



دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی فناوریهای نوین

گروه مهندسی نانوالکترونیک

پایان نامه

برای دریافت درجه‌ی کارشناسی‌ارشد در رشته مهندسی نانوالکترونیک

عنوان

طراحی آشکار ساز نور UV با استفاده از تزریق نانوذرات سیلیکون در لایه اکسید SiO_2 ، با استفاده از ساختار فلز-اکسید-نیمه هادی

اساتید راهنما

دکتر علی رستمی

دکتر کریم عباسیان

اساتید مشاور

دکتر غلامرضا کیانی

دکتر حسن رسولی

پژوهشگر

محمد مهدی عباسی

تیر ماه ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نام خانوادگی دانشجو: عباسی	نام: محمد مهدی
عنوان پایان نامه: طراحی آشکارساز نور UV با استفاده از تزریق نانو ذرات سیلیکون در لایه اکسید ساختار فلز- اکسید- نیمه هادی	
اساتید راهنما: دکتر علی رستمی - دکتر کریم عباسیان اساتید مشاور: دکتر غلامرضا کیانی - دکتر حسن رسولی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی نانو فناوری گرایش: نانو الکترونیک دانشگاه: دانشگاه تبریز دانشکده: مهندسی فناوریهای نوین تاریخ فارغ التحصیلی: تیر ماه ۱۳۹۱ تعداد صفحه: ۱۲۸	
<p>کلید واژه ها:</p> <p>چاه کوانتومی</p> <p>نقاط کوانتومی</p> <p>جریان تونلی</p> <p>نانو ذرات سیلیکون</p> <p>فلز-اکسید-نیمه هادی</p> <p>تابناکی</p> <p>ضریب اشکارسازی</p>	
<p>چکیده:</p> <p>در این پایان نامه، برای اولین بار، ساختار یک آشکارساز نور فرابنفش با استفاده از تزریق نانو ذرات سیلیکون، در لایه اکسید از ساختار فلز- اکسید - نیمه هادی، شبیه سازی شده است. ناحیه ی فعال این آشکارساز یک ساختار تونلی رزونانسی بر مبنای نقاط کوانتومی کروی سیلیکون می باشد. ساختار چند لایه ی رزونانس تونلی، به صورت آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون در لایه اکسید SiO_2 در ساختار فلز - اکسید - نیمه هادی می باشد.</p> <p>در این پایان نامه تونل زنی حامل ها از درون آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون در لایه ی اکسید SiO_2 به صورت کامل بررسی شده و ضریب جذب بین بانندی در نقاط کوانتومی سیلیکون، به صورت تابعی از انرژی فوتون تابشی، شبیه سازی شده است. برای اولین بار در این آشکارساز از ساختار فلز- اکسید- نیمه هادی برای آشکارسازی نور فرابنفش استفاده شده است. از روش ماتریس انتقال دو بعدی برای بدست آوردن رسانایی و جریان تونل زنی در این ساختار استفاده شده است. اثر</p>	

ناراستی مرکزی و اندازه آن، روی منحنی رسانایی در بایاس صفر به صورت کامل بررسی شده است.

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه.....
فهرست مطالب.....	۵.....
فهرست جداول.....	۱۰.....
مقدمه.....	۱۲.....
۱ بررسی منابع و پیشینه تحقیق.....	۱۴.....
۱-۱ پرتو فرابنفش.....	۱۵.....
۲-۱ تاریخچه ای بر آشکارسازهای UV.....	۱۵.....
۳-۱ منابع فرابنفش.....	۱۶.....
۴-۱ کاربردهای امواج فرابنفش.....	۱۶.....
۵-۱ انواع آشکارسازهای نوری.....	۱۷.....
۱-۵-۱ آشکارساز خلا.....	۱۷.....
۲-۵-۱ آشکارساز چند برابرکننده نوری.....	۱۹.....
۳-۵-۱ نور رسانا.....	۲۰.....
۴-۵-۱ آشکارساز با استفاده از پیوند p-n.....	۲۲.....
۵-۵-۱ آشکارساز با استفاده از پیوند p-i-n.....	۲۳.....
۶-۵-۱ آشکارساز نوری بهمنی.....	۲۵.....
۷-۵-۱ آشکارساز چاه کوانتومی.....	۲۵.....
۸-۵-۱ آشکارسازی با استفاده از نانوسیمها.....	۲۶.....
۶-۱ نیم رساناها.....	۲۷.....

