

الله

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي يُرِيهِمْ
آيَاتِهِ لَعَلَّهُمْ
يَتَّقُونَ
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي يُرِيهِمْ
آيَاتِهِ لَعَلَّهُمْ
يَتَّقُونَ

دانشکده علوم

گروه فیزیک

فوتونیک

شیشه سازی عددی مشخصه ولتاژ - جریان آشکارساز نوری فلز- نیمه هادی- فلز
پس دريچه دار شده

از:

نسرین شعبانزاده

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر مشایخی

۱۳۸۸ / ۳ / ۴
انجمن اطلاعات درک علمی بزرگ
تیم مدرک



اسفند ۸۷

۱۱۳۷۱۰



تقدیم به

خانواده عزیزم



تشکر و قدردانی

سپاس می گزارم تمام رنج های استادانم را
از استاد گرامی جناب آقای دکتر مشایخی به سبب کمک ها و راهنمایی های مفید و ارزنده شان در جهت پیشبرد پروژه و
اینکه همواره مشوقم بودند تا حرکتی رو به جلو داشته باشم بسیار سپاسگزارم.
از جناب آقای دکتر رحیم پور به سبب قبول زحمت داوری پایان نامه متشکرم
همچنین از جناب آقای دکتر باطبی که در طی این دوره از محضر ایشان کمال استفاده را بردم و مسئولیت داوری پایان نامه را
تقبل نمودند بسیار سپاسگزارم.
از استاد محترم جناب آقای دکتر فرجامی شایسته که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع حضور داشتند تشکر
می کنم.
سپاس می گزارم پدر و مادر عزیزم را که با حلم خویش شکوفایی درخت علم را در برهوت جان من به انتظار نشستند
از خواهر عزیزم خانم نسیم شعبان زاده و دختر دایی عزیزم خانم پگاه حیدری به خاطر کمک های فکری و معنوی و دلگرمی
هایشان سپاسگزارم.
همچنین از جناب آقای منبری به خاطر مساعدت و همفکری بی دریغ شان متشکرم.

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|---------|--|
| ۱..... | فصل اول: مقدمه |
| ۲..... | ۱-۱- مقدمه |
| ۶..... | فصل دوم: آشنایی با آشکارسازهای نوری و چگونگی عملکرد آنها |
| ۷..... | ۱-۲- مقدمه |
| ۷..... | ۲-۲- پیوند p-n در حالت تعادل |
| ۹..... | ۳-۲- پیش ولت دادن به پیوندگاه p-n |
| ۱۰..... | ۴-۲- ویژگی های ولتاژ-جریان یک پیوند p-n در حالت پایدار |
| ۱۵..... | ۵-۲- آشکارسازهای نوری |
| ۱۶..... | ۱-۵-۲- رساناهای نوری |
| ۱۷..... | ۲-۵-۲- دیود نوری |
| ۱۷..... | ۱-۲-۵-۲- دیود نوری p-n |
| ۱۸..... | ۲-۲-۵-۲- دیود نوری p-i-n |
| ۱۸..... | ۳-۲-۵-۲- دیود نوری بهمنی |
| ۱۹..... | ۳-۵-۲- آشکارساز نوری فلز-نیمه هادی-فلز |
| ۲۰..... | ۴-۵-۲- آشکارساز نوری فلز-نیمه هادی-فلز پس دریچه دارشده |
| ۲۲..... | فصل سوم: شبیه سازی آشکارساز نوری BGMSM (حالت تعادل) |
| ۲۳..... | ۱-۳- مقدمه |
| ۲۳..... | ۲-۳- معادله پواسون |

