

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده برق و کامپیوتر

رساله دوره دکتری مهندسی برق - الکترونیک

تحلیل و طراحی آشکارساز نوری بهمنی (APD) به روش مونت کارلو

محمد سروش

استاد راهنما:

دکتر محمد کاظم مروج فرشی

استاد مشاور:

دکتر کامیار تقفی

شهریورماه ۱۳۸۸

تأییدیه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی رساله آقای: محمد سروش را با عنوان: تحلیل و طراحی آشکارساز نوری بهمنی (APD) به روش مونت کارلو از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه دکتری تأیید می کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
			۱- استاد راهنما
			۲- استاد مشاور
			۳- استاد ممتحن
			۴- استاد ممتحن
			۵- استاد ممتحن
			۶- استاد ممتحن
			۷- نماینده گروه

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:
«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محمد سروش دانشجوی رشته برق- الکترونیک مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱: حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲: انتشار مقاله یا مقاله‌های مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریه‌های علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبه‌های مقاله باشد. تبصره: در مقاله‌هایی که پس از دانش‌آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳: انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴: ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵: این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:

تقدیم به:

همسر مهربانم

که زیبایی زندگی را به من آموخت.

تشر و قدردانی

شایسته است که از راهنمایی‌های بی‌دریغ استاد ارجمند جناب آقای دکتر مروج فرشی در طول دوره کارشناسی ارشد و دکتری تشکر کنم. همچنین از مساعدت، همفکری و ایده‌های جناب آقای دکتر ثقفی که راهگشای مسائل این رساله بودند تقدیر و تشکر می‌کنم.

همچنین بر خود واجب می‌دانم از اساتید گروه الکترونیک جناب آقای دکتر وحید احمدی، جناب آقای دکتر عبدالرضا نبوی و جناب آقای دکتر احسان الله کبیر قدردانی کنم.

در پایان از پدر و مادر عزیزم که همواره پشتیبان و دلسوزم بودند سپاسگزاری می‌کنم و بر دستان مهربانشان بوسه می‌زنم. امیدوارم این رساله بخش ناچیزی از تلاش‌های آنها را پاسخ داده باشد.

چکیده

در این رساله، برای محاسبه بهره و ضریب نویز اضافی افزاره آشکارساز نوری بهمنی مدلی ارائه کرده‌ایم که تابع توزیع طول یونیزاسیون برخوردی در ناحیه تکثیر همگون و ناهمگون را با دو بخش خطی و نمایی تقریب می‌زند. بر اساس این مدل، چگونگی توزیع طول یونیزاسیون برخوردی به ازای مقدارهای مختلف شدت میدان الکتریکی، کسرهای مولی و مکان پیوند ناهمگون را محاسبه می‌کنیم. این مدل علاوه بر سادگی و قابلیت گسترش به سایر روش‌های عددی، باعث کمتر شدن زمان شبیه‌سازی نسبت به روش‌های متداول در مونت‌کارلو می‌شود.

همچنین ساختار جدیدی برای آشکارسازهای $Al_xGa_{1-x}N$ پیشنهاد و طراحی کرده‌ایم که در ناحیه تکثیر، دو پیوند ناهمگون (ناپیوستگی انرژی) دارد. فکر اصلی این طراحی به محاسبه مقدار بهینه ناپیوستگی انرژی باند رسانایی در محل پیوند ناهمگون اختصاص دارد. در حقیقت، مکان اولین و دومین یونیزاسیون برخوردی الکترون‌ها را در نزدیک سطح‌های ناهمگون متمرکز می‌کنیم. با محاسبه ناپیوستگی بهینه، باقیمانده مقدار ناپیوستگی بزرگ در پیوند ناهمگون اول را به عنوان یک پیوند ناهمگون دیگر در نظر می‌گیریم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ساختار پیشنهادی نسبت به یک نمونه ساخته شده جدید حدود ۶۰ درصد ضریب نویز اضافی کمتری دارد.