- ۱-۶-۱ پیوند نیمه‌رسانا- نیمه‌رسانا ۲۷
- ۱-۶-۱-۱ پیوند هم جنس ۲۷
- ۱-۶-۲ پیوند نا همجنس ۲۸
- ۱-۶-۲ پیوند فلز-نیمه‌رسانا ۲۹
- ۱-۶-۲-۱ حالت شاتکی ۲۹
- ۱-۶-۲-۲ حالت اهمی ۳۰
- ۱-۷ آشکارسازهای سیلیکونی ۳۰
- ۱-۷-۱ آشکارساز سیلیکونی مبتنی بر تبدیل نوری-فرکانسی ۳۱
- ۱-۷-۲ آشکارساز سیلیکونی مبتنی بر عملکرد ترانزیستور- نوری ۳۳
- ۱-۸ تونلینگ کوانتومی و اثر کلومب بلاکت روی نانو ذرات سیلیکون در لایه SRO ۳۷
- ۲ مبانی و روش‌ها ۴۴
- ۲-۱ مقدمه ۴۵
- ۲-۲ روش عددی تفاضل محدود ۴۶
- ۲-۳ چاه کوانتومی ۴۷
- ۲-۳-۱ تعریف چاه کوانتومی ۴۷
- ۲-۳-۲ اعمال میدان الکتریکی به ساختار چاه کوانتومی ۴۸
- ۲-۳-۳ اثر اشتارک ۵۰
- ۲-۳-۴ ساختار متشکل از دو چاه کوانتومی ۵۱
- ۲-۳-۵ معادله‌ی پواسون ۵۲
- ۲-۴ حل معادله شرودینگر دو بعدی (سیم کوانتومی) ۵۵
- ۲-۵ نقطه کوانتومی ۵۸
- ۲-۶ روشهای محاسبه‌ی ساختار الکترونیکی ۵۹

- ۶۱ ۱-۶-۲ روش تابع چگالی (DFT)
- ۶۱ ۲-۶-۲ روش رایلی - ریتز
- ۶۲ ۳-۶-۲ روش تقریب جرم موثر
- ۶۲ ۷-۲ لایه وتینگ
- ۶۳ ۸-۲ حالت های محدود شده در دیوارها، سیم ها و نقاط کوانتومی
- ۶۴ ۹-۲ حل معادله شرودینگر سه بعدی (نقطه کوانتومی)
- ۶۴ ۱-۹-۲ نقطه کوانتومی مکعبی (جعبه کوانتومی)
- ۶۶ ۲-۹-۲ نقطه کوانتومی کروی
- ۶۷ ۱۰-۲ چگالی حالتها در نقطه کوانتومی کوپل شده با الکترودها
- ۶۹ ۱۱-۲ آشکارسازی با استفاده از چاه کوانتومی
- ۷۰ ۱۲-۲ اثر پیزوالکتریک
- ۷۲ ۱-۱۲-۲ میدانهای پیزوالکتریک القا شده در چاههای کوانتومی
- ۷۳ ۱۳-۲ باندهای انرژی در ساختار کریستالی
- ۷۴ ۱-۱۳-۲ مدل کرونیگ-پنی
- ۷۷ ۱۴-۲ اندرکنش نور و ماده
- ۸۰ ۱-۱۴-۲ نرخ گذار در نتیجهی اندرکنش الکترون - فوتون
- ۸۱ ۲-۱۴-۲ ضریب جذب نوری
- ۸۳ ۳-۱۴-۲ ضریب جذب بین بانندی
- ۸۵ ۴-۱۴-۲ محاسبه ی ضریب جذب بین بانندی در ساختار چاه کوانتومی
- ۸۶ ۵-۱۴-۲ محاسبه ی ضریب جذب بین بانندی در نقطه کوانتومی
- ۸۷ ۱۵-۲ پارامترهای آشکارساز
- ۸۸ ۱-۱۵-۲ ضریب جذب نوری

۲-۱۵-۲ حل معادله شرودینگر سه بعدی برای نقطه کوانتومی کروی	۸۹
۲-۱۵-۳ نرخ استراحت	۸۹
۲-۱۵-۴ ضریب جذب نوری بین بانندی در نقطه کوانتومی	۸۹
۲-۱۵-۵ عنصر ماتریس دو قطبی	۸۹
۲-۱۵-۶ بازده کوانتومی در نقاط کوانتومی	۸۹
۲-۱۵-۷ ضریب انتقال و رسانایی در آرایه ای از نقاط کوانتومی	۹۰
۲-۱۵-۸ بهره ی نوری	۹۰
۲-۱۵-۹ پاسخ دهی	۹۰
۲-۱۵-۱۰ جریان تاریکی	۹۱
۲-۱۵-۱۰-۱ اشکارسازهای چاه کوانتومی	۹۱
۲-۱۵-۱۰-۲ جریان تاریکی در اشکارسازهای نقطه کوانتومی	۹۲
۲-۱۵-۱۱ جریان نویز	۹۳
۲-۱۵-۱۲ آشکار کنندگی	۹۳
۳ نتایج شبیه سازی و بحث	۹۴
۳-۱ مقدمه	۹۵
۳-۲ پارامترهای ساختاری و ماده ای به کار رفته در شبیه سازی	۹۵
۳-۳ توابع موج و مقادیر ویژه برای آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون در ماتریس اکسید	۹۶
۳-۳-۱ ساختار بانندی نقطه کوانتومی کروی سیلیکون در ماتریس اکسید	۹۶
۳-۳-۲ بررسی توابع موج و ترازهای انرژی در آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون در ماتریس اکسید	۹۹
در ساختار n^+ -Si/Silicon quantum dots array in silicon oxide layer/P-Si/Al	۹۹
۴-۳ رسانایی و جریان تونلینگ در آرایه ای از نقاط کوانتومی سیلیکون با ناراستی مرکزی در ماتریس اکسید	۱۰۵
SiO ₂	۱۰۵

