بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشگاه آزاد اسلامی**

**واحد تهران مرکزی**

**دانشکده فنی و مهندسی، گروه برق**

**پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.SC)**

**گرایش: الکترونیک**

**عنوان :**

# مدلسازی و تحلیل جریان و توان آشکارساز نوری تک حاملی Mr-UTC-PD با کارکرد مخابرات

**استاد راهنما :**

**دکتر غلامرضا عبائیانی**

**استاد مشاور :**

**دکتر علیرضا کاشانی نیا**

**پژوهشگر :**

**نفیسه السادات قریب**

**زمستان ۱۳۹۰**

معاونت پژوهش

به نام خدا

منشور اخلاق پژوهش

**با یاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری ما دانشجویان و اعضای هیئت علمی واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:**

۱- اصل برائت: التزام به برائت جویی از هر گونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی حوزه علم و پژوهش را به شائبه های غیر علمی می آلایند.

۲- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هر گونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.

۳- اصل ترویج: تعهد به رواج و دانش و اشاعهٔ نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.

٤- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هر گونه حرمت شکنی.

۵- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.

٦- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمانها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.

۷- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هر گونه پنهان سازی حقیقت.

۸- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش.

۹- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش

تقدیم به بهترین های زندگیم

خانواده عزیزم

# سپاس


از جناب آقای دکتر غلامرضا عبائیانی

استاد محترم راهنما به دلیل ارشادات، راهنمایی و نظرات ارزشمندشان در طول مراحل پژوهش

و جناب آقای دکتر علیرضا کاشانی نیا

استاد مشاور جهت رهنمودهای دانیانه کمال تشکر را دارم.

**تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد**

اینجانب **نفیسه السادات قریب** دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته به شماره دانشجویی **۸۷۰۸۴۶۴۷۰۰۰** در رشته **برق- الکترونیک** که در تاریخ ۹۰/۱۲/۰۳ از پایان نامه خودتحت عنوان:

**مدلسازی و تحلیل جریان و توان آشکارساز نوری تک حاملی حلقوی Mr-UTC-PD با کارکرد مخابرات و مایکرویو نوری**

با کسب نمره و درجه دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم :

۱-این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در موارد که دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه ،کتاب،مقاله و...) استفاده نموده ام ،مطابق ضوابط و رویه‌های موجود نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده ام .

۲- این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح ،پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است .

۳-چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره بردرای اعم از چاپ کتاب،ثبت اختراع و... از این پایان نامه داشته باشم ، از حوزه معاونت پژهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم .

۴-چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت .

نام و نام خانوادگی :

تاریخ و امضاء

**بسمه تعالی**

در تاریخ :**۹۰/۱۲/۳۰**

دانشجوی کارشناسی ارشد **نفیسه السادات قریب** از پایان نامه خود دفاع نموده و با نمره

بحروف و با درجه مورد تصویب قرار گرفت .

امضاء استاد راهنما

**آزاد اسلامی – واحد تهران مرکزی**

**دانشکده فنی ومهندسی**

××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××××

**(این چکیده به منظور چاپ در پژوهش نامه دانشگاه تهیه شده است)**

| | |
|---|---|
| نام واحددانشگاهی : تهران مرکزی کد: ۱۰۱ | کدشناسائی پایان نامه: ۱۰۱۴۰۱۰۱۹۰۱۰۱۹ |
| عنوان پایان‌نامه : **مدلسازی و تحلیل جریان و توان آشکارساز نوری تک حاملی حلقوی Mr-UTC-PD با کارکرد مخابرات و مایکروویو نوری** | |
| نام ونام خانوادگی دانشجو: نفیسه سادات قریب<br>شماره دانشجویی : ۸۷۰۸۴۶۴۷۰۰۰<br>رشته تحصیلی: برق والکترونیک | تاریخ شروع پایان نامه: ۸۹/۱۱/۰۳<br>تاریخ اتمام پایان نامه: ۹۰/۱۲/۰۳ |
| استاد / استادان راهنما: دکتر غلامرضا عبائیانی<br>استاد / استادان مشاور: دکترعلی رضا کاشانی نیا | |