- ۳-۳- طراحی شبکه و توزیع بار برای قطعه BGMSM ۲۵
- ۳-۴- تجزیه معادله پواسون ۲۶
- ۳-۵- شرایط مرزی ۲۸
- ۳-۶- حدس اولیه ۲۹
- ۳-۷- روش حل ۳۱
- ۳-۸- نتایج مدل سازی ۳۵
- ۳-۸-۱- نمودار آلایدگی ۳۵
- ۳-۸-۲- پتانسیل الکتروستاتیک در حالت تعادل ۳۶
- ۳-۸-۳- تاثیر حدس اولیه ای دور از جواب درست بر فرایند حل ۳۸
- ۳-۸-۴- تاثیر اندازه شبکه غیر یکنواخت ۳۹
- فصل چهارم: شبیه سازی آشکارساز نوری BGMSM (حالت استاتیک) و تعیین مشخصه I-V ۴۱
- ۴-۱- مقدمه ۴۲
- ۴-۲- معادلات اساسی نیمه هادی ها ۴۲
- ۴-۲-۱- معادلات ماکسول ۴۲
- ۴-۲-۲- روابط جریان ۴۳
- ۴-۲-۳- معادلات پوسونگی ۴۴
- ۴-۳- فرایند تولید و باز ترکیب حامل ها ۴۵
- ۴-۴- متغیرها ۴۶
- ۴-۵- مقیاس گذاری ۴۷
- ۴-۶- شرایط مرزی ۴۹
- ۴-۷- تجزیه معادلات ۵۰
- ۴-۸- حدس اولیه ۵۶

- ۴-۹- روش حل ۵۸
- ۴-۹-۱- بازنویسی معادلات اساسی نیمه هادی ۵۸
- ۴-۹-۲- الگوریتم کلی حل ۵۹
- ۴-۱۰- نتایج مدل سازی ۶۳
- ۴-۱۰-۱- پتانسیل الکتروستاتیک ۶۳
- ۴-۱۰-۲- غلظت حامل ها ۶۴
- ۴-۱۰-۳- پتانسیل های شبه فرمی ۶۶
- ۴-۱۰-۴- تاثیر ولتاژ پس در پیچه بر مشخصات قطعه ۶۹
- ۴-۱۱- تعیین مشخصه ولتاژ- جریان آشکارساز نوری BGMSM ۷۲
- ۴-۱۱-۱- میدان الکتریکی ۷۲
- ۴-۱۱-۲- چگالی های جریان ۷۴
- ۴-۱۱-۳- جریان خروجی تاریک آشکارساز نوری BGMSM ۷۷
- فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری ۸۰
- ۵-۱- نتیجه گیری ۸۱
- ۵-۲- پیشنهاد برای ادامه کار ۸۳
- منابع ۸۴
- کدهای نوشته شده توسط برنامه matlab ۸۶