- ۳-۴-۱ نتایج شبیه سازی رسانایی، در آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون با شعاع ۲ نانومتر در ماتریس اکسید SiO_2 ۱۰۸
- ۳-۴-۲ اثر افزایش اندازه ناراستی روی طیف رسانایی در آرایه ایی از نقاط کوانتومی سیلیکون در ماتریس اکسید SiO_2 ۱۱۷
- ۳-۴-۳ جریان تونلینگ در آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون در ماتریس اکسید SiO_2 ... ۱۱۸
- ۳-۴-۵ ضریب جذب بین باندی، در آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون در ماتریس اکسید SiO_2 ۱۲۰
- ۳-۴-۶ نتیجه گیری ۱۲۱
- ۳-۴-۷ پیشنهادات ۱۲۲

فهرست اشکال

- عنوان صفحه
- شکل ۱-۱ طیف امواج الکترومغناطیس ۱۵
- شکل ۱-۲ آشکارساز بر پایه فوتوالکتریک ۱۸
- شکل ۱-۳ از چپ به راست : مقادیر جریان بر حسب انرژی فوتون، شدت نور تابیده و ولتاژ اعمالی ۱۹
- شکل ۱-۴ ساختار آشکارساز ضرب کننده ی نوری ۲۰
- شکل ۱-۵ ساختار آشکارساز نور رسانا ۲۱
- شکل ۱-۶ آشکار ساز نور رسانا که به صورت شانه ای شکل می باشد ۲۲
- شکل ۱-۷ ساختار آشکارساز p-n ۲۳
- شکل ۱-۸ ساختار آشکار ساز p-i-n ۲۴
- شکل ۱-۹ ساختار آشکارساز نوری بهمنی ۲۵
- شکل ۱-۱۰ ساختار آشکارساز فرابنفش با استفاده از چاه کوانتومی ۲۶
- شکل ۱-۱۱ ساختار نانو سیم ها و نحوه ی رشد آن ها ۲۶
- شکل ۱-۱۲ ساختار باندی دو نیمه رسانا قبل از اتصال ۲۸
- شکل ۱-۱۳ ساختار باندی فلز (سمت چپ) و ساختار باندی نیمه رسانا (سمت راست) ۲۹
- شکل ۱-۱۴ ساختار باندی فلز - نیمه رسانا قبل از اتصال ۳۰

- شکل ۱-۱۵ پیوند فلز - نیمه رسانا در حالت اهمی..... ۳۰
- شکل ۱-۱۶ جریان تاریکی و رسانایی تفاضلی متناظر با آن به ازای تابعی از ولتاژ اعمالی در شرایط بایاس معکوس..... ۳۲
- شکل ۱-۱۷ جریان نوری و جریان تاریکی به ازای تابعی از ولتاژ بایاس معکوس..... ۳۲
- شکل ۱-۱۸ منحنی مربوط به حساسیت پذیری آشکارساز در بایاس ۴ ولت ۳۳
- شکل ۱-۱۹ نحوه ی افزایش حساسیت پذیری به نور فرابنفش..... ۳۳
- شکل ۱-۲۰ منحنی تابندگی نوری..... ۳۴
- شکل ۱-۲۱ منحنی جریان - ولتاژ قطعه در شرایط تاریکی..... ۳۵
- شکل ۱-۲۲ واکنش پذیری نوری قطعه به ازای طیف گسترده ای از طول موج ها در بایاس ۵ ولت..... ۳۶
- شکل ۱-۲۳ ساختار باندی آشکار ساز سیلیکونی..... ۳۶
- شکل ۱-۲۴ منحنی جریان بر حسب ولتاژ در شرایط بایاس معکوس و مستقیم..... ۳۸
- شکل ۱-۲۵ منحنی های جریان بر حسب ولتاژ برای زمان های تاخیر متفاوت (A) و جهت های جاروب متفاوت (B)..... ۳۹
- شکل ۱-۲۶ منحنی های خازن و رسانایی بر حسب ولتاژ..... ۴۰
- شکل ۱-۲۷ چگالی بالای نانو ذرات سیلیکون در لایه SRO..... ۴۰
- شکل ۱-۲۸ شکل گیری مسیر های رسانایی..... ۴۱
- شکل ۱-۲۹ پرش جریان در ناحیه AB..... ۴۲
- شکل ۲-۱ ساختار چاه کوانتومی با توابع موج و احتمال..... ۴۷
- شکل ۲-۲ اثرات اعمال میدان بر چاه کوانتومی..... ۴۸
- شکل ۲-۳ تغییرات مقادیر ویژه ی پایه با میدان اعمالی..... ۵۱
- شکل ۲-۴ ساختار کوانتومی متشکل از دو چاه کوانتومی..... ۵۱
- شکل ۲-۵ تغییرات مقادیر ویژه ی انرژی به صورت تابعی از عرض سد..... ۵۲
- شکل ۲-۶ دوپینگ ناحیه سد با اتم های دهنده که موجب جمع شدن الکترون ها در سد می شود..... ۵۳
- شکل ۲-۷ میدان الکتریکی ناشی از توزیع بار در درون چاه کوانتومی..... ۵۳
- شکل ۲-۸ توزیع چگالی بار سطحی برای یک چاه کوانتومی به ضخامت ۱۰ نانو متر..... ۵۴
- شکل ۲-۹ میدان الکتریکی درون چاه ناشی از توزیع بار..... ۵۵
- شکل ۲-۱۰ پتانسیل الکتریکی ناشی از توزیع بار در درون چاه کوانتومی..... ۵۵

- شکل ۲-۱۱ ساختار سیم کوانتومی در جهت X . ۵۶.....
- شکل ۲-۱۲ مقادیر ویژه انرژی با تغییر ابعاد سیم کوانتومی. ۵۷.....
- شکل ۲-۱۳ تابع موج به ازای $nz=ny=1$ (سمت چپ) و $nz=ny=2$ (سمت راست). ۵۷.....
- شکل ۲-۱۴ مقایسه چگالی حالت‌های کوانتومی برای ساختارهای با ابعاد مختلف. ۵۹.....
- شکل ۲-۱۵ یک نقطه کوانتومی خود ساختار یافته به همراه WL . ۶۲.....
- شکل ۲-۱۶ تغییرات انرژی لبه نواری، نوارهای رسانش، $E_C(Z)$ و ظرفیت، $E_V(Z)$. ۶۳.....
- شکل ۲-۱۷ نقطه کوانتومی مکعبی با ضلع‌های L_x, L_y, L_z . ۶۴.....
- شکل ۲-۱۸ نقطه کوانتومی کروی. ۶۶.....
- شکل ۲-۱۹ چگالی حالات مربوط به یک نقطه کوانتومی کوپل شده به الکتروود فلزی. ۶۸.....
- شکل ۲-۲۰ مقادیر محاسبه شده‌ی قطبش پیزوالکتریک و بار القا شده در سطح مشترک. ۷۲.....
- شکل ۲-۲۱ مقادیر میدان پیزوالکتریک به صورت تابعی از غلظت آلومینیوم در چاه کوانتومی. ۷۳.....
- شکل ۲-۲۲ مقایسه‌ی انرژی الکترون در ساختار یک اتم، دو اتم و کریستال. ۷۴.....
- شکل ۲-۲۳ تقریب انرژی پتانسیل الکترون در درون کریستال با توابع پله‌ای. ۷۵.....
- شکل ۲-۲۴ نمودار p به صورت تابعی از E . ۷۶.....
- شکل ۲-۲۵ نمودار انرژی بر حسب عدد موج، برای ساختار یک بعدی. ۷۶.....
- شکل ۲-۲۶ نمودار انرژی بر حسب عدد موج در حالت کلی. ۷۷.....
- شکل ۲-۲۷ نمودار توزیع لورنزی برای مقادیر مختلف γ, x_0 . ۸۲.....
- شکل ۲-۲۸ بهره‌ی هدایت نوری و بازده کوانتومی بر حسب تعداد لایه‌های نقاط کوانتومی. ۹۱.....
- شکل ۳-۱(الف) ساختار باندهی ناشی از تزریق نانو ذره سیلیکون در لایه اکسید SiO_2 . ۹۶.....
- شکل ۳-۱(ب) تابع موج دو بعدی حالت پایه. ۹۶.....
- شکل ۳-۱(ج) تابع موج هرمی شکل. ۹۶.....
- شکل ۳-۲ پنج تابع موج برای پنج تراز تحریک اول در نقطه کوانتومی کروی سیلیکون به شعاع ۱ نانو متر. ۹۸.....
- شکل ۳-۳ پنج تابع موج دو بعدی برای پنج تراز تحریک اول در نقطه کوانتومی کروی سیلیکون به شعاع ۱ نانو متر. ۹۸.....
- شکل ۳-۴ بیست مقدار اول تراز انرژی در باند هدایت (X) و باند ظرفیت (حفره سنگین). ۹۹.....
- شکل ۳-۵ ساختار $n+-Si/Silicon$ quantum dots array in silicon oxide layer/ $P-Si/Al$. ..