**چکیده پایان نامه (شامل خلاصه، اهداف، روش های اجرا و نتایج به دست آمده):**

در این تحقیق، مشخصه های جریان، توان و بازده کوانتومی در آشکارساز تک حاملی UTC-PD بررسی می شود و در ادامه پهنای باند در ساختار تک حاملی p-Ge/i-Si/n-Si مورد بررسی قرار می گیرد. در نهایت، با طراحی ساختار آشکارساز حلقوی تک حامل رونده p-Ge/i-Si/n-Siدر فرکانسهای بالا با ویژگی های جریان و توان اشباع بالا، بازده ی کوانتومی بالا، پهنای باند وسیع و پاسخ طیفی انتخابی و تنظیم پذیر، گام نوینی در صنعت آشکارسازهای نوری سریع پرتوان برداشته شد. مدل ارائه شده برای ساختار p-Ge/i-Si/n-Si MR-UTC-PD مدلی ساده متشکل شده از ساختار p-Ge/i-Si/n-Si و موجبر حلقوی که به موجبر مستقیم تزویج شده، می باشد. این الگو مبتنی بر نظریه ی تزویج مد است و مشخصه های آن در حالت خطی و ایده آل مورد بررسی قرار می گیرند. لایه ی جذب این ساختار از جنس P-Ge و لایه ی کلکتور آن از جنس i-Si می باشد، چنین ساختاری درسیستم های مخابراتی فیبر نوری مورد استفاده قرار می گیرد.

پاسخ نوری آشکارسازهای p-Ge/i-Si/n-Si MR-UTC-PD بر پایه ی مدل رانشی-نفوذی بدست آمده که از رابطه بدست آمده جهت استخراج روابط مربوط به پاسخ فرکانسی و بازده کوانتومی استفاده می شود. ضریب تحدید نوری ساختار ۳ لایه ی این آشکارساز بر پایه ی روش عددی ماتریس انتقال (TMM) بدست آمده و مدلسازی عرض باند این آشکارساز نوری بر پایه ی مدل ارائه شده ی عرض باند آشکارسازهای حلقوی می باشد. همچنین با استفاده از این ساختار، مشکل چالشهای موجود، میان بازده و پهنای باند تا حدود زیادی برطرف می شود، بگونه ای که در فرکانسهای چند صد گیگاهرتز، بازده کوانتومی بیشتر از ۰,۹۵ به دست آمده است. تحلیل و آنالیز مشخصه های خروجی این آشکارساز در حالت تزویج بحرانی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در حالت تزویج بحرانی، بازده بیشینه و ساخت عملی آسانتری حاصل می شود. بر اساس مراحل طراحی، مبنای ترتیب پارامترهای مختلف به صورت شعاع موجبر حلقوی، حالت تزویج مشخص و سطح مقطع ارائه شده است.

نظر استاد راهنما برای چاپ درپژوهش نامه دانشگاه مناسب است ☐ تاریخ وامضا:

مناسب نیست ☐

**فهرست مطالب**

**عنوان** **صفحه**


فصل اول:مقدمه

۱-۱ پیشگفتار ..... ۲

۱-۲ تاریخچه ..... ۳

۱-۳ شیوه های نوین در آشکارسازی ..... ۵

۱-۴ تکنولوژی فوتونیک سیلیکنی ..... ۶

۱-۵ هدف از انجام تحقیق..... ۶

۱-۶ ساختار تحقیق..... ۷

فصل دوم:بررسی عملکرد آشکارسازهای نوری UTC-PD

۲-۱ مقدمه ای بر آشکارسازهای نوری سریع پر توان..... ۱۰

۲-۲ تحلیل ساختار آشکارساز نوری UTC-PD ..... ۱۱

۲-۳ اشباع خروجی ..... ۱۶

۲-۴ اثر میدان داخلی ..... ۲۰

۲-۵ مدل کنترل بار جریان نوری ..... ۲۲

۲-۶ فرکانس قطع $\boldsymbol{3-dB}$ بر حسب جریان نوری در UTC-PD ..... ۲۵

۲-۷ بازده ی کوانتومی آشکارساز نوری UTC-PD ..... ۲۷

فصل سوم:آشکارسازهای فوتونیک سیلیکونی

۳-۱ مقدمه ای بر آشکارسازهای نوری مادون قرمز Ge در فوتونیک سیلیکونی ..... ۳۱

۳-۲ بررسی ادوات فعال نوری Ge در فوتونیک سیلیکونی ..... ۳۲

۳-۳ فرکانس کار آشکارساز نوری Ge pin PDs..... ۳۴

۳-۵ افزایش فرکانس کار با ساختار UTC-PD ..... ۴۴

فصل چهارم:آشکارساز حلقوی UTC-PD

۴-۱ ویژگی های نوری ..... ۵۳

۴-۲ مدلسازی آشکارساز حلقوی..... ۵۴

۴-۳ پاسخ حالت دائمی پیوسته ..... ۵۶

۴-۴ مدلسازی عرض باند نوری ..... ۶۱

۴-۵ مدلسازی پایه آشکارساز نوری MR-UTC-PD ..... ۶۶
فصل پنجم:طراحی تحلیلی آشکارساز حلقوی تک حاملی p-Ge/i-Si/n-Si
۵-۱ معرفی ساختار MR-UTC-PD ..... ۷۳
۵-۲ محاسبه ضریب تحدید نوری به روش ماتریس انتقال ..... ۷۴
۵-۳ بررسی عملکرد ساختار MR-UTC-PD ..... ۷۷
۵-۴ پارامتر های مورد نیاز در طراحی ..... ۸۴
فصل ششم:نتیجه گیری و پیشنهادات
۶-۱ نتیجه گیری ..... ۸۷
۶-۲ پیشنهادات ..... ۹۲
فهرست مراجع ..... ۹۳

**فهرست جداول**

**عنوان** **صفحه**

جدول۳-۱:خواص Si و Ge [۳] ..... ۴۱
جدول۵-۱:پارامترهای مورد نیاز در طراحی آشکارساز MR-UTC-PD ..... ۸۴
جدول ۵-۲: مقایسه عملکردآشکارسازهای UTC-PD و MR-UTC-PD در حالت تزویج بحرانی ۸۵

## فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


شکل۲-۱: نوار انرژی آشکارساز نوری UTC-PD [۵] ..... ۱۳
شکل۲-۲:تغییرات پهنای باند $f_{3dB}$ آشکارساز های PiN-PD و UTC-PD بر حسب ضخامت لایه جذب($W_C = ۲۰۰\sim۳۰۰nm$)[۵] ..... ۱۵
شکل۲-۳:نمودار تغییر نوار انرژی در جریانهای ورودی بالا در (الف)PiN-PD و (ب)UTC-PD [۲۳] ..... ۱۶
شکل۲-۴:چگالی جریان بر حسب ولتاژ اعمالی در آشکارسازهایUTC-PDو PiN-PD [۵] ..... ۱۸
شکل ۲-۵: پاسخ پالسی (الف) PiN-PD و (ب)UTC-PD ..... ۱۹
شکل۲-۶:تغییرات جریان خروجی بر حسب ولتاژ کار [۵] ..... ۲۰
شکل ۲-۷:پهنای باند بدست آمده از تبدیل فوریه پاسخ پالسی [۵] ..... ۲۲
شکل۲-۸:نحوه تولید و شار حاملها در یک آشکارسازنوری [۵] ..... ۲۳
شکل۲-۹:پروفایل چگالی الکترون در لایه جذب UTC-PD با $p_0 = ۱ \times ۱۰۱۸/cm^3$ [۵] ..... ۲۶
شکل۲-۱۰: تغییرات سیگنال کوچک پهنای باند بر حسب جریان نوری در UTC-PD با استفاده از مدل کنترل بار [۵] ..... ۲۷
شکل۳-۱:مدار معادل استفاده شده برای محاسبه فرکانس کار آشکارساز نوری Ge PDs [۳] ..... ۳۵
شکل۳-۲:شماتیک دیاگرام باند شامل حاملهای تولیدی از جذب نور (الف) در آشکارساز نوری Ge pin PDs، (ب) مدل ساده شده ای برای تحلیل فرکانسی [۳] ..... ۳۷
شکل۳-۳:فرکانس قطع ۳-dB بر حسب ضخامت لایه i-Ge در آشکارساز نوری Ge pin PDs بدون در نظر گرفتن جریان نفوذی لایه های p و n [۳] ..... ۴۲
شکل۳-۴: فرکانس قطع ۳-dB بر حسب ضخامت لایه i-Ge با در نظر گرفتن جریان های نفوذ و همچنین شکست میدان با ولتاژ بایاس معکوس $۱v$ [۳] ..... ۴۴
**شکل۳-۵: ساختار آشکارسازهای نوری Ge pin –PDs و p-Ge/i-Si/n-Si [۳]** ..... ۴۵
**شکل۳-۶:دیاگرام باند آشکارساز نوری p-Ge/i-Si/n-Si [۳]** ..... ۴۶
**شکل۳-۷: فرکانس قطع ۳-dB بر حسب ضخامت i-Si در آشکارساز نوری p-Ge/i-Si/n-Si [۳]** ..... ۴۷