کلید واژه: آشکارساز نوری بهمنی، یونیزاسیون برخوردی، روش مونت‌کارلو.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج	فهرست علایم و نشانه‌ها
د	فهرست جدول‌ها
ه	فهرست شکل‌ها
۱	فصل ۱- آشکارساز نوری بهمنی
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ آشکارساز نوری بهمنی
۵	۳-۱ بهره آشکارساز نوری بهمنی و اهمیت آن
۵	۴-۱ ضریب نویز اضافی آشکارساز نوری بهمنی و اهمیت آن
۶	۵-۱ علل انتخاب روش مونت کارلو برای شبیه‌سازی
۹	۶-۱ شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با مونت کارلو
۱۹	۷-۱ چالش‌های موجود و ارائه راهکار
۲۲	فصل ۲- مدل مونت کارلو
۲۲	۱-۲ مقدمه
۲۳	۲-۲ جذب نور
۲۳	۳-۲ انتخاب ابرذره‌ها
۲۴	۴-۲ محاسبه توزیع بارهای الکتریکی
۲۵	۵-۲ محاسبه توزیع پتانسیل الکتریکی
۲۵	۶-۲ محاسبه توزیع شدت میدان الکتریکی
۲۵	۷-۲ بازتاب و گذر از سطح ناهمگون
۲۷	۸-۲ باندهای انرژی
۲۹	۹-۲ یونیزاسیون برخوردی
۳۱	۱-۹-۲ محاسبه ضرایب یونیزاسیون برخوردی حامل
۳۱	۱۰-۲ پراکنندگی‌های حامل الکتریکی
۳۲	۱-۱۰-۲ پراکنندگی‌های الکترون
۳۶	۲-۱۰-۲ پراکنندگی‌های حفره
۴۰	۱۱-۲ محاسبه بهره

۴۱	۱۲-۲ محاسبه ضریب نویز اضافی
۴۲	فصل ۳- نتایج شبیه سازی
۴۲	۱-۳ مقدمه
۴۲	۲-۳ محاسبه توزیع پتانسیل و میدان الکتریکی
۴۴	۳-۳ شبیه سازی ساختار pin
۴۴	۱-۳-۳ محاسبه ضرایب یونیزاسیون
۴۶	۲-۳-۳ ساختار همگون GaAs
۴۸	۳-۳-۳ ساختار ناهمگون GaAs/AlGaAs
۵۱	۴-۳ ارائه یک مدل جدید برای تابع توزیع طول یونیزاسیون
۵۲	۱-۴-۳ مدل همگون
۵۶	۲-۴-۳ مدل ناهمگون
۵۸	۵-۳ ساختار SACM
۶۱	۶-۳ طراحی و شبیه سازی ساختار SAGM
۶۱	۱-۶-۳ مقدمه
۶۲	۲-۶-۳ شبیه سازی یک افزاره ساخته شده
۶۳	۳-۶-۳ محاسبه اثر ناهمگونی تک پله ای ناحیه تکثیر بر ضریب نویز اضافی
۶۸	۴-۶-۳ محاسبه اثر ناهمگونی دو پله ای ناحیه تکثیر بر ضریب نویز اضافی
۷۱	۵-۶-۳ ساختار پیشنهادی SAGM
۷۲	۶-۶-۳ ساختار پیشنهادی SAGCM
۷۵	۷-۳ طراحی و شبیه سازی ساختار SAGCM
۷۹	۱-۷-۳ سرعت پاسخدهی و ولتاژ بایاس ساختار پیشنهادی SAGCM
۸۱	فصل ۴- نتایج و پیشنهادها
۸۱	۱-۴ نتایج
۸۳	۲-۴ پیشنهادها
۸۶	فهرست منابع
۹۴	ضمیمه
۱۰۱	واژه نامه فارسی به انگلیسی
۱۰۳	واژه نامه انگلیسی به فارسی

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
میدان الکتریکی	E
بهره	M
ضریب نویز اضافی	F
غلظت ناخالصی	N_{imp}
جرم حامل الکتریکی	m
بار الکترون	q
ضریب دی‌الکتریک	ϵ
فرکانس پلاسمایی	ω_p
گام زمانی	Δt
طول دیبای	λ_D
ثابت بولتزمن	K_B
دما	T
سرعت	v
طول	L
دانسیته بارهای الکتریکی	ρ
پتانسیل الکتریکی	φ
بردار مجموعه پتانسیل	ψ
بردار مجموعه بارهای الکتریکی	Θ
انرژی جنبشی	KE
ضریب بازتاب	R
اندازه حرکت	k
ثابت پلانک	\hbar
شکاف انرژی	E_g
انرژی آستانه یونیزاسیون برخوردی	E_{th}
پتانسیل ناهنجاری	\bar{E}_d
ثابت الاستیسیته	c_L
فرکانس زاویه‌ای	ω_0

D

δ

ΔE

پتانسیل ناهنجاری

فاصله یونیزاسیون از سطح ناهمگون

ناپیوستگی انرژی باند رسانایی

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳	جدول ۱-۱: مقایسه مشخصات آشکارسازهای نوری
۴۳	جدول ۱-۳: مشخصات افزاره نمونه MSM
۴۴	جدول ۲-۳: مشخصات یک افزاره pin از جنس GaAs
۴۶	جدول ۳-۳: مشخصات یک افزاره pin از جنس GaAs
۴۹	جدول ۴-۳: مشخصات یک افزاره ناهمگون pin
۵۱	جدول ۵-۳: میانگین طول یونیزاسیون به ازای حالت‌های مختلف شکل ۳-۱۰
۵۴	جدول ۶-۳: مقادیر بهینه ضرایب k_1 تا k_4 برای مدل همگون تابع توزیع یونیزاسیون برخورداری الکترون و حفره
۵۶	جدول ۷-۳: مقادیر بهینه ضرایب α_1 تا α_6 و γ برای مدل ناهمگون تابع توزیع یونیزاسیون برخورداری الکترون و حفره.
۶۰	جدول ۸-۳: مشخصات ساختار SACM با ترکیب $In_{0.53}Ga_{0.47}As/In_{0.52}Al_{0.48}As$
۶۲	جدول ۹-۳: مشخصات دو افزاره مختلف ساخته شده از $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$
۶۵	جدول ۱۰-۳: انرژی آستانه یونیزاسیون به ازای مقادیرهای مختلف x (در $Al_xGa_{1-x}N$)
۷۲	جدول ۱۱-۳: مشخصات کامل ساختار SAGM پیشنهادی
۷۵	جدول ۱۲-۳: متوسط درصد تغییرات FWHM، τ_{tr} و ضریب نویز اضافی به ازای افزودن یک پله و یک نانومتر به طول هر لایه تطبیقی
۷۶	جدول ۱۳-۳: مشخصات لایه‌های مختلف ساختار SAGCM پیشنهادی
۷۹	جدول ۱۴-۳: حساسیت ضریب نویز اضافی به ازای تغییر پارامترهای مختلف طراحی