- ۱۰۰.....
- شکل ۳-۶ ساختار باندی آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون با شعاع ۲ نانو متر در لایه اکسید SiO_2 (الف) باند هدایت (X)، (ب) باند ظرفیت (حفره سنگین) ۱۰۰
- شکل ۳-۷ لبه باند هدایت و ظرفیت در جهت محور X..... ۱۰۱
- شکل ۳-۸ (الف) تابع موج دو بعدی تراز حالت پایه برای آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون به شعاع ۲ نانو متر در لایه اکسید SiO_2 (ب) تابع موج همین ساختار در جهت محور X ۱۰۱
- شکل ۳-۹ ترازهای انرژی بر حسب تعداد مقادیر ویژه..... ۱۰۲
- شکل ۳-۱۰ توابع موج دو بعدی چهارده تراز تحریک اول برای آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون به شعاع ۲ نانو متر در لایه اکسید SiO_2 ۱۰۴
- شکل ۳-۱۱ توابع موج در جهت محور X..... ۱۰۵
- شکل ۳-۱۲ ناحیه (I) کانتکت های الکتریکی و ناحیه (II) آرایه نقطه کوانتومی..... ۱۰۷
- شکل ۳-۱۳ (الف) آرایه دو بعدی از نقطه کوانتومی سیلیکون، شامل ۴ نقطه کوانتومی بدون ناراستی (ب) رسانایی بر حسب انرژی در ولتاژ بیاس صفر..... ۱۰۹
- شکل ۳-۱۴ (الف) آرایه دو بعدی از نقاط کوانتومی سیلیکون با ناراستی مرکزی (حالت نامتقارن) (ب) و (ج) به ترتیب نمودار رسانایی بر حسب انرژی با ارتفاع ناراستی ۱/۴۸ الکترون ولت و با ارتفاع ناراستی ۳ الکترون ولت ۱۱۱
- شکل ۳-۱۵ (الف) آرایه دو بعدی از نقاط کوانتومی شامل ۳ نقطه کوانتومی با ناراستی مرکزی و یک نقطه کوانتومی بدون ناراستی (حالت نامتقارن) (ب) و (ج) به ترتیب نمودار رسانایی بر حسب انرژی با ارتفاع ناراستی ۱/۴۸ الکترون ولت و با ارتفاع ناراستی ۳ الکترون ولت..... ۱۱۲
- شکل ۳-۱۶ (الف) آرایه دو بعدی از نقاط کوانتومی شامل ۲ نقطه کوانتومی با ناراستی مرکزی و ۲ نقطه کوانتومی بدون ناراستی (حالت نامتقارن) (ب) و (ج) به ترتیب نمودار رسانایی بر حسب انرژی با ارتفاع ناراستی ۱/۴۸ الکترون ولت و با ارتفاع ناراستی ۳ الکترون ولت..... ۱۱۴
- شکل ۳-۱۷ (الف) آرایه دو بعدی از نقاط کوانتومی شامل ۲ نقطه کوانتومی با ناراستی مرکزی و ۲ نقطه کوانتومی بدون ناراستی (حالت نامتقارن) (ب) و (ج) به ترتیب نمودار رسانایی بر حسب انرژی با ارتفاع ناراستی ۱/۴۸ الکترون ولت و با ارتفاع ناراستی ۳ الکترون ولت..... ۱۱۵
- شکل ۳-۱۸ (الف) آرایه دو بعدی از نقاط کوانتومی شامل ۱ نقطه کوانتومی با ناراستی مرکزی و ۳ نقطه کوانتومی بدون ناراستی (حالت نامتقارن) (ب) و (ج) به ترتیب نمودار رسانایی بر حسب انرژی با ارتفاع ناراستی

- ۱۴۸ / ۱ الکترون ولت و با ارتفاع ناراستی ۳ الکترون ولت..... ۱۱۷
- شکل ۳-۱۹ (الف) آرایه دوبعدی از نقاط کوانتومی بدون ناراستی. (ب) و (ج) و (د) آرایه دوبعدی از نقاط کوانتومی با اندازه متفاوتی از ناراستی (ارتفاع ناراستی ۳ الکترون ولت) ۱۱۷
- شکل ۳-۲۰ (الف) نمودار رسانایی بر حسب انرژی برای آرایه ای از نقاط کوانتومی بدون ناراستی در بایاس صفر (ب) و (ج) و (د) نمودار رسانایی بر حسب انرژی برای آرایه ای از نقاط کوانتومی با اندازه متفاوت از ناراستی (ارتفاع ناراستی ۳ الکترون ولت) ۱۱۸
- شکل ۳-۲۱ ضریب جذب بین باندی بر حسب انرژی فوتون در آرایه ای از نقاط کوانتومی کروی سیلیکون با شعاع های متفاوت در ماتریس اکسید SiO_2 ۱۲۰

فهرست جداول

- عنوان..... صفحه
- جدول ۱-۱ تقسیم بندی پرتو فرابنفش بر اساس طول موج..... ۱۶
- جدول ۱-۲ مقادیر تابع کار برای برخی فلزات..... ۱۸
- جدول ۳-۱ پارامترهای ساختاری و ماده‌ای به کار رفته در شبیه‌سازی آشکارساز ۹۵
- جدول ۳-۲ شش مقدار اول تراز تحریک برای نقطه کوانتومی کروی سیلیکون به شعاع ۱ نانومتر..... ۹۷
- جدول ۳-۳ پانزده مقدار ویژه انرژی اول تراز تحریک برای این ساختار کوانتومی ۱۰۲

مقدمه

امواج الکترومغناطیسی در سراسر محیط اطراف ما پخش شده‌اند. این امواج شامل طول‌موج‌های فرابنفش تا رادیویی می‌باشد. چشم انسان تنها قادر است بازه‌ی نور مرئی را که در رنج طول موج ۳۹۰ تا ۷۶۰ نانومتر قرار دارد، ببیند. برای آشکار کردن بقیه‌ی محدوده‌ی طول موجی احتیاج به آشکارساز می‌باشد. با پیشرفت صنعت، استفاده از امواج فرابنفش که در محدوده‌ی طول موج ۱۰ تا ۳۹۰ نانومتر قرار دارند روزبه‌روز افزایش می‌یابد. از جمله این کاربردها می‌توان به صنعت الکترونیک اشاره کرد که در آن از پرتو فرابنفش برای لیتوگرافی در ساخت قطعات الکترونیکی استفاده می‌شود. همچنین در صنعت پزشکی برای بررسی ساختار پروتئین‌ها و همچنین ساختار DNA سلول‌ها استفاده می‌شود و یا در صنایع نظامی که از پرتوهای فرابنفش برای ردیابی موشک‌ها و هواپیماها در عملیات نظامی استفاده می‌شود.

در عمل به آشکارسازهایی احتیاج داریم که دارای دقت لازم بوده و نیاز انسان را تامین کنند. آشکارسازهای نوری قطعاتی هستند که امواج الکترومغناطیسی مورد نظر را به جریان الکتریکی یا گرما تبدیل می‌کنند و دارای انواع مختلفی هستند که هر یک معایب و مزیت‌هایی را دارند. از آن جمله می‌توان به نور رساناها^۱، پیوندهای p-n^۲، فتودیود اثر بهمنی^۳ و آشکارساز نوری مبتنی بر پیوند فلز-اکسید-نیمه هادی^۴ اشاره کرد. با گذشت زمان رفته‌رفته آشکارسازهای جدیدی ساخته شده است که کارایی آنها با استفاده از ساختارهای کوانتومی ارتقاء داده شده است.

برای ارزیابی آشکارسازها پارامترهایی وجود دارد که به کمک این پارامترها می‌توان کارایی آشکارساز را بررسی کرد. از جمله این پارامترها می‌توان به ضریب جذب بهره‌ی کوانتومی^۵، پاسخ دهی^۶، پاسخ طیفی و نسبت سیگنال به نویز اشاره کرد. با محاسبه بهره کوانتومی می‌توان نسبت حامل‌های الکتریکی تولید شده به فوتون‌های ورودی را بدست آورد که به صورت تابعی از طول موج امواج ورودی می‌باشد. با پیدا کردن پاسخ‌دهی می‌توان نسبت خروجی اعم از جریان یا ولتاژ را به ورودی به دست آورد. در پاسخ طیفی هم نسبت خروجی به ورودی را در طول‌موج‌های مختلف به دست می‌آوریم. و با استفاده از نتایج این داده‌ها در مورد آشکارساز اظهار نظر

¹ Photoconductor

² Avalanche photodetector

³ Metal-Oxide-Semiconductor

⁴ Quantum efficiency

⁵ Responsivity

می‌کنیم. البته تقریباً آشکارسازی یافت نمی‌شود که دارای ویژگی‌های بهینه باشد. به‌طور مثال اگر بخواهیم سرعت یک آشکارساز را بالا ببریم، ممکن است میزان پاسخ‌دهی کاهش یابد. در این پایان‌نامه سعی شده که این پارامترها را برای ساختارهای سیلیکونی بررسی کنیم. طرح کلی این پایان‌نامه را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد.

در فصل اول به تاریخچه کشف پرتو فرابنفش و سیر تکاملی آشکارسازها می‌پردازیم، انواع کلی آشکارسازها معرفی شده و محاسن و معایب هرکدام با یکدیگر مقایسه شده است. همچنین مواد رایج در ساخت آشکارسازهای فرابنفش معرفی شده‌اند. در ادامه‌ی فصل، دو نمونه از آشکارسازهای سیلیکونی ساخته شده ارائه شده و نتایج به‌دست آمده از هر یک مورد تحلیل قرار گرفته است. این نتایج به عنوان مقدمه‌ای جهت بیان جهت‌گیری ما در فصول بعدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین، تونلینگ کوانتومی و اثر کلومب بلاکت روی نانو ذرات سیلیکون در لایه¹ SRO بررسی شده است.

در فصل دوم، پس از یک مرور اجمالی بر مبانی فیزیکی اولیه اقدام به شبیه‌سازی ساختار آشکارساز مورد نظر می‌کنیم. این فصل را با معرفی معادله‌ی شرودینگر و پواسون و نیز ارائه‌ی یک روش عددی جهت حل خودسازگار این دو معادله ادامه می‌دهیم. پس از آن پروسه‌ی انتقال حامل‌ها از درون ساختار را با کلیه‌ی جزئیات مورد بررسی قرار داده و معادلات مورد نیاز را استخراج می‌کنیم.

در فصل سوم در ابتدا ساختاربندی آشکارساز سیلیکونی مورد نظر را شبیه‌سازی می‌کنیم. با استفاده از این شکل، کلیه‌ی پارامترهای استفاده شده در معادلات حاکم بر ساختار معرفی می‌شوند. در ادامه با استفاده از روش ماتریس انتقال دو بعدی منحنی رسانایی را در بایاس صفر به دست می‌آوریم و اثر اندازه، شکل و ارتفاع ناراستی مرکزی را روی منحنی رسانایی در بایاس صفر را به صورت کامل بررسی می‌کنیم و در پایان ضریب جذب بین باندی را برای این ساختار به ازای شعاع‌های متفاوت از نقاط کوانتومی بر حسب انرژی فوتون به دست می‌آوریم.

