بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی مهندسی

گروه برق

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی برق گرایش الکترونیک

عنوان پایان نامه

شبیه سازی لیزرهای خال کوانتومی مد قفل شده غیرفعال

استاد راهنما:

دکتر محمد مهدی کارخانه چی

نگارش:

رضا محمدی

مهر ماه ۱۳۹۱

دانشکده فنی مهندسی

گروه برق

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی برق گرایش الکترونیک

نام دانشجو:

رضا محمدی

تحت عنوان

شبیه سازی لیزرهای خال کوانتومی مد قفل شده غیر فعال

در تاریخ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما دکتر محمد مهدی کارخانه‌چی با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد داور داخل گروه دکتر سید وهاب‌الدین مکی با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

۳- استاد داور خارج از گروه دکتر عباس حق‌پرست با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

به تماشا روکند

وبه آغاز کلام

وبه پرواز که وتر از ذهن

واژی در قفس است

اثری که در برابر دیدگان شماست، مرهون ضمیر منیر بانوی است که زور بر راهم فکندند تا راهی مرو راهنمایم باشد خط ضعانه گل روسه من کارم برباغ پر برکت دستشان، گرچه در این کوتاه نگه خدوصف باند ملقاشان، که قصور قلم است و قصیده ایثالیکن بر خود فرض دلزم که سپاس نهم زحمات بی شائبه شان را؛ البته قادر چه ندر راهنمایم جناب آقای دکتر کامران خاج چلیپ و بچر عمیق علمشان در واژه واژه این اثر بهره برده ام.

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و بزرگوارم

آنان که وجودشان برایم همه مهر است، توانشان رفت تا به توانایی برسم و موهایشان سپید گشت تا روی سفید را ببینم، آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان، روشنی رویشان و غروب غمهایشان سرمایه‌ی جاودان زندگی من است، آنان که راستی قامتشان همه‌ی شکستگی قامتشان همه‌ی جان گشت.

در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می‌زنم و با همه‌ی وجود از عشق، محبت و خضوع سرشارشان سپاسگزارم.

و

برادر و خواهر عزیزم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

چکیده

در این پایان نامه لیزر نیمه هادی مد قفل شده غیر فعال که یکی از لیزرهای تولید پالس کوتاه می باشد ، شبیه سازی شده است. برای شبیه سازی ابتدا یک مدل ریاضی برای لیزر مد قفل شده غیرفعال در ساختار لیزرهای نیمه هادی با استفاده از تقویت کننده و جذب کننده اشباع پذیر ارائه می دهیم. همچنین شرایط قفل شدگی مد را به دست آورده و مورد بررسی قرار می دهیم و هم زمان با شبیه سازی و رسم نمودارها نشان می دهیم که چگونه سایر پارامترها مانند پهنای پالس و انرژی آن توسط سیستم مد قفل شده غیر فعال تعیین می شوند. پارامترهای دیگر سیستم مانند پهنای باند، پراکندگی و مدولاسیون خود فاز نشان داده می شوند تا بیان کنیم که چگونه این پارامترها نقش مهمی در شرایط و نتایج مد قفل شده ایفا می کنند. همچنین موقعیت عناصر کاواک (تقویت کننده و جذب کننده) و تاثیر آن ها بر پایداری مد قفل شده را مورد بررسی قرار می دهیم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

فصل دوم : لیزرهای خال کوانتومی

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۱-۱- اساس عملکرد: کوانتیزه بودن چگالی حالت ها (DOS) ۷

۲-۱-۲- مزایای مورد انتظار ۹

۲-۱-۳- احتیاج‌های خال کوانتومی ۱۰

۲-۲- ساخت خال‌های کوانتومی ۱۰

۲-۲-۱- جزایر با کشش همدوس و نواحی خود ساخته سه بعدی ۱۱

۲-۲-۲- آرایه هایی از خالهای کوانتومی که بصورت عمودی جفت شده اند ۱۳

فصل سوم : روش های تولید پالس های نوری بسیار کوتاه

۳-۱- مقدمه ۱۶

۳-۲- کلید زنی بهره ۱۶

۳-۲-۱- اساس عملکرد ۱۷

۳-۳- لیزرهای کلید زنی Q ۱۸

۳-۳-۱- لیزر کلید زنی Q فعال ۱۹

۳-۳-۲- لیزر کلید زنی Q غیر فعال ۱۹

۳-۴- قفل شدگی مد ۲۰

۳-۴-۱- لیزرهای مد قفل شده فعال با کاواک خارجی ۲۰

۳-۴-۱- لیزرهای مد قفل شده غیر فعال با کاواک خارجی ۲۲

فصل چهارم : دیودهای لیزری مد قفل شده QDInGaAs

۴-۱- مقدمه ۲۵

۴-۲- لیزرهای مد قفل شده بالک، QW و QD ۲۶

۴-۳- جزئیات ماده و قطعه ۲۹

۴-۴- گرایشات قفل شدگی مد در دیودهای QDL ۳۱

۴-۴-۱- رژیم قفل شدگی مد ۳۲

۴-۴-۲- مشخصات نور- جریان ۳۳

۴-۴-۳-تاثیر شرایط راه اندازی ۳۳

۴-۴-۳-۱- ولتاژ بایاس معکوس جذب کننده ۳۵

عنوان **صفحه**

۴-۴-۳-۲ جریان‌های راه اندازی قسمت بهره ۳۶
۴-۵- کاهش طول پالس و افزایش توان خروجی ۳۷
۴-۵-۱- اصلاح طول‌های قسمت بهره و جذب کننده ۳۷
۴-۵-۲- ادوات موجبر مخروطی ۳۹
۴-۵-۳- رویکردهای ترکیبی ۴۱
۴-۶- گسترش نرخ تکرار ۴۳
۴-۶-۱- قفل شدگی مد هماهنگ ۴۴
۴-۶-۲- قفل شدگی مد کاواک خارجی ۴۶
۴-۷- کارایی نویز ۴۸
۴-۷-۱- مقایسه کارایی نویز در QW و Q ۴۸
۴-۷-۲- کاهش نویز در قطعات QD ۵۱

فصل پنجم : مدل سازی ریاضی و شبیه سازی لیزر مد قفل شده فعال

۵-۱- مقدمه ۵۵
۵-۲- مدل ریاضی برای مد قفل شده پسیو ۵۶
۵-۲-۱-تقویت کننده قابل اشباع ۵۸
۵-۲-۲-جذب کننده قابل اشباع ۶۲
۵-۲-۳-عنصر محمدود کننده پهنای باند ۶۳
۵-۲-۴-عنصر پراکندگی ۶۳
۵-۳- معادلات مد قفل شده ۶۴
۵-۴- حل معادلات مد قفل شده ۶۶
۵-۵-شرایط قفل شدگی مد ۶۸
۵-۶- اثرات پراکندگی و مدولاسیون خودفاز ۷۲
۵-۶-۱-پراکندگی ۷۲
۵-۶-۲-مدولاسیون خود فاز ۷۳
۵-۷- اثرات برخوردهای پالسی ۷۵
۵-۷-۱-ترکیب بندی های پالس برخوردی ۷۵
۵-۷-۲-شکل پالس به وسیله یک شبکه جذبی ۷۷
۵-۷-۳-اثرات شکل بندی پالس ۷۹
۵-۷-۴-پایداری حالت قفل شده تقویت کننده ۸۲
۵-۸-نتیجه گیری ۸۶

فهرست تصاویر

عنوان **صفحه**

شکل ۲- ۱: مقایسه کوانتیزگی چگالی حالت ها ۹
شکل ۲-۲: تشکیل جزیر هنگامی که عدم تطبیق شبکه نسبتاً بزرگ است (الف) رشد کاذب هنگامی عدم تطبیق کوچک است (ب) ۱۲
شکل ۲- ۳: میکروگراف برش عرضی هرم InP رشد داده شده بر روی GaInP ۱۲
شکل ۲- ۴: دیاگرام شماتیک هندسه خال کوانتومی ۱۳
شکل ۲- ۵: پنج لایه خال کوانتومی که به صورت عمودی روی هم چیده شده اند ۱۴
شکل ۲-۶: میکروگرافهای نیروی اتمی، یکنواختی بیشتر خال‌های کوانتومی را در سطح بالایی یک چینش متشکل از ۲۰ لایه از Dot ها (چپ) را نسبت به یک تک لایه خال کوانتومی (راست) ۱۴
شکل ۳- ۱: نمودارهای مربوط به کلید زنی بهره ۱۸
شکل ۳- ۲: دو نوع لیزر کلیدزنی -Q (a) فعال (b) غیر فعال ۱۹
شکل ۳- ۳: لیزر مد قفل شده فعال با کاواک خارجی a) کاواک خارجی منفرد b) کاواک خارجی دو قسمتی ۲۱
شکل ۳- ۴: دو نوع لیزر مد قفل شده غیر فعال ۲۲
شکل ۴-۱: نمایش شماتیک بهره‌مدی نرمالیزه برحسب چگالی حامل برای سیستمهای ماده بالک، QW، و QD ۲۸
شکل ۴- ۲: شماتیک ساختار لایه نشانی QD و طراحی موجبر ۳۰
شکل ۴- ۳: طیف بهره و جذب اندازه گیری شده با استفاده از روش اتصال چند قسمتی ۳۱
شکل ۴-۴: رژیمهای قفل شدگی مد برای یک قطعه به طول ۲mm به نسبتهای طول بهره به جذب کننده (a) 7:1 و(b)4:1 و (c) ۳:۱ ..... ۳۲
شکل ۴-۵: مشخصه‌های نور-جریان قطعه به طول ۲mm با یک قسمت جذب کننده ۵۲۰ μm به ازای ولتاژهای بایاس معکوس مختلف ۳۳
شکل ۴-۶: تغییرات طول پالس، TBP، عرض طیفی، طول موج مرکزی، توان متوسط، و قله توان با جریان راه اندازی بایاس معکوس برای یک قطعه به طول ۲mm با یک جذب کننده به طول ۳۹۰μm ۳۵
شکل ۴-۷: (a) طول پالس برحسب بایاس معکوس به ازای پیکربندی‌های با طول بهره به جذب کننده مختلف. (b) حداقل طول پالس و قله توان متناظر به ازای پیکربندی‌های مختلف (با جریان‌های راه‌اندازی ۳۷، ۶۷، ۴۷ و ۱۲۲mA به ترتیب برای پیکربندی‌های ۱۴:۱، ۷:۱، ۴:۱ و ۳:۱) ۳۹
شکل ۴-۸: دیاگرام شماتیک دیود لیزری مد قفل شده مخروطی، و پروفایل‌های مد در قسمت جذب کننده و قسمت بهره مخروطی ۴۱
شکل ۴-۹: ترسیمات خودهمبستگی و طیف نوری متناظر برای قطعات مخروطی با نسبت طول بهره به جذب کننده (a) ۶:۱ و (b) ۴:۱ ..... ۴۳

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۱۰: ترسیمات خودهمبستگی برای قفل شدگی مد در (a) اولین، (b) دومین، (c) سومین و (d) ششمین هارمونیک ۴۵
شکل ۴- ۱۱: پیکر بندی یک لیزر مد قفل شده QD کاواک خارجی.. ..... ۴۶
شکل ۴- ۱۲: طیف RF برای طول کاواک 46cm ، با نرخ تکرار 310MHz ۴۷
شکل ۴-۱۳: طیف الکتریکی RF نشان دهنده نویز فاز مربوط به حالم 10GHz برای دیودهای لیزری مد قفل شده QD و QW. قسمت Inset دارای محدوده 2MHz و RBW برابر 10KHz می‌باشد 390μm..... ۵۰
شکل ۴-۱۴: طیف نویز فاز RF و (b) نمودار عرض خط RF و طول پالس برای یک لیزر مد قفل شده ۲۰GHz QD به ازای پیکربندی‌های کاواک مختلف ۵۱
شکل ۵- ۱: ساختار حلقه ای تک جهته برای مد قفل شده غیر فعال ۵۷
شکل ۵- ۲: ناحیه پایداری، آستانه لیزش و خطوط انرژی پالس به عنوان تابعی ازبهره و جذب سیگنال نرمالیزه شده... .....۶۹
شکل ۵- ۳: ناحیه پایداری، آستانه لیزش و خطوط پهنای پالس به عنوان تابعی ازبهره و جذب سیگنال نرمالیزه شده. ۷۲
شکل ۵- ۴: انرژی پالس نرمالیزه شده، پهنای پالس و چیرپ به عنوان تابعی از پراکندگی ۷۳
شکل ۵- ۵: انرژی پالس نرمالیزه شده، پهنای پالس و چیرپ به عنوان تابعی از پراکندگی ۷۴
شکل ۵- ۶: پیکربندی مد قفل شده تک جهته در یک کاواک حلقه ای ۷۶
شکل ۵- ۷: پیکربندی مد قفل شده تک جهته در یک کاواک فابری پروت.....۷۶
شکل ۵- ۸: پیکربندی CPM در یک کاواک حلقه ای ۷۶
شکل ۵- ۹: پیکربندی CPM در یک کاواک فابری پروت ۷۷
شکل ۵- ۱۰: دو پالس ورودی به جذب کننده و اثرات برخوردی آنها..... ۷۹
شکل ۵- ۱۱: مقایسه شکل پالس UM، SCPM و CPM..... ۸۰
شکل ۵- ۱۲: شکل پالس های مشابه برای ساختارهای UM و SCPM با تغییر انرژی اشباع جذب کننده. ۸۱
شکل ۵- ۱۳: شکل پالس های مشابه برای ساختارهای UM و CPM با تغییر انرژی اشباع جذب کننده .. ۸۱
شکل ۵- ۱۴: برخورد پالس ها در ساختارهای متفاوت مد قفل شده در کاواک های حلقوی و فابری پروت .. ۸۳
شکل ۵- ۱۵: نواحی پایداری به عنوان توابعی از بهره و جذب سیگنال نرمالیزه شده به ازای پیکر بندی های مختلف مد قفل شده.. ..... ۸۴
شکل ۵- ۱۶: نواحی پایداری به عنوان توابعی از بهره و جذب سیگنال نرمالیزه شده به ازای پیکر بندی های مختلف مد قفل شده. ۸۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۵- ۱: تغییر در پارامترهای سیستم به ازای ساختارهای متفاوت مد قفل شده ۸۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه:

منابع نوری اصلی که در کاربردهای مختلف مخابرات فیبر نوری مورد استفاده قرار می‌گیرند، دیودهای نور گسیل (LED) و دیودهای لیزری (LD) می‌باشند. علت کاربرد فراوان این منابع نیمه هادی، در سیستم‌های مخابراتی این است که در محدوده وسیعی از کاربردها دادرای توان خروجی کافی هستند، توان خروجی در این دیودها با تغییر جریان ورودی به آنها مستقیما مدوله می‌شود، بازده بالایی دارند، دارای ابعاد کوچک بوده و با ساختمان و اندازه فیبر نوری سازگار می‌باشند.

تفاوتی که بین دیودهای نورگسیل و دیودهای لیزری وجود دارد این است که نور خروجی دیود LED نا همدوس است، در حالی که نور خروجی دیود لیزر، همدوس است. در منبع همدوس، انرژی نورانی را در یک محفظه تشدید کننده تهیه می‌کنند. انرژی نورانی آزاد شده از این محفظه، دارای همدوس مکانی و زمانی است، به این معنا که پرتو خروجی بسیار تک فام و جهت دار است.

در یک منبع غیر همدوس LED، محفظه نوری برای انتخاب طول موج وجود ندارد. تشعشع خروجی دارای پهنای طیفی وسیع است، زیرا انرژی فوتونهای گسیل شده در سرتاسر ناحیه توزیع انرژی ترکیب مجدد الکترون‌ها که معمولا بین 1 و 2KT است (K ثابت بولتزمن و T درجه حرارت مطلق در پیوند pn است)، قرار می‌گیرد. به علاوه، انرژی نورانی ناهمدوس مطابق توزیع توان کسینوسی در داخل یک نیمکره گسیلش می‌یابد و لذا دارای پرتویی با واگرایی وسیع است.

در انتخاب منبع نوری قابل تطبیق با موجبر نوری، مشخصات مختلف فیبر از قبیل شکل هندسی، میزان تضعیف به عنوان تابعی از طول موج، اعوجاج تاخیر گروهی (پهنای باند) و مشخصات مدی آن را می‌باید به حساب آورد.

همچنین اثر متقابل این عوامل با توان منبع نوری، پهنای طیفی، الگوی تشعشعی و قابلیت مدولاسیون آن را نیز بایستی در نظر گرفت. خروجی نور همدوس مکانی و جهت دار دیود لیزر، به هریک از تارهای تک مدی، قابل تزویج است. در حالیکه توان نوری همدوس دیود نور گسیل، فقط قابل تزویج به تارهای چند مدی، و آن هم با مقادیر کافی است.

در سیستم‌های مخابرات نوری که به سرعت‌های بیت تقریبا کمتر از 50 Mb/s، همراه با توان نوری تزویج شده به تار چند مدی در حدود دهها میکرو وات نیاز است، معمولا دیودهای نیمه هادی نور گسیل (LED) بهترین منابع نوری انتخابی هستند. دیودهای LED، به دلیل عدم نیاز به مدارات تثبیت کننده نوری یا حرارتی، نسبت به دیودهای لیزر به مدارات پیچیده تحریک کمتری نیاز دارند و با قیمت ارزان تر و نتایج بالاتری ساخته می‌شوند.

لیزرهای نیمه هادی به عنوان یکی از بهترین منابع نوری با سرعت بالا بکار می‌روند. لیزرهای نیمه هادی در مقایسه با دیگر انواع لیزر (حالت جامد، گازی و...) دارای اندازه کوچک، کارایی بالاتر، هزینه کمتر و قابلیت مدوله شدن در فرکانس‌های بالای گیگا هرتز با تغییر جریان اعمال شده می‌باشند.

یکی از مزیت‌های سیستم‌های نوری نسبت به سیستم‌های دیگر الکترونیکی، سرعت بالا و ظرفیت انتقال بالای آنها می‌باشد. برای ایجاد ظرفیت بالا در سیستم‌های نوری، منبع نور باید توانایی تولید پالس‌های خیلی کوتاه و با فرکانس بالا را داشته باشد، که تمام این نیازها در دیودهای لیزری برآورده شده است.

بعضی از نیازهایی که یک دیود لیزری باید داشته باشد، عبارتند از اینکه توان خروجی بالا داشته باشد، در دامنه زیادی از دما کار کند، قابل تزویج به فیبرهای تک مدی و چند مدی بوده، قابلیت ایجاد نور با فرکانس بالا را داشته باشد و نیز باید پالس‌هایی که تولید می‌کند دارای پهنای کمی‌باشند.

اولین شرح در مورد لیزر نیمه رسانا در سال ۱۹۶۲ توسط باسوف (Basov)، پروخروف (Prokhorov) و تاونز (Townes) ارائه شد.

دو سال بعد لشر (Lasher) یک لیزر دو قسمتی پایدار را پیشنهاد کرد که شامل لیزر تزریقی فابری پروت و دو پیوند p مجزای الکتریکی بود، که یک قسمت دارای تزریق جریان بوده و قسمت دیگر طوری بایاس می‌شد که به عنوان یک جذب کننده غیر خطی نور عمل کند.

تولید پالس کوتاه با دیودهای لیزری یک قسمتی در سال ۱۹۶۶ انجام شد، که این پالس‌ها دارای پهنای باند 50ps و فرکانس 0.2GHZ بودند.

در سال ۱۹۶۸، با سوف (Basove) دیود با پیوندگاه همگن GaAs دو قسمتی را پیشنهاد کرد و پالسهای پایدار (Self Sustained Pulsation) را مشاهده کرد، در حالی که یک قسمت از دیود جذب می‌کرد و قسمت دیگر تقویت می‌کرد.

در سال ۱۹۷۹، دیکسون و جویس (Dixon and Joyce) یک مدل برای تولید پالسهای نوری پایدار در لیزر با ساختار دوگانه (Double Heterostructour) از جنس Ga As/ AlGaAs پیشنهاد کردند. آنها

دریافتند که کاهش نور خروجی در اولین تست موج پیوسته (cw) با زمان کوتاه به علت تلفات نزدیک آینه‌ها می‌باشد که از افزایش باز ترکیب سطحی جریان ناشی می‌شود.

در سال ۱۹۸۲، هاردر (Harder) پالسهایی را در فرکانس ریز موج در لیزر نیمه هادی Ga As در حالت (cw) با استفاده از تزریق جریان غیر همگن مشاهده کرد. جریان غیرهمگن با استفاده از نفوذ جریان به دو قسمت تماس به وجود می‌آید.(آنها با آزمایش نشان دادند که بسته به وضعیت بایاس الکتریکی، مقاومت تفاضلی منفی در طول جذب کننده منجر به حلقه هیسترزیس باریکی با پالس خود به خودی می‌شود.) با بهبود پارامترهای لیزر، امروزه لیزرهایی با پهنای پالس حدود 0.8ps و فرکانس 350GHZ ایجاد می‌شود.

ساده ترین ایده برای تولید پالس کوتاه، کلیدزنی سریع بین بهره و تلفات می‌باشد.کلیدزنی کیفیت Q- (Switching یا Quality-Switching) اولین تکنیک برای ایجاد پالسهای نوری خیلی کوتاه بود. پالسهایی که با این روش تولید شده اند، دارای پهنای حدود ps 30-2 و فرکانس GHz 10 می‌باشند (۵).

یک روش دیگر برای تولید پالس کوتاه، کلیدزنی بهره (gain-switching) می‌باشد. این روش به سادگی با اعمال یک پالس جریان الکتریکی RF به لیزر ایجاد می‌شود. پالسهایی با پهنای حدود ps 30-10 و فرکانس چندین GHz با این روش ایجاد شده است.

یک روش دیگر برای ایجاد پالسهای کوتاه نوری، روش قفل زنی مد (Modelocking) می‌باشد. این روش برای ایجاد پالسهای خیلی کوتاه، در حد fs و فرکانس حدود 350GHzمناسب می‌باشد.

در این پایان نامه انواع لیزرهای تولید کننده پالس کوتاه مورد بررسی قرار گرفته و اساس عملکرد آنها و چگونگی ایجاد پالس نوری نیز مورد بحث قرار می‌گیرد. همچنین یکی از انواع آنها که بیشترین استفاده را نسبت به سایر لیزرهای نیمه هادی دارد، شبیه سازی می‌کنیم.

در فصل دوم اصول عملکرد لیزرهای خال کوانتومی و نحوه ساخت آنها شرح داده شده است.

درفصل سوم لیزرهای مولد پالس کوتاه مورد بررسی قرار داده شده و انواع اینگونه لیزرها نیز توضیح داده می‌شود. همچنین شرایط لازم برای تولید پالس‌های نوری نیز تشریح شده است.

در فصل چهارم دیودهای QDL مبتنی بر InGaAs مد قفل شده غیرفعال بحث شده اند. تولید پالس برای نرخ‌های تکرار از 310MHz تا 240GHz و با طول پالس در محدوده پیکوثانیه تا زیر 400f.s نشان داده شده است. جنبه‌های قفل شدگی مد دراین قطعات بحث شده اند، و بهبود کارایی قطعه بر حسب طول پالس، توان خروجی وخواص نویز، ارائه شده اند. قواعد طراحی برای کاهش طول پالس افزایش توان خروجی و بهبود کارایی نویز، ارائه شده اند. پیاده سازی ساختارهای موجبر مخروطی باعث بهبود زیاد کارایی می‌شود، که

این امر، اجازه ی دستیابی همزمان به تولید پالس محدوده شده ی فوریه، بسیار کوتاه با نویز با دامنه کم و لرزش زمانی کم و عرض خط RF باریک را می‌دهند.

در فصل پنجم لیزر نیمه هادی مد قفل شده پسیو را که یکی از لیزرهای مولد پالس کوتاه است، به صورت ریاضی مدل کرده و معادلات حاکم بر نحوه تولید پالس نوری را به روش تحلیلی حل می‌کنیم. سپس با حل معادلات می‌توانیم مقادیر مشخصات نور خروجی شامل جریان آستانه، چگالی حامل ها، فرکانس تکرار پالس‌های نوری و تعداد فوتون‌های تولید شده را به دست آوریم و همزمان با رسم نمودارهای مربوطه به شبیه سازی و تحلیل آن‌ها می‌پردازیم.

فصل دوم

لیزرهای خال کوانتومی

۲-۱ مقدمه:

در صنعت نیمه هادی‌ها هر روزه قدم هایی رو به جلو برداشته می شود و پیشرفتهایی نیز حاصل می شود یکی از این پیشرفتها، پیشرفت در زمینه ساخت قطعات نیمه هادی بوده که با ارتقاء سطح تکنولوژی امکان ساخت قطعات با ابعاد کوچکتر و کارایی بالاتر فراهم شده است.

فهم عملکرد این قطعات نیاز به درک فیزیکی کافی از موضوع دارد عملکرد قطعات معمولی مثل دیودها و ترانزیستورها را می توان از دیدگاه کلاسیک توجیه کرد با کوچکـــتر شدن قطعات, کم کم قوانین مکانیک کوانتومی , نمود پیدا می کنند، و فیزