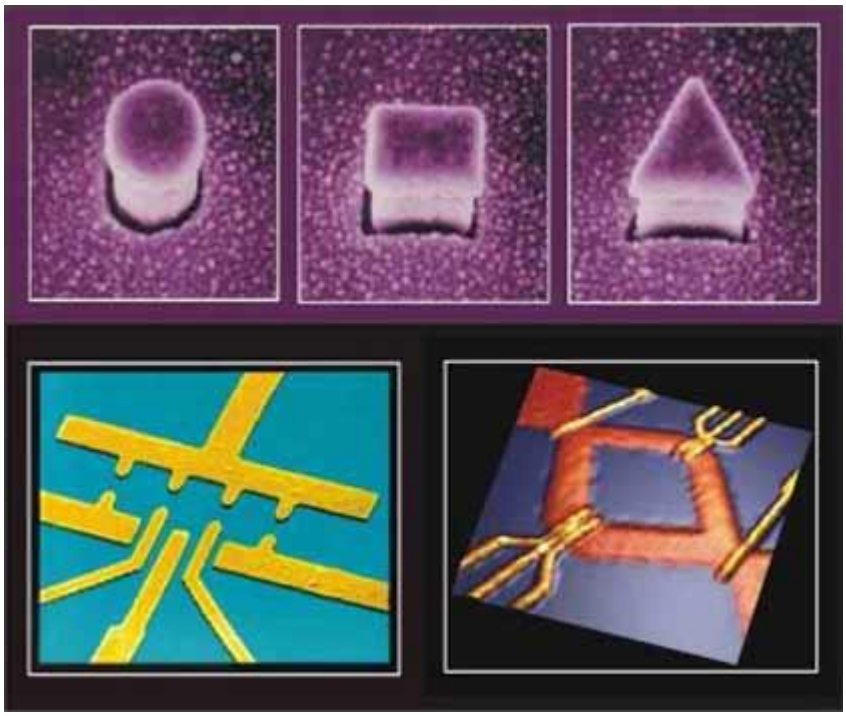
درررویکرد بالا به پایین برای تولید محصول، یک ماده توده‌ای را شکل‌دهی و اصلاح می‌کنند. در حقیقت در این روش، یک ماده بزرگ را برداشته و با کاهش ابعاد و شکل‌دهی آن، به یک محصول با ابعاد نانو می‌رسند. به عبارت دیگر، اگر اندازه یک ماده توده‌ای را به طور متناوب کاهش داده تا به یک ماده به ابعاد نانومتری برسند، از رویکرد بالا به پایین استفاده شده است. این کار اغلب و نه همیشه شامل حذف بعضی از مواد به شکل ضایعات است، مثل ماشین‌کاری یک بخش فلزی از یک موتور یا نانوساختاری کردن فلزات به طریق تغییر شکل دهی (که شامل ضایعات نیست).



شکل(۶- ۱): نمایش بالا به پایین برای تولید نقطه ی کوانتومی

۱-۲-۲ روش پایین به بالا

در رویکرد پایین به بالا درست عکس رویکرد بالا به پایین می‌باشد. دراین رویکرد، محصول از طریق کنار هم قرار دادن مواد ساده‌تر به وجود می‌آید، مانند ساخت یک موتور از قطعات آن. در حقیقت، کاری که در این‌جا انجام می‌شود، کنار هم قرار دادن اتم‌ها و مولکول‌ها (که ابعادی کوچک‌تر از مقیاس نانو دارند) برای تولید یک محصول نانومتری است. می‌توان این‌گونه تصور کرد، که قادریم اتم‌ها و مولکول‌ها را به طور واقعی ببینیم و آن‌ها را به طور دل‌خواه کنار یکدیگر قرار دهیم تا شکل مورد نظر حاصل شود. معمولاً روش-های پایین به بالا ضایعاتی ندارند، هر چند الزاماً این مسأله صادق نیست.



شکل(۷- ۱): نمایش پایین به بالا برای تولید نقطه ی کوانتومی

روش‌های پایین به بالا امکان تولید انبوه و ارزان نقاط کوانتومی را ایجاد کرده‌اند. مزیت استفاده از روش‌های بالا به پایین، در امکان کنترل بیشتر محل نقاط کوانتومی و جاسازی آنها درون مدارهای الکترونیکی یا ابزارهای آزمایش است .یکی از روش‌های پایین به بالا، سنتز کولوئیدی است. در این روش، نمک‌های فلزی به صورت محلول تحت شرایط کنترل‌شده، به حالت بلوری درمی‌آیند. مهمترین مرحله در این روش، جلوگیری از بزرگ شدن بیش از حد مطلوب این بلورهای نانومتری است که با تغییر دما یا افزودن مواد خاتمه دهندهٔ واکنش یا تثبیت‌کننده‌ها صورت می‌گیرد. در این حالت، برای جلوگیری از به‌هم‌پیوستن ذرات کوانتومی، آنها را با یک لایه از سورفَکتنت‌ها می‌پوشانند. هر چه مراحل سنتز دقیق‌تر کنترل شوند ذرات یکنواخت‌تری به وجود می‌آیند.(سورفکتنت ها موادالی هستند که یکسر قطبی و یک سر غیر قطبی سر قطبی در آب حل می شود و سر غیر قطبی در آب حل نمی شود و به همین علت این موادهمیشه به سطح آب می آیند و چون سطح آب محدود است ، این مولکول ها یک لایه نازک به هم فشرده و منظم را تشکیل می دهند به این خاصیت خود ساماندهی می گویند انواع مواد شوینده از این نوع اند)نوع خاصی از نشاندن لایه های نازک با استفاده از واکنش های الکترو شیمیایی نیز از روش های دیگرپایین به بالا برای تولید نقاط