فهرست جدول ها

عنوان

صفحه

جدول ۱-۳: پارامترهای فیزیکی قطعه BGMSM ۳۵

جدول ۱-۴: عوامل مقیاس گذاری ۴۸

فهرست شکل ها

| صفحه | عنوان |
|---------|--|
| ۲..... | شکل ۱-۱: طرح خط ارتباطی فیبر نوری متداول همراه با آشکارساز نوری در دریافت کننده..... |
| ۹..... | شکل ۱-۲: الف. نواحی خنثی و جداگانه مواد نوع n و p و نوارهای انرژی مربوط به آنها، ب. پیوند نشان دهنده بارضا در ناحیه گذر w ، میدان الکتریکی، اختلاف پتانسیل Φ_0 و جدایی نوارهای انرژی..... |
| ۱۰..... | شکل ۲-۲: پتانسیل الکتروستاتیک و نمودار نوارهای انرژی در گرایش های الف. مستقیم و ب. معکوس..... |
| ۱۲..... | شکل ۳-۲: تراکم حامل ها در یک پیوند $p-n$ الف. تحت بایاس مستقیم، ب. تحت بایاس معکوس..... |
| ۱۴..... | شکل ۴-۲: توزیع حامل ها و چگالی جریان برای الف. شرط بایاس مستقیم، ب. شرط بایاس معکوس..... |
| ۱۵..... | شکل ۵-۲: مشخصه جریان- ولتاژ دیود ایده آل..... |
| ۱۶..... | شکل ۶-۲: آشکارساز نوررسانا..... |
| ۱۷..... | شکل ۷-۲: آشکارساز دیود نوری $p-n$ بایاس معکوس ایده آل همراه با میدان الکتریکی E در ناحیه تهی..... |
| ۱۸..... | شکل ۸-۲: ساختار دیود نوری $p-i-n$ ، نمودار نوار انرژی، توزیع بار و توزیع میدان الکتریکی..... |
| ۱۹..... | شکل ۹-۲: الف. دیود نوری بهمنی در بایاس معکوس، ب. الکترون ها و حفره هایی که باعث تکثیر می شوند..... |
| ۲۰..... | شکل ۱۰-۲: الف. آشکارساز نوری MSM، ب. دو دیود شاتکی پشت به پشت، ج. نمودار باند انرژی و د. مشخصه $I-V$ |
| ۲۱..... | شکل ۱۱-۲: آشکارساز نوری BGMSM..... |
| ۲۵..... | شکل ۱-۳: سطح مقطع قطعه در صفحه $x-y$ ، همراه با مشخصات قطعه..... |
| ۲۶..... | شکل ۲-۳: نمایه الگوی پنج نقطه ای تفاضل محدود..... |
| ۳۰..... | شکل ۳-۳: حدس اولیه ای دور از جواب درست..... |
| ۳۱..... | شکل ۴-۳: حدس اولیه ای نزدیک به جواب درست..... |
| ۳۲..... | شکل ۵-۳: سطح مقطع شبکه بندی شده قطعه..... |
| ۳۴..... | شکل ۶-۳: الگوریتم کلی حل..... |
| ۳۶..... | شکل ۷-۳: نمایه آلایدگی قطعه BGMSM..... |
| ۳۷..... | شکل ۸-۳: نمایه پتانسیل الکتروستاتیک آشکارساز نوری BGMSM در حالت تعادل..... |

شکل ۳-۹: نمایه بدست آمده برای پتانسیل الکتروستاتیک بعد از یک مرحله تکرار با جواب اولیه ای دور از جواب واقعی ۳۸.

شکل ۳-۱۰: نمایه پتانسیل الکتروستاتیک قطعه با اعمال اندازه شبکه کوچکتر در نواحی مرزی $N1,I$ و $N2,I$ و P,I در

راستای y ۳۹

شکل ۳-۱۱: نمایه پتانسیل الکتروستاتیک قطعه با اعمال اندازه شبکه کوچکتر ثدر راستای y در نواحی مرزی $N1,I$ و $N2,I$ و

P,I و ناحیه میانی I که به گاف منتهی می شود ۴۰

شکل ۴-۱: نمایه حدس اولیه برای پتانسیل الکتروستاتیک ۵۶

شکل ۴-۲: نمایه حدس اولیه برای چگالی الکترون ۵۷

شکل ۴-۳: نمایه حدس اولیه برای چگالی حفره ۵۷

شکل ۴-۴: الگوریتم کلی حل در حالت استاتیک ۶۲

شکل ۴-۵: نمایه پتانسیل الکتروستاتیک آشکارساز نوری BGMSM در حالت استاتیک ۶۴

شکل ۴-۶: نمایه لگاریتمی چگالی الکترون ها در آشکارساز نوری BGMSM ۶۵

شکل ۴-۷: نمایه لگاریتمی چگالی حفره ها در آشکارساز نوری BGMSM ۶۵

شکل ۴-۸: نمایه لگاریتمی حاصلضرب چگالی الکترون و حفره در آشکارساز نوری BGMSM ۶۶

شکل ۴-۹: نمایه پتانسیل شبه فرمی الکترون برای آشکارساز نوری BGMSM ۶۷

شکل ۴-۱۰: نمایه پتانسیل شبه فرمی حفره برای آشکارساز نوری BGMSM ۶۸

شکل ۴-۱۱: نمایه سطح مقطع پتانسیل الکتروستاتیک همراه با پتانسیل های شبه فرمی الکترون و حفره در جهت x ۶۸