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲	شکل ۱-۱: قالب کلی ارتباط مخابرات نوری
۴	شکل ۲-۱: ساختار pin-APD به همراه توزیع قدر مطلق میدان الکتریکی در آن
۴	شکل ۳-۱: ساختار SAM و توزیع میدان الکتریکی درون آن
۶	شکل ۴-۱: شمایی از تغییرات ضریب نویز اضافی به ازای تغییرات بهره ناشی از ولتاژ بایاس
۲۶	شکل ۱-۲: ناپیوستگی باند رسانایی در یک پیوند ناهمگون
۲۷	شکل ۲-۲: مقایسه شماتیکی باندهای سهموی و غیر سهموی انرژی
۳۰	شکل ۳-۲: مقایسه یونیزاسیون نرم و سخت به ازای دو مقدار C_2
۳۲	شکل ۴-۲: نرخ پراکندگی الکترون در دره Γ و GaAs به ازای دو مقدار (الف) غلظت ناخالصی و (ب) دمای مختلف.
۳۳	شکل ۵-۲: نرخ پراکندگی الکترون در دره Γ و GaAs به ازای دو دمای مختلف
۳۴	شکل ۶-۲: نرخ پراکندگی الکترون بر اثر (الف) جذب و گسیل فونون نوری غیرقطبی و (ب) دو دمای مختلف گسیل در دره L در GaAs
۳۵	شکل ۷-۲: نرخ پراکندگی الکترون بر اثر (الف) جذب و گسیل فونون نوری غیرقطبی بین دره‌ای و (ب) دو دمای مختلف گسیل در دره L در GaAs
۳۵	شکل ۸-۲: نرخ پراکندگی الکترون بر اثر (الف) جذب و گسیل فونون نوری قطبی درون دره‌ای و (ب) دو دمای مختلف گسیل در دره Γ در GaAs
۳۶	شکل ۹-۲: نرخ پراکندگی الکترون بر اثر (الف) جذب و گسیل فونون نوری قطبی بین دره‌ای و (ب) دو دمای مختلف گسیل در دره Γ در GaAs
۳۷	شکل ۱۰-۲: نرخ پراکندگی حفره ناشی از ناخالصی‌ها به ازای مقدارهای مختلف ناخالصی و دما
۳۸	شکل ۱۱-۲: نرخ پراکندگی حفره ناشی از فونون نوری قطبی درون دره‌ای و بین دره‌ای در دماهای مختلف
۳۹	شکل ۱۲-۲: نرخ پراکندگی حفره حاصل از فونون نوری قطبی درون دره‌ای و بین دره‌ای در دماهای مختلف

- شکل ۲-۱۳: نرخ پراکندگی حفره حاصل از فونون آکوستیکی در دماهای مختلف
- شکل ۳-۱: نتایج محاسبه شده با روش مونت کارلو برای (الف) توزیع پتانسیل الکتریکی و (ب) توزیع میدان الکتریکی در یک افزاره MSM
- شکل ۳-۲: نتایج شبیه سازی برای توزیع (الف) پتانسیل الکتریکی و (ب) میدان الکتریکی به ازای مقادیرهای مختلف بایاس معکوس ۸، ۹ و ۱۰ ولت.
- شکل ۳-۳: ضریب های یونیزاسیون (الف) الکترون و (ب) حفره محاسبه شده در مقایسه با داده های عملی به ازای میدان های الکتریکی مختلف.
- شکل ۳-۴: تابع توزیع بهنجار شده طول یونیزاسیون الکترون (الف) و حفره (ب) در GaAs به ازای میدان های الکتریکی ۶۰۰ و 900KVcm^{-1}
- شکل ۳-۵: مقایسه نتایج شبیه سازی با داده های عملی برای (الف) بهره و (ب) ضریب نویز اضافی به ازای طول های مختلف ناحیه تکثیر ۱۰۰، ۲۰۰ و 280nm و آغازکنندگی الکترون
- شکل ۳-۶: مقایسه نتایج شبیه سازی با داده های عملی برای (الف) بهره و (ب) ضریب نویز اضافی به ازای طول های ۱۰۰، ۲۱۰ و 360nm برای ناحیه تکثیر و آغازکنندگی حفره
- شکل ۳-۷: مقایسه ضریب نویز اضافی برای حالت های مختلف آغازکنندگی یونیزاسیون.
- شکل ۳-۸: بهره ساختار pin ناهمگون به ازای آغازکنندگی غالب الکترون و حفره و کسرهای مولی (الف) ۰/۲ (ب) ۰/۳۵
- شکل ۳-۹: ضریب نویز اضافی برحسب میانگین بهره به ازای دو کسر مولی (الف) ۰/۲ (ب) ۰/۳۵
- شکل ۳-۱۰: مقایسه پهن شدگی تابع توزیع طول یونیزاسیون به ازای آغازکنندگی غالب الکترون و حفره و کسرهای مولی ۰/۲ و ۰/۳۵. میانگین بهره تقریباً برابر ۱۰ است
- شکل ۳-۱۱: مقایسه تابع توزیع طول یونیزاسیون با تقریب دو تکه ای خطی - نمایی.

- شکل ۳-۱۲: شمایی از پروسه تنظیم ضرایب k_1 تا k_4 . ۵۳
- شکل ۳-۱۳: خطای موثر آموزش شبکه به ازای لایه‌های میانی مختلف برای الکترون‌ها. ۵۴
- شکل ۳-۱۴: مقایسه بهره محاسبه‌شده از مدل همگون با روش مونت‌کارلو به ازای طول‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ nm ناحیه تکثیر و آغازکنندگی (الف) الکترون و (ب) حفره. ۵۵
- شکل ۳-۱۵: مقایسه ضریب نویز اضافی محاسبه‌شده از مدل همگون با روش مونت‌کارلو به ازای طول‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ nm ناحیه تکثیر و آغازکنندگی الکترون و حفره. ۵۵
- شکل ۳-۱۶: مقایسه بهره محاسبه‌شده از مدل ناهمگون با روش مونت‌کارلو متداول به ازای $x = 0/2$ و $x = 0/35$ و $y = 0/5$ و $y = 0/25$. ۵۷
- شکل ۳-۱۷: مقایسه ضریب نویز اضافی محاسبه‌شده از مدل ناهمگون با روش مونت‌کارلو متداول و RPL به ازای $x = 0/2$ و $x = 0/35$ و $x = 0/5$ و $y =$. ۵۸
- شکل ۳-۱۸: مقایسه ضریب‌های یونیزاسیون الکترون و حفره بدست‌آمده از مونت‌کارلو با داده‌های عملی. ۵۹
- شکل ۳-۱۹: مقایسه بهره بدست‌آمده از شبیه‌سازی با داده‌های عملی به ازای آغازکنندگی (الف) الکترون و (ب) حفره و طول‌های مختلف ناحیه تکثیر ۱۰۰ و ۲۵۰ nm. ۵۹
- شکل ۳-۲۰: مقایسه ضریب نویز اضافی بدست‌آمده از شبیه‌سازی با داده‌های عملی به ازای آغازکنندگی (الف) الکترون و (ب) حفره و طول‌های مختلف ناحیه تکثیر ۱۰۰ و ۲۵۰ nm. ۶۰
- شکل ۳-۲۱: مقایسه (الف) بهره و (ب) ضریب نویز اضافی بدست‌آمده از روش مونت‌کارلو با داده‌های عملی برای ساختار SACM به ازای طول ناحیه تکثیر ۲۰۰ و ۵۰۰ nm. ۶۱

- شکل ۳-۲۲: ضریب‌های یونیزاسیون الکترون و حفره محاسبه‌شده با مونت‌کارلو در مقایسه با داده‌های عملی برای $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$.
- شکل ۳-۲۳: (الف) مقایسه بهره محاسبه‌شده با داده‌های عملی (ب) ضریب نویز اضافی محاسبه‌شده برای افزاره‌های A و B.
- شکل ۳-۲۴: شمایی از یک ناحیه تکثیر فرضی که شامل دو بخش مختلف $Al_xGa_{1-x}N$ و GaN است.
- شکل ۳-۲۵: مقایسه ضریب‌های یونیزاسیون الکترون‌ها به ازای کسرهای مولی مختلف $Al_xGa_{1-x}N$ با داده‌های عملی.
- شکل ۳-۲۶: تغییر طول انتخابی و میانگین انرژی الکترون‌ها در انتهای $Al_xGa_{1-x}N$ به ازای مقادیر مختلف x. شدت میدان الکتریکی $MVcm^{-1}$ است.
- شکل ۳-۲۷: مقایسه الکترون‌های گذری و برگشتی از سطح ناهمگون $Al_xGa_{1-x}N/GaN$.
- شکل ۳-۲۸: میانگین فاصله مکانی اولین یونیزاسیون برخوردی الکترون‌ها نسبت به سطح ناهمگون (δ) به ازای مقادیر مختلف کسر مولی x.
- شکل ۳-۲۹: ضریب نویز اضافی به ازای مقادیر مختلف کسر مولی x و میانگین بهره حدود ۲۰.
- شکل ۳-۳۰: شمایی از ناحیه تکثیر با دو سطح ناهمگون $AlN/Al_xGa_{1-x}N$ و $Al_xGa_{1-x}N/GaN$.
- شکل ۳-۳۱: تغییر میانگین δ_1 برحسب مقادیر مختلف کسر مولی x.
- شکل ۳-۳۲: مقایسه میانگین فاصله δ_2 به ازای طول‌های مختلف بخش $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$.
- شکل ۳-۳۳: مقایسه ضریب نویز اضافی به ازای ناحیه تکثیر همگون (Homo) GaN، تک‌پله‌ای $Al_{0.6}Ga_{0.4}N/GaN$ (SH) و دو پله‌ای

(DH) AlN/Al_{0.4}Ga_{0.6}N/GaN

- ۷۱ شکل ۳-۳۴: شمایی از دیاگرام انرژی باند رسانایی در ساختار SAGM پیشنهادی.
- ۷۳ شکل ۳-۳۵: مقدار FWHM برحسب بهره به ازای طولهای مختلف ناحیه تدریجی داده شده در جدول ۳-۱۱.
- ۷۳ شکل ۳-۳۶: میانگین زمان گذر الکترونها از ناحیه تدریجی برحسب بهره به ازای طولهای مختلف ناحیه تدریجی.
- ۷۵ شکل ۳-۳۷: ضریب نویز اضافی برحسب بهره به ازای ناحیههای مختلف تدریجی.
- ۷۶ شکل ۳-۳۸: ساختار پیشنهادی SAGCM همراه با دیاگرام باند رسانایی.
- ۷۷ شکل ۳-۳۹: پارامتر FWHM برحسب بهره به ازای ناحیههای مختلف کنترلی.
- ۷۷ شکل ۳-۴۰: زمان گذر الکترونها از لایه کنترلی برحسب بهره به ازای ناحیههای کنترلی مختلف.
- ۷۸ شکل ۳-۴۱: ضریب نویز اضافی برحسب بهره به ازای ناحیههای کنترلی مختلف.
- ۷۸ شکل ۳-۴۲: ضریب نویز اضافی به ازای ساختار SAGCM ، SAGM پیشنهادی و یک افزاره همگون
- ۸۰ شکل ۳-۴۳: میانگین زمان گذر الکترونها از افزارههای SAGCM ، SAGM و همگون منبع [۱۱۴]

فصل ۱- آشکارساز نوری بهمنی

۱-۱- مقدمه

از زمان پیدایش جوامع بشری، ارتباط بین آنها یکی از مسائل مهم و حیاتی بوده است. با گذشت قرن‌ها ارتباط بین ملت‌های مختلف گسترش پیدا کرده و افزایش حجم این ارتباطات، نیاز به پیدایش راهکارهای جدید ارتباطی را پررنگ‌تر کرده است.

امروزه توسعه ارتباطات یکی از مهمترین برنامه‌های هر کشور است. در کنار توسعه ارتباطی مقوله‌های متعددی مطرح است که به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱- افزایش حجم ارتباطی بین مراکز شهری

۲- کیفیت مناسب ارتباطات و مصونیت از نویزهای مختلف

۳- هزینه نگهداری شبکه‌های ارتباطی

مخابرات نوری به عنوان یکی از بهترین شبکه‌های ارتباطی در کشورهای مختلف بکار گرفته شده است و یکی از شاخص‌های توسعه هر کشور به شمار می‌رود. از مهمترین مزایای ارتباطات نوری می‌توان به مطالب زیر اشاره کرد:

۱- امکان ارسال سیگنال‌های مختلف داده صوت و تصویر به صورت دیجیتالی با عرض باند بسیار زیاد.

۲- مصونیت فیبرهای نوری از نظر تداخل و مدولاسیون متقابل.

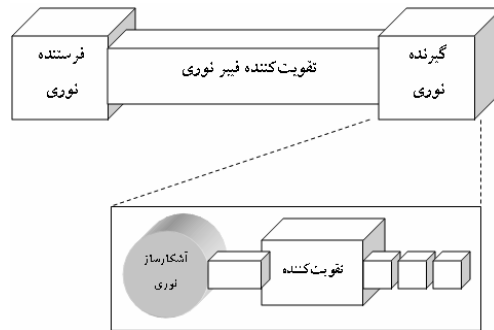
۳- امکان ارتباط دو طرفه بین مصرف‌کننده و مرکز توزیع سیگنال‌ها برای درخواست برنامه‌های مورد تقاضا.

۴- کیفیت مطلوب سیگنال‌رسانی و در برخی از زمینه‌ها، قیمت کم سیستم.

۵- هماهنگی و سازگاری سیستم نسبت به سیستم‌های پیشرفته موجود و آینده مخابراتی.

۶- حذف آنتن‌های هوایی.

ارتباط سامانه مخابرات نوری را در سه بخش کلی فرستنده نوری، فیبر نوری و گیرنده نوری می‌توان خلاصه کرد. بخش فرستنده، اطلاعات را به شکل نور ارسال می‌کند. این اطلاعات توسط فیبرهای نوری به مقصد انتقال می‌یابند. اطلاعات رسیده به مقصد توسط بخش گیرنده نوری دریافت می‌شوند سپس به سیگنال‌های الکتریکی متناسب با سیگنال‌های نوری دریافت‌شده تبدیل می‌شوند و پس از تقویت به آدرس‌های داده‌شده ارسال می‌شوند. شکل ۱-۱ قالب کلی یک ارتباط نوری را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: قالب کلی ارتباط مخابرات نوری.

همان طور که در شکل ۱-۱ دیده می شود اولین عنصر در بخش گیرنده، آشکارساز نوری است. این عنصر، اطلاعات دریافت شده نوری را به سیگنال الکتریکی تبدیل می کند. بدیهی است که کارکرد این افزاره نقش مهمی در کیفیت دریافت اطلاعات دارد.

۱-۲- آشکارساز نوری بهمنی

در سه دهه اخیر، آشکارسازهای نوری مختلفی معرفی شده اند که عبارتند از: آشکارساز رسانای نوری^۱، آشکارساز نوری pin، ترانزیستور نوری، آشکارساز فلز-نیم رسانا-فلز^۲ و آشکارساز نوری بهمنی^۳. آشکارساز رسانای نوری ساده ترین نوع آشکارساز نوری است. این ساختار از یک قطعه نیم-رسانا تشکیل شده که بین دو اتصال فلزی قرار دارد. در این آشکارساز، مقدار جریان تاریک^۴ قابل ملاحظه است، که از این رو سیگنال های نوری با شدت کم قابل آشکارسازی نیستند.

آشکارساز نوری pin ساختار ساده ای دارد و با ولتاژ بایاس کم کار می کند. جریان تاریک pin نسبت به نوع رسانای نوری خیلی کمتر است. این نوع آشکارساز بهره ندارد یعنی الکترون ها و حفره های درون نیم رسانا انرژی کافی برای یونیزاسیون برخوردار نمی کنند. معمولا همراه با آشکارساز نوری pin از یک تقویت کننده نیز استفاده می شود. برای کاهش نویز و حجم مدار، آشکارساز و تقویت کننده را بصورت مجتمع می سازند.

ترانزیستورهای نوری نسبت به سایر آشکارسازها ساختار پیچیده تری دارند. در این ترانزیستورها پایه بیس بایاس الکتریکی ندارد و جریان بیس توسط نور تابیده شده به آن تامین می شود. به دلیل خازن امیتر-بیس، پاسخ فرکانسی این آشکارساز بهتر از سایر آشکارسازها نیست، اما وجود بهره یکی از دلایل اصلی برای استفاده از ترانزیستور نوری است.

¹ Photoconductor

² Metal-Semiconductor-Metal (MSM)

³ Avalanche Photodetector (APD)

⁴ Dark Current