**شکل۳-۸: توزیع میدان الکتریکی از بخش های متقاطع در انتشار نور CW مد TE توسط لایه های Si و Ge که توسط روکش فلزی $Sio_2$ احاطه شده[۳]** ..... ۴۹
**شکل۳-۹:تغییرات جذب نوری بر حسب طول ساختار Ge/Si [۳]** ..... ۴۹
شکل ۴-۱:توان نور ورودی بر حسب ضخامت لایه جذب [۱۰] ..... ۵۳
شکل۴-۲:الگوی تحلیلی ساختار آشکارساز حلقوی[۱۰] ..... ۵۴
**شکل ۴-۳: پاسخ طیفی میدان های ورودی و چرخشی در موجبر حلقوی [۱۰]** ..... ۵۵
**شکل ۴-۴ : پاسخ طیفی موجبر حلقوی UTC-PD در حالت تزویج بحرانی ($Reff = ۵\mu m$ و $nr = ۳.۴۵$)** ..... ۵۸
شکل۴-۵: تغییرات بازده کوانتومی آشکارساز حلقوی بر حسب ضریب تزویج، برای چند ضریب جذب موثر ..... ۶۰
شکل ۴-۶: تغییرات بازده کوانتومی آشکارساز حلقوی بر حسب ضریب تزویج، برای چند شعاع مختلف ..... ۶۰
شکل۴-۷:تغییرات عرض باند نوری بر حسب جذب موثر ($\Gamma\alpha$) برای سه حالت شعاع موجبر حلقوی ( $\boldsymbol{Reff = 3\mu m, 6\mu m, 10\mu m}$) در سه حالت (الف)تزویج بحرانی،(ب) فراتزویج و (ج)فروتزویج ..... ۶۴
شکل ۴-۸: تغییرات عرض باند نوری بر حسب شعاع موثر ($Reff$) برای سه حالت جذب موثر ( $\Gamma\alpha = ۱۴۰,۲۲۰,۳۴۰cm - ۱$) در سه حالت (الف)تزویج بحرانی،(ب) فراتزویج و (ج)فروتزویج ..... ۶۶
شکل ۴-۹: مدلی از آشکارساز نوری UTC-PD [۴] ..... ۶۷
شکل۴-۱۰: پاسخ فرکانسی آشکارساز P-Ge/i-Si/n-Si UTC-PD معمولی و حلقوی ..... ۶۹
شکل۴-۱۱: فرکانس قطع ۳dB بر حسب ضخامت i-Si در p-Ge/i-Si/n-Si MR-UTC-PD ... ۶۹
شکل۴-۱۲:بازده کوانتومی بر حسب پهنای باند ۳-dB در p-Ge/i-Si/n-Si MR-UTC-PD ..... ۷۰
شکل ۵-۱:طرحواره ساختار آشکارساز p-Ge/i-Si/n-Si MR-UTC-PD ..... ۷۳
شکل۵-۲: ساختار آشکارساز نوری p-Ge/i-Si/n-Si ..... ۷۴
شکل۵-۳:پاسخ طیفی MR-UTC-PD در حالت تزویج بحرانی ..... ۷۸
شکل۵-۴:تغییرات ضریب انباشتگی توان بر حسب طول موج در ساختار MR-UTC-PD ..... ۷۸
شکل۵-۵:تغییرات عرض باند کلی بر حسب ضخامت لایه i-Si در MR-UTC-PD ..... ۷۹