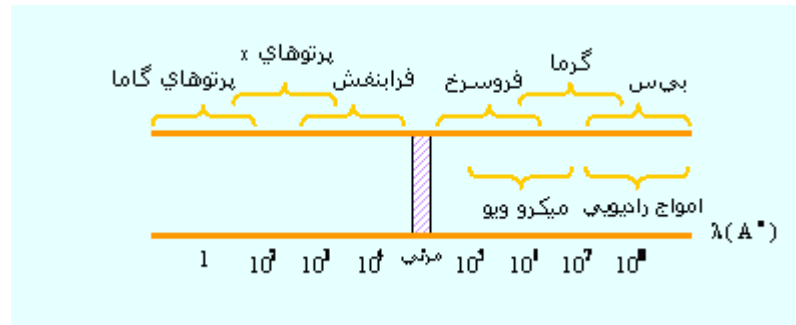
¹ Silicon-rich-oxide

۱ فصل اول

بررسی منابع و پیشینه تحقیق

۱-۱ پرتو فرابنفش

پرتو فرابنفش^۱ جزء امواج الکترومغناطیسی می‌باشد که در طیف فرکانسی مابین نور مرئی و پرتو ایکس قرار دارد. که شامل طول موج مابین ۱۰ تا ۴۰۰ نانومتر و انرژی ۳ تا ۱۲۴ الکترون ولت می‌باشد. طیف الکترومغناطیسی در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۱: طیف امواج الکترومغناطیس

۲-۱ تاریخچه ای بر آشکارسازهای UV

در سال ۱۸۰۱ یک دانشمند آلمانی در طی یک آزمایش مشاهده کرد که نمک های نقره وقتی در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند تیره می‌شوند. او پی برد که این پدیده به خاطر پرتو های نامرئی می‌باشد که در نور خورشید وجود دارد. او این پرتوها را پرتو اکسید کننده نامید [1]. در سال ۱۸۹۳ یک دانشمند دیگر آلمانی به نام ویکتور شومن^۲ پرتو فرابنفش زیر ۲۰۰ نانومتر را کشف کرد و آن را فرابنفش خلا^۳ نامید. چون این طول موج تنها در شرایط خلا قرار دارد در اتمسفر زمین به وسیله‌ی عناصر موجود در جو زمین جذب می‌شود [2].

با گذشت زمان دانشمندان کم‌کم با ویژگی‌های پرتوهای فرابنفش آشنا شده، و به مزیت‌های اساسی آن نسبت به نور مرئی پی بردند. با گذشت زمان نیاز به آشکارسازی که بتواند این امواج را آشکار کند محسوس‌تر شد. در ابتدا بیشتر از آشکارسازهای گرمایی^۴ استفاده می‌شد، اما با گذشت زمان نیاز به آشکارسازهای با سرعت بالا و دقت بهتر محسوس شد. پرتو فرابنفش بر اساس طول موج به چندین قسمت تقسیم می‌شود که در جدول (۱-۱) نشان داده شده است [3].

¹ Ultra violet

² Victor Schumann

³ Vacuum ultraviolet

⁴ Thermal photodetector

جدول ۱-۲: تقسیم‌بندی پرتو فرابنفش بر اساس طول موج

Name	Abbreviation	Wavelength range in nanometers	Energy per photon
Ultraviolet A	UVA	315-400	3/1-3/49
Near	NUV	300-400	3/1-4/43
Ultraviolet B or medium wave	UVB	280-315	3/94-4/43
Middle	MUV	200-300	4/13-6/2
Ultraviolet C	UVC	100-280	4/43-12/14
Far	FUV	122-200	6/2-10/2
Vacuum	VUV	100-200	6/2-12/4
Low	LUV	88-100	12/4-14/1
Super	SUV	10-150	8/24-124
Extreme	EUV	10-120	10/2-124

۱-۳ منابع فرابنفش

امواج فرابنفش از نوع UVA، UVB، UVC در نور خورشید وجود دارد. اما در هنگام عبور از لایه ی ازن حدود ۹۹ درصد این پرتوها جذب می شود. و از ورود آنها به جو زمین جلوگیری می شود. ۹۸ درصد از امواج فرابنفش که به سطح زمین می رسد از نوع UVA می باشد [4].

لامپ های فرابنفش فلورسنت که بدون پوشش فسفری می باشند، نوری گسیل می کنند که پیک طیف نور ساطع شده در طول موجهای ۲۵۳ و ۱۸۵ نانومتر قرار دارد.

LED های فرابنفش نیز ساخته شده اند، که می توانند در محدوده طول موج ۳۶۵ نانومتر نور گسیل کنند. اکثر این قطعات از ساختارهای نیتريدی مانند گالیم نیتريد^۱ ساخته شده اند. همچنین لیزرهای فرابنفش هم ساخته شده، که می توانند در طول موجهای ۲۶۲، ۲۶۶، ۳۴۹، ۳۵۱، ۳۵۵ و ۳۷۵ نانومتر نور ساطع کنند و دارای کاربردهای فراوان در صنایع الکترونیک و پزشکی هستند.

۱-۴ کاربردهای امواج فرابنفش

با پیشرفت صنعت، کاربرد امواج فرابنفش رفته رفته بیشتر می شود. این کاربردها رابطه ی مستقیم با طول موج امواج دارند. در این قسمت به خلاصه ای از این کاربردها اشاره می شود:

¹Gallium nitride

- ۱) امواج با طول موج ۱۳ نانومتر، که در الکترونیک و ساخت قطعات نیمه هادی کاربرد دارند، که به عنوان منبع نوری برای لیتوگرافی به کار می‌روند.
- ۲) امواج با طول موج ۲۳۰-۴۰۰ نانومتر، که به عنوان حس‌گر نوری در قطعات نوری به کار می‌روند.
- ۳) امواج با طول موج ۲۴۰-۲۸۰ نانومتر، که برای ضد عفونی در برابر میکروب‌ها به کار می‌روند.
- ۴) امواج با طول موج ۲۷۰-۳۰۰ نانومتر، که در علوم زیست‌شناسی و بررسی ساختار DNA به کار می‌روند.

یکی دیگر از کاربردهای امواج فرابنفش در علم ستاره‌شناسی می‌باشد. از آنجا که دمای بعضی از اجرام آسمانی خیلی زیاد است به همین خاطر در طیف گسیل آنها امواج فرابنفش وجود دارد که از این امواج برای بررسی ساختار این اجرام استفاده می‌کنند.

آشکارسازهای فرابنفش در سیستم‌های نظمی هم کاربردهای زیادی دارند. موتور اکثر هواپیماهای جنگی و همچنین موشک‌ها هنگام سوختن بر اثر بعضی واکنش‌های شیمیایی امواج فرابنفش تولید می‌کنند. این امواج در محیط پخش شده و به خاطر طول موج بالا کمتر توسط اتمسفر جذب می‌شوند. که با استفاده از آشکارسازهای فرابنفش می‌توان این امواج را آشکار کرده و حملات هوایی را پیش‌بینی و ردیابی کرد.

در ادامه به تعریف کلی از آشکارساز نوری می‌پردازیم. آشکارساز نوری وسیله‌ای برای تبدیل انرژی امواج الکترومغناطیسی به انرژی الکتریکی می‌باشد.

۱-۵ انواع آشکارسازهای نوری

آشکارسازهای نوری بر اساس کاربرد و طول موج مورد نظر در انواع مختلف ساخته می‌شود، که هر یک ویژگی‌های مخصوص خود را دارند. در ادامه به بعضی از آنها اشاره می‌شود.

۱-۵-۱ آشکارساز خلا^۱

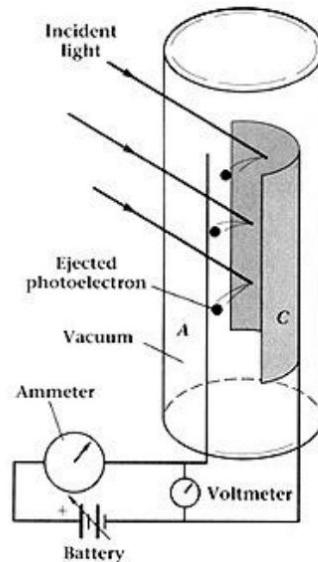
یکی از راه‌های آشکارسازی پرتوهای فرابنفش استفاده از اثر فوتوالکتریک است. همان‌طوری که می‌دانیم پدیده‌ی فوتوالکتریک توسط انیشتین کشف شد و به این صورت است که وقتی امواج الکترومغناطیسی با طول موج مناسب به سطح یک فلز بتابد، این امواج، الکترون‌ها را از سطح فلز جدا می‌کنند. برای یک فلز مورد نظر اگر طول موج منبع زیاد باشد، هیچ الکترونی جدا نمی‌شود و ارتباطی به شدت نور ندارد، اما اگر طول موج را

¹ Vacuum photodetector

کاهش بدهیم در یک طول موج مشخص الکترون‌ها از سطح فلز جدا می‌شود. در جدول زیر به تابع کار^۱ برخی فلزات اشاره شده است و دیده می‌شود که تابع کار اکثر فلزات در محدوده‌ی فرابنفش قرار دارد.

جدول ۱-۲: مقادیر تابع کار برای بعضی فلزات

فلز	تابع کار (الکترون ولت)
طلا	۵/۱
مس	۴/۵۶
کروم	۴/۶
تنگستن	۴/۵
استیل	۴/۴
نیکل	۴/۶
لیتیم	۲/۹



شکل ۱-۲: آشکارساز بر پایه فوتو الکتریک [5]

مقدار انرژی که لازم است تا یک الکترون در درون فلز دریافت کند تا بتواند از سطح فلز جدا شود به تابع کار مشهور است. انرژی یک فوتون از رابطه‌ی $E=hf$ بدست می‌آید، که در آن h ثابت پلانک و f فرکانس فوتون می‌باشد. برای آشکارسازی پرتو فرابنفش می‌توان از یک فلز با تابع کار مناسب، متناسب با طول موج مورد

¹ Work function