شکل ۴-۱۲: نمایه سطح مقطع پتانسیل الکتروستاتیک همراه با پتانسیل های شبه فرمی الکترون و حفره در جهت y ۶۹

شکل ۴-۱۳: نمایه پتانسیل الکتروستاتیک برای قطعه با اعمال ولتاژ پس دریچه (۲۷-) به انتهای ناحیه P ۷۰

شکل ۴-۱۴: نمایه لگاریتمی چگالی الکترون برای قطعه با اعمال ولتاژ پس دریچه (۲۷-) به انتهای ناحیه P ۷۰

شکل ۴-۱۵: نمایه لگاریتمی چگالی حفره برای قطعه با اعمال ولتاژ پس دریچه (۲۷-) به انتهای ناحیه P ۷۱

شکل ۴-۱۶: نمایه لگاریتمی حاصلضرب چگالی الکترون و حفره برای قطعه با اعمال ولتاژ پس دریچه (۲۷-) به انتهای ناحیه

P ۷۱

شکل ۴-۱۷: نمایه مولفه x میدان الکتریکی آشکارساز نوری BGMSM ۷۳

شکل ۴-۱۸: نمایه مولفه y میدان الکتریکی آشکارساز نوری BGMSM ۷۴

- شکل ۴-۱۹: نمایه مولفه X چگالی جریان الکتریکی الکترون..... ۷۶
- شکل ۴-۲۰: نمایه مولفه Y چگالی جریان الکتریکی الکترون..... ۷۶
- شکل ۴-۲۱: نمایه مولفه X چگالی جریان الکتریکی حفره..... ۷۷
- شکل ۴-۲۲: نمایه مولفه Y چگالی جریان الکتریکی حفره..... ۷۷
- شکل ۴-۲۳: نمای سه بعدی آشکارساز نوری BGMSM..... ۷۸
- شکل ۴-۲۴: مشخصه ولتاژ-جریان آشکارساز نوری BGMSM..... ۷۹

شبیه سازی عددی مشخصه ولتاژ- جریان آشکارساز نوری فلز- نیمه هادی- فلز پس دریاچه دارشده

نسرین شعبان زاده

آشکارساز نوری فلز- نیمه هادی- فلز پس دریاچه دارشده دارای دو اتصال فلزی بر سطح نیمه رسانای GaAs و یک اتصال فلزی دیگر در قسمت پایین آن است که به اتصال پس دریاچه معروف می باشد و به منظور خارج کردن حامل های بار مثبت، حفره ها از مدار سرعت بالا (مدار مربوط به MSM) طراحی شده است.

در این پایان نامه ابتدا قطعه در حالت تعادل شبیه سازی می شود و نمایه پتانسیل الکتروستاتیکی آن با حل معادله پواسون به روش عددی نیوتن بدست می آید و سپس به شبیه سازی قطعه در حالت پایا (اعمال ولتاژ) پرداخته می شود. یکی از مشخصات مهم آشکارسازهای نوری مشخصه جریان- ولتاژ آن می باشد. مشخصه مشاهده شده تجربی برای آشکارساز نوری BGMSM همانند مشخصه جریان- ولتاژ دو دیود متصل شده پشت به پشت می باشد. در شبیه سازی حالت پایا هدف، تعیین این مشخصه می باشد.

برای شبیه سازی عددی مشخصه جریان- ولتاژ، نیاز به حل معادلات اساسی نیمه هادی ها (معادلات پواسون و پیوستگی برای الکترون ها و حفره ها) در حالت استاتیک (غیر وابسته به زمان) می باشد. برای این کار، این معادلات با استفاده از روش اختلافات جزئی تجزیه شده و پارامترهای مورد نظر با استفاده از حل دسته معادلات جبری غیرخطی مشخص شده، به روش تکرار نیوتن بدست می آیند. سپس با استفاده از پارامترهای بدست آمده، مشخصه جریان- ولتاژ تعیین می گردد.

کلید واژه: آشکارساز نوری BGMSM، حالت تعادل، حالت پایا، معادلات اساسی نیمه هادی ها، مشخصه ولتاژ- جریان، شبیه سازی عددی

Abstract

Numerical Simulation of I-V characteristics of the Back-Gated Metal- Semiconductor-Metal (BGMSM) photodetectors

Nasrin shabanzadeh

The Back- Gated Metal-semiconductor-Metal consists of two metal contacts on the top of GaAs semiconductor surface and another one underneath of this structure, the so called backgated contact, which is designed to withdraw positive charge carrier, holes, from high-speed circuit (the two top contacts).

In this dissertation, the electrostatic potential of the device is simulated first in equilibrium state and the profile is obtained by solving poisson's equation using Newton numerical method. It is then simulated in steady state (with an applied voltage). One of the important characteristics of photodetectors is their current-voltage (I-V) characteristic. The observed experimental result of BGMSM photodetector is similar to that of two back-to-back diodes in a circuit. The aim of steady state simulation is to obtain this characteristic.

To simulate the I-V characteristic of the device, we need to solve the basic semiconductor equations (Poisson's equation and two continuity equations for electrons and holes) in static state (time independent). To do this, these equations are discretised using finite difference method and the required parameters are obtained by solving a system of nonlinear algebraic equations. The I-V characteristic is then can be obtained using the calculated parameters.

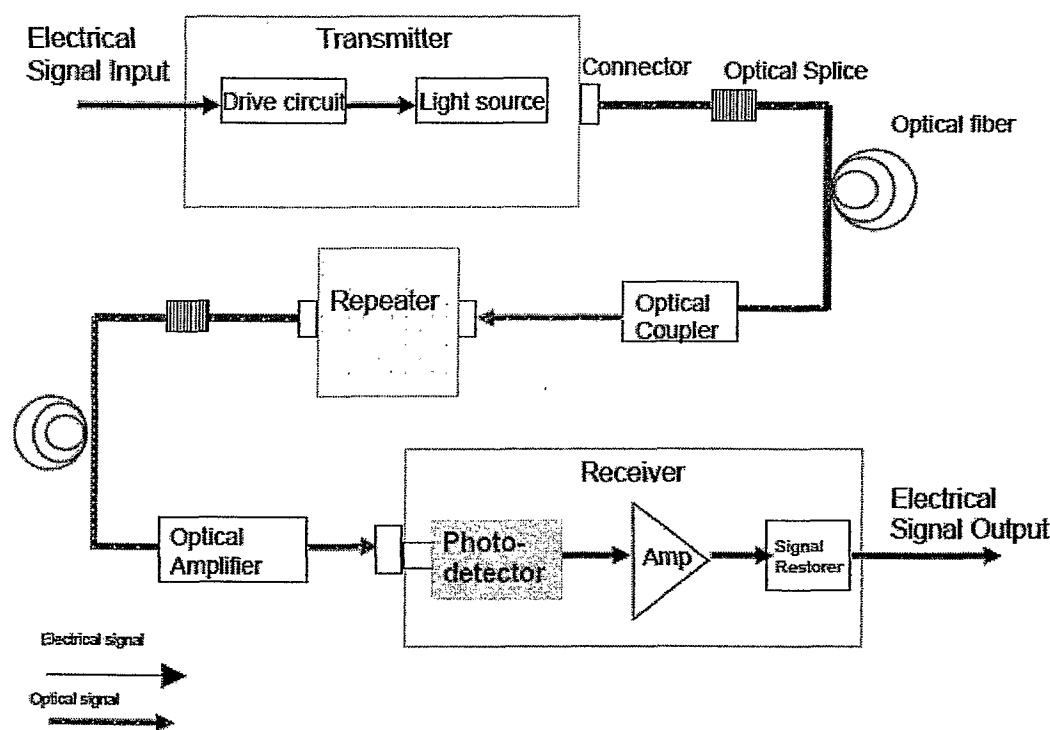
Key words: BGMSM photodetector, Equilibrium state, Steady state, Basic equations semiconductors, I-V characteristic, Numerical simulation

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

آشکارسازهای نوری^۱ بطور گسترده ای در سیستم های انتقال فیبر نوری^۲ بکاربرده می شوند. توسعه سیستم های انتقال فیبر نوری و نفوذشان به شبکه های محلی بطور فزاینده ای نیاز به قطعات اپتوالکترونیکی^۳ با کارایی بالا شامل آشکارسازهای نوری، لیزرها^۴ و تقویت کننده ها^۵ را افزایش داده است. آشکارسازهای نوری نقش اصلی را در سیستم های ارتباط فیبر نوری ایفا می کنند، یک نمایه طرحوار در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. در این کاربردها، آشکارسازهای نوری، توان نوری چند برابر شده را به توان میکرو موج انتقال می دهند.



شکل ۱-۱: طرح خط ارتباطی فیبر نوری متداول، همراه با آشکارساز نوری در دریافت کننده

علاوه بر فیبرهای نوری، سیستم های اندازه گیری نوری^۶، آشکارسازهای نوری و آرایه ای از آشکارسازهای نوری را در

بازه وسیعی از کاربردها، از قبیل اندازه گیری طول با دقت بالا، آنالیز طیف و الگوی نوری^۷ و غیره بکار می گیرند [۱۰].

1. Photodetector
2. Optical Fiber
3. Optoelectronic
4. Lasers
5. Modulators
6. Optical Measurement
7. Light Pattern

کاربردهای تصویری از قبیل تصویرهای سه بعدی، طیف نمایی مکانی^۱ که بطور فزاینده ای نیاز به آرایه های آشکارسازهای نوری با تفکیک و حساسیت بالا و توان پایین و قطعات با سطح های بزرگ که در بازه کوتاه تر از فرسرخ ($2.2 \mu\text{m} - 0.8 \mu\text{m}$) و UV عمل می کنند، را افزایش می دهند. کاربردهای دیگر آشکارسازهای نوری شامل نمونه برداری سرعت بالا، مدارهای مجتمع اپتوالکترونیکی، تزویج نوری^۲ سرعت بالا و غیره می باشد [۹].

آشکارسازهای نوری از چند جنبه می توانند ارزیابی شوند که عبارتند از: پهنای باند^۳، بازدهی^۴، توان اشباع^۵ و جریان تاریک^۶. (۱) پهنای باند وسیع و سرعت های بالا آشکارسازهای نوری را قادر به پاسخ گویی به آهنگ های مدولاسیون^۷ بالا می سازد، (۲) بازدهی انتقال بالا آشکارسازهای نوری را قادر به تبدیل سهم بالایی از توان نوری به سیگنال الکتریکی می سازد، (۳) توان اشباع بالا به آشکارسازهای نوری اجازه می دهد تا توان نوری بالا را بدون واپیچی سیگنال الکتریکی خروجی حفظ کنند، (۴) جریان تاریک کم و نویز کم، نسبت سیگنال به نویز را برای بدست آوردن یک بهره RF بالا بهبود می بخشد [۱۰]. در کاربردهای مختلف ویژگی های مختلفی از ارجحیت برخوردار هستند، بطور خاص، آشکارسازهای نوری با پهنای باند و سرعت فوق العاده بالا در خطوط ارتباطات فیبر نوری، سویچ های نوری^۸ و غیره نیاز می شوند. در کاربردهایی مانند تصویر برداری، داشتن چگالی جریان تاریک کم و نویز کم ضروری است، بعلاوه توسعه تقویت کننده های نوری یک وابستگی به آشکارسازهای نوری با توان نوری بالا را دربر دارد [۱۰].

فرایندهای آشکارسازی می تواند توسط مراحل زیر دسته بندی شود:

- جذب فوتون ها در ماده و تولید حامل های بار
- سوق این حامل های بار تحت یک میدان الکتریکی داخلی
- جمع آوری حامل های بار در اتصالات قطعه
- آشکارسازی بارها و سیگنال

- 1 . Space- related Spectroscopy
- 2 . Optical Interconnection
- 3 . Bandwidth
- 4 . Efficiency
- 5 . Saturation Power
- 6 . Dark current
- 7 . Modulation
- 8 . Optical Switches

اولین مرحله متضمن این نکته است که به منظور تولید جفت الکترون-حفره، انرژی فوتون باید بزرگتر از انرژی باند گاف مواد نیمه هادی^۱ باشد، $h\nu \geq E_g$ ، که ν فرکانس فوتون^۲ است. سیستم های با مواد گوناگون برای آشکارسازی طول موج های مختلف با توجه به مقادیر خاص باند گافشان بکار گرفته می شوند. معمولاً برای ارتباطات فیبر نوری، سیستم مادی GaAs برای آشکارسازی طول موج کوتاه (مانند 800nm) برای انتقال در مسافت های کوتاه استفاده می شود.

دو گروه اصلی از آشکارسازهای نوری معمولاً بکار برده می شوند: آشکارسازهای نوری حرارتی^۳ و آشکارسازهای نوری فوتوالکتریکی^۴. آشکارسازهای نوری حرارتی به دلیل سرعت پایینشان کاربرد چندانی در فوتونیک^۵ ندارند. یک گروه اصلی از آشکارسازهای نوری فوتوالکتریکی که در فصل بعد به تفصیل به آنها خواهیم پرداخت، آشکارسازهای نوری نیمه هادی می-باشند که شامل سه نوع اصلی، فوتورسانها^۶، دیودهای نوری p-i-n^۷ و دیودهای نوری بهمنی^۸ (APDs) می باشند، که نوع اول و سوم بهره داخلی دارند و نوع دوم پهنای باند وسیعی از خود نشان می دهد. در چند دهه اخیر آشکارسازهای نوری پیوندی نیمه هادی با سرعت بالا توسعه یافته اند، که از آن جمله می توان به آشکارسازهای نوری فلز-نیمه هادی-فلز^۹ (MSM) و آشکارسازهای نوری فلز-نیمه هادی-فلز پس دریچه دار شده^{۱۰} (BGMSM) اشاره کرد. یک آشکارساز نوری فلز-نیمه هادی-فلز معمولی (MSM) شامل دو تماس شتاکتی روی یک سطح تابش می باشد، آشکارسازهای نوری (BGMSM) با اضافه کردن تماس اهمی سوم، تماس پس دریچه، به یک (MSM) معمولی ساخته می شود. آشکارساز-نوری فلز-نیمه هادی-فلز پس دریچه دار شده ای که در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته شده، با اضافه کردن یک لایه P، GaAs آلاینده شده به یک i-GaAs MSM معمولی ساخته می شود، این ساختار ترکیب موثری از یک MSM معمولی و یک دیود p-i-n می باشد که تماس پس دریچه برای بیرون کشیدن حفره ها از لایه فعال آن بکار برده می شود و به این ترتیب سرعت پاسخ آشکارساز افزایش می یابد.

-
- 1 . Semiconductor
 - 2 . Photon
 - 3 . Thermal Photodetectores
 - 4 . Photoelectric Photodetedtores
 - 5 . Photonic
 - 6 . Photoconductor
 - 7 . P-i-n Photodiode
 - 8 . Avalanch Photodiode
 - 9 . Metal- Semiconductor- Metal
 - 10 . Back- Gated Metal- Semiconductor- Metal

در فصل سوم رفتار آشکارساز نوری (BGMSM) در حالت تعادل (بدون اعمال ولتاژ به اتصالات) بررسی می شود که بدین منظور معادله پواسون¹ برای قطعه با استفاده از روش تکرار نیوتن حل می گردد و پتانسیل - الکتروستاتیک آن شبیه سازی می شود. در فصل چهارم رفتار آشکارساز نوری (BGMSM) در حالت پایا (با اعمال ولتاژ به اتصالات) بررسی می شود که بدین منظور سه معادله دیفرانسیل جزئی جفت شده، معادله پواسون و معادلات پیوستگی الکترون و حفره، با استفاده از روش تکرار نیوتن بطور همزمان و با هم حل می شوند. در هر کدام از این معادلات هر سه پارامتر پتانسیل و چگالی الکترون و حفره به عنوان مجهول در نظر گرفته شده و با حل این دسته معادلات بطور جفت شده، پتانسیل الکتروستاتیک و چگالی های الکترون و حفره بدست می آیند. با استفاده از این پارامترها، پارامترهای وابسته ی مفید دیگری از جمله پتانسیل های شبه فرمی الکترون و حفره محاسبه می گردند. در نهایت مشخصه ولتاژ - جریان آشکارساز نوری (BGMSM) با اعمال ولتاژهای مختلف به قطعه و با استفاده از رابطه چگالی جریان الکترون ها و حفره ها شبیه سازی می - گردد.

¹ . Poisson 's Equation
² . I-V Characteristic

فصل دوم

آشنایی با آشکارسازهای
نوری و چگونگی عملکرد آنها

۱-۲ - مقدمه

آشکارسازهای نوری بطور گسترده ای در سیستم های انتقال فیبر نوری و همچنین در اندازه گیری های نوری بکار برده می شوند. مهمترین آشکارسازهای نوری، آشکارسازهای نوری نیمه هادی هستند.

در این فصل انواع مختلف آشکارسازهای نوری نیمه هادی، نحوه ی عملکرد و ویژگی های آنها از قبیل: سرعت پاسخ (پهنای باند)، طول موج آشکارسازی، بهره^۱ و حساسیت^۲ آنها بررسی شده است. عملکرد همه آشکارسازهای نوری نیمه هادی بر اساس خواص پیوندها می باشد، عمومی ترین پیوند، پیوند p-n می باشد که از دو نوع نیمه هادی n و p شکل می گیرد، از اینرو در این بخش اصول پیوند p-n بررسی می گردد.

از آنجاییکه هدف در این پایان نامه تعیین مشخصه جریان-ولتاژ آشکارساز نوری فلز-نیمه هادی-فلز-پس در پیچه دار شده BGMSM می باشد و این آشکارسازهای نوری نیز یک قطعه پیوندی است که از نیمه هادی نوع n با آلودگی کم و زیاد و نیمه هادی نوع p تشکیل شده است، روابط حاکم بر مشخصه جریان-ولتاژ یک پیوند p-n به عنوان اساس کار بررسی شده است.

۲-۲ - پیوند p-n در حالت تعادل

برای تشکیل پیوند p-n ناخالصی ها^۳ را به گونه ای اضافه می کنند که هر دو نوع ناحیه بطور همزمان در یک نیمه هادی وجود داشته باشد، مرز متالورژیکی بین یک ناحیه p و یک ناحیه n را پیوندگاه p-n می نامند.

فرض می کنیم پیوند p-n از کنار هم قرار دادن نواحی جداگانه نیمه هادیهای نوع n و p تشکیل می شود که به ما امکان درک شرایط ایجاد تعادل در پیوند را می دهد، شکل ۲-۱ الف [۱]. به محض اتصال دو ناحیه به دلیل وجود شیب زیاد در تراکم بارها در پیوندگاه، نفوذ بارها^۴ آغاز می شود و حفره ها از طرف p به طرف n و الکترون ها از طرف n به طرف p نفوذ می کنند، شکل ۲-۱ ب. در عین حال به دلیل ایجاد یک میدان الکتریکی مخالف در محل پیوند، نفوذ بارها دایمی نخواهد بود و یک ناحیه بارفضای مثبت در نزدیکی ناحیه n پیوند و یک ناحیه بارفضای^۵ منفی در طرف p بوجود می آید.

جهت میدان الکتریکی حاصل، از بار مثبت به طرف بار منفی است، بنابراین میدان یک مولفه رانشی^۶ جریان از n به p در

- 1 . Gain
- 2 . Sensitivity
- 3 . Impurities
- 4 . Charge Carrier
- 5 . Space Chrg Region
- 6 . Drift Current Companent