شکل ۵-۶: فرکانس قطع ۳dB بر حسب ضخامت i-Si در p-Ge/i-Si/n-Si MR-UTC-PD .... ۸۰
شکل۵-۷: فرکانس قطع ۳dB بر حسب تغییرات ضریب تحدید نوری در MR-UTC-PD..... ۸۱
شکل۵-۱۰:تغییرات حاصلضرب پهنای باند – بازده بر حسب ضریب تحدید نوری در MR-UTC-PD ..... ۸۳
شکل۵-۹: تغییرات بازده کوانتومی بر حسب ضریب تحدید نوری در MR-UTC-PD ..... ۸۲
شکل۵-۸: فرکانس قطع ۳dB بر حسب ضریب تحدید نوری در MR-UTC-PD ..... ۸۱

# فصل اول

# مقدمه

## ۱-۱ پیشگفتار

با اختراع لیزر و پس از آن ساخت فیبر نوری، حوزه شاخه اپتیک در فیزیک آنقدر گسترده گردید و کاربردهای آن آنقدر زیاد شد که شاخه ای جدید در علم متولد گردید که به فوتونیک موسوم گردید. پیشرفت روز افزون تکنولوژی و ساخت قطعات الکترونیکی کوچکتر تا به آنجا ادامه یافته است که امروزه پیش بینی می شود که در چند سال آینده دیگر نتوان قطعاتی از این کوچکتر ساخت که قادر به عبور جریان الکتریسته باشد به گونه ای که در آنها عبور یک الکترون برابر خواهد بود با برقراری جریان و عدم عبور آن یعنی قطع جریان الکتریکی، این مسئله باعث شده تحلیل مدارات، دیگر از حوزه الکترونیک خارج شده و بررسی چنین سیستمی بر عهده مکانیک کوانتوم نهاده شود که دارای مشکلات خود می باشد. این امر باعث شده تا دانشمندان به فکر جایگزینی برای الکترون بیفتند تا مشکلات الکترون را نداشته باشد و در اولین گزینه ها فوتون یعنی کوانتای نور را جایگزینی مناسب یافتند، پس از این پس باید به دنبال ساخت ادواتی بود که جای ادوات الکترونیکی را در مدارات بگیرد و در آنجا فوتون نقش اساسی را بازی کند.

امروزه نور با روش های مختلف زندگی ما را چنان تحت تاثیر قرار داده است که تا چند دهه ی پیش به ذهنمان خطور هم نمی کرد. نور در آینده نقش مهمتری خواهد یافت. از جمله با فراهم کردن مقدمات انقلاب مخابرات فیبر نوری در جهان شرایطی جدی در کاربرد پزشکی، زیست فناوری، حس گرهای نوری ایجاد خواهد کرد.

پیشرفت هایی که در سیستم های فوتونیک با پهنای باند بالا و فرکانس بالا نظیر سیستم های مخابراتی فیبر نوری، سیستم های مخابراتی فیبر رادیویی بی سیم و سیستم های اندازه گیری فرکانس بالا صورت گرفته است، نیازمند گسترش نوینی در عملکرد ادوات می باشد. آشکارسازهای نوری که مبدل سیگنال نوری به الکتریکی می باشند، عنصر کلیدی این سیستم ها به شمار می روند. بازده بالا، اساسی ترین عامل مورد نیاز در آشکارسازهای نوری می باشد و هر چه سیستم ها پر سرعت تر شوند، نیاز به بازده بالا از اهمیت بیشتری برخوردار می شود. همچنین، آشکارسازهای سریع با بازده کوانتومی بالا، عملکرد سیستم های مخابراتی

فیبر نوری را تحت تاثیر خود قرار می دهند. از این رو، انگیزه اصلی در گسترش آشکارسازهای نوری، تولید آشکارسازهای نوری سرعت بالا، برای تولید جریان خروجی بالا و همچنین افزایش حاصل ضرب پهنای باند – بازده و ایجاد توازن میان این دو پارامتر می باشد. این نکته حائز اهمیت می باشد که آشکارسازهای نوری ای که تمام ویژگی های فوق الذکر را داشته باشند اما به دلیل هزینه بالای مواد مورد نیاز قابل ساخت نباشند، مناسب نمی باشد. بنابراین هدف دیگر این تحقیق، توسعه آشکارسازی می باشد که با کمترین هزینه ویژگی های مذکور را نیز داشته باشد.

## ۱-۲ تاریخچه

پهنای باند و بازده کوانتومی از جمله اصلی ترین ویژگیهای آشکارسازهای نوری پر سرعت می باشند علاوه بر این توان بالای یک آشکارساز در گسترش پهنای باند و تنظیم پذیری فرکانس آن از اهمیت بسیاری برخوردار است. زیرا ترکیب توان خروجی بالای آشکارساز و تقویت کننده فیبر نوری موجب حذف پس تقویت کننده های الکترونیکی[۱] و گسترش پهنای باند کل سیستم می شود. استفاده از چنین پیکره بندی نوینی در سیستم گیرنده نوری؛ هم چنین موجب سادگی سیستم می شود. پهنای باند نوری بالا در گیرنده های نوری با نرخ بیت بالاتر از ۴۰ Gbit/s پر کاربرد می باشد[۱-۲]. بازده ی تقویت کننده ای با باند باریک، معمولا از تقویت کننده ای با باند پهن، بالاتر می باشد. افزایش خروجی در امواج میلیمتری/میکرومتری گیرنده های نوری برای توسعه نرخ S/N مفید می باشد. افزایش خروجی در جریانهای بالای آشکارساز نوری صورت می گیرد. معمولا جریان اشباع خروجی توسط اشباع میدان صورت می گیرد. از طرف دیگر اشباع میدان از افزایش جنبش بار القا شده در لایه تخلیه نشأت می گیرد. از آنجاییکه این اشباع زمانی اتفاق می افتد که چگالی جریان به میزان خاصی برسد و از طرفی جریان بالاتر مستلزم ناحیه پیوندگاه پهن تر می باشد در نتیجه پهنای باند کاهش می یابد[۳].

افزایش ولتاژ معکوس، جریان اشباع را افزایش می دهد و در ضمن مشکلات گرمای داخلی و قابلیت اطمینان را نیز به همراه دارد. برای غلبه بر این مشکلات و افزایش پهنای باند ساختار موج رونده (TW)

[۱] Post Amplifier

مطرح شد که نتایج موفقیت آمیزی برای این ساختار که سرعت آن با آشکارساز نوری MSM یکسان شده بود، گزارش شده است اما در این ساختار به علت توزیع نصف توان در بار، بازده کاهش می یابد[۳].

راه دیگر افزایش جریان اشباع، توسعه ساختار داخلی آشکارساز می باشد. اشباع خروجی از اثر فضای بار ناشی می شود، بنابراین سرعت اشباع بالای حامل از پارامتر های کلیدی می باشد. الکترون ها به کمک اثر اورشوت، سرعت بالایی دارا می باشند. از طرف دیگر حفره ها، سرعت اشباع پایین تری دارند. مشکل PiN-PD سرعت پایین حفره ها می باشد که به عنوان حامل غالب فعال می باشد. آشکارساز نوری تک حامل رونده (UTC-PD)[۱] از جمله آشکارسازهای سریع و پر توانی می باشد که ساختار آن نخستین بار در سال ۱۹۹۷ مطرح شده است. این آشکارساز نوری بیشترین جریان خروجی را توسط حذف اثر انتقال حفره ها فراهم می نماید. جریان خروجی UTC-PD، چندین برابر PiN-PD می باشد، بنابراین پاسخ نوری سریع، حتی در ولتاژ بایاس کوچک و کمترین گرمای خودی و با نگاه داشتن ولتاژ شناور بالا ایجاد می شود. با در اختیار داشتن این ویژگی ها، یک گیرنده نوری ۴۰ Gbit/s و یا حتی ۱۶۰Gbit/s، به طور مستقیم مدولاتورهای الکترونیکی و نوری سرعت بالا را راه اندازی می نماید[۴].

مدارات مجتمع یکپارچه UTC-PD والکترونیکی سرعت بالا نتایج بالاتر از ۸۰ Gbit/S را ثبت کرده اند. آشکارساز نوری UTC-PD آشکارساز جدیدی می باشد که در آن تنها الکترونها به عنوان حاملهای فعال شرکت می کنند. این ویژگی منحصر بفرد باعِث فراهم آوردن همزمان دو ویژگی برجسته سرعت بالا و توان بالا شده است. پهنای باند ۳dB، ۳۱۰ GHz ثبت شده و توان خروجی موج میلیمتری در فرکانس ۱۰۰GHz بالاتر از ۲۰mW برای این ساختار گزارش شده است[۴]. توانایی بالای UTC-PD برای تولید سیگنالهای الکتریکی با بالاترین نرخ بیت می تواند به خوبی توان خروجی بالای RF در رنج میلیمتری یا زیر میلیمتری باشد. این امر منجر به نوآوری هایی در سیستمهای مختلف، ارتباطات نوری، سیستمهای ارتباطی بی سیم و سیستمهای اندازه گیری فرکانس بالا می شود. همچنین قابلیت اطمینان بالا و برقراری پایداری از فواید UTC-PD برای کاربرد در سیستمها می باشد. آشکارسازهای نوری UTC-PD زمینه تولید آشکارسازهای نوری سرعت بالا، برای تولید جریان خروجی بالا ایجاد کرده است. با توجه به اینکه

[۱] Uni-Traveling Carrier Photodiode

در آشکارساز UTC-PD تنها الکترون ها به عنوان حامل فعال در لایه تخلیه می باشند و در واقع اثر حفره ها حذف شده است، ماکزیمم جریان اشباع بالا بدست می آید. پهنای باند آشکارساز نوری UTC-PD، نیز با افزایش چگالی جریان نوری افزایش می یابد، از آنجاییکه افزایش چگالی جریان نوری باعث افزایش میدان القا شده داخلی در لایه جذب می شود، انتقال الکترون ها از نفوذ به رانشی تبدیل می شود و افزایش پهنای باند آشکارساز نوری محقق می شود[۵].

## ۱-۳ شیوه های نوین در آشکارسازی

نیاز روز افزون به افزایش ظرفیت انتقال در ارتباطات مخابراتی و شبکه های دسترسی که بر مبنای فیبر نوری سیلیکونی می باشند، موجب می شود تا منابع نوری و گیرنده های نوری با کارایی بالا، توسعه یابند. مخصوصا در سیستم های مدولاسیون توزیع شده طول موج (WDM) کاربرد بسیاری داند. استفاده از آشکارساز های معمولی نظیر PiN در فرکانسهای بالا موجب کاهش سرعت آشکارساز در توان های نوری بالا می شود. آشکارسازهای نوری MSM منجر به کاهش سرعت پاسخ دهی ناشی از میدان الکتریکی پائین در سطح زیرین الکترودها می شود. در دهه ۱۹۶۰ دیودهای نوری عمودی (VPD) ساخته شد که وابستگی شدیدی بین سرعت و بازده آن وجود دارد ولی این وابستگی در ساختارهای از نوع موجبری (WGPD) که در اواخر دهه ۱۹۸۰ مطرح شده اند، از بین رفته است[۶-۷]. آشکارسازهای نوری موجبری با پهنای باند ۵۰GHz و بازده کوانتومی ۴۰٪ در طول موج ۱,۵۳ میکرون طراحی شده است. در واقع در ساختار موجبر نوری، با کاهش ضخامت لایه جذب سرعت پاسخ افزایش یافته و با افزایش طول، بازده بهبود می یابد. نسل بعدی ساختارهای پایه آشکارساز نوری، ساختارهای تشدید گر و کاواک عمودی (RCEPD)[۱] می باشد[۸-۹]. در این نوع ساختارها برای بهبود بازده کوانتومی آشکارسازها، از آینه های براک در لایه جذب نازک استفاده می شود. البته ساخت آینه ها و رشد مواد در این ساختار مشکل می باشد. استفاده موثر از کاواک نوری در ساختار آشکارساز نوری یکی از راهکارهای اساسی برای دستیابی به حداکثر جذب در حداقل حجم ناحیه فعال و در نتیجه بهینه سازی همزمان بازده و سرعت آن می باشد. پیاده سازی این نظریه

[۱] Resonant Cavity Enhanced Photodetector

با استفاده از ساختار موجبر حلقوی امکان پیدایش ساختار نوری جدیدی متشکل از موجبر و تشدیدگر نوری را فراهم می سازد و حوزه جدید و نسبتا گسترده ای را در طراحی انواع آشکارسازهای نوری پدید می آورد. چنین آشکارسازی، که آن را آشکارساز نوری حلقوی می نامیم، نخستین بار در سال ۲۰۰۶ طراحی و مدلسازی شد[۱۰]. این آشکارساز، در بر گیرنده ویژگی های اساسی دو ساختار WGPD و RCEPD است و بطور همزمان امکان کاهش ضخامت و سطح لایه جذب را فراهم می سازد. علاوه بر این، ساختارهای حلقوی دارای پاسخ طیف انتخابی تنظیم پذیر ی هستند که از نظر کاربرد در سیستم های مالتی پلکس (WDM)[۱] بسیار ارزشمند است.

## ۱-۴ تکنولوژی فوتونیک سیلیکنی

تکنولوژی "فوتونیک سیلیکنی[۲]"، اجتماع ادوات فوتونیک و الکترونیک واقع بر یک تراشه سیلیکون می باشد. این تکولوژی تنها در ارتباط بین فرستنده و گیرنده های نوری در فواصل نسبتا نزدیک، همانند فرستنده به فرستنده و تراشه به تراشه کاربرد ندارد بلکه در ارتباطات نوری روی تراشه از قبیل ارتباطات واحد پردازش مرکز و همچنین در توسعه سنسورهای زیستی نوری نیز کاربرد دارد. در واقع ساخت تجهیزات نوری باید با فرآیند ساخت CMOS، مطابقت داشته باشد، زیرا فرآیند CMOS منجر به ساخت مدارات مجتمع فوتونیک-الکترونیک، با هزینه کمتر می شود[۱۱]. با توجه به پهنای باند بالای آشکارسازهای نوری مادون قرمز Ge روی Si و همچنین فراوانی سیلیکون که هزینه پایینی را به همراه دارد، این تکنولوژی بسیار مورد توجه قرار گرفته است[۳].

## ۱-۵ هدف از انجام تحقیق

پس از بررسی و مطالعه تکنولوژی فوتونیک سیلیکونی و انواع آشکارسازهای نوری و الکترونیکی آشکارسازهای نوری این نتیجه حاصل شده است که با وجود فعالیت هایی که در راستای ایجاد توازن میان پهنای باند-بازده و همچنین دستیابی به جریان اشباع خروجی بالا صورت گرفته، اما هنوز ساختاری ساده

[۱] Wavelength Division Multiplexing
[۲] Silicon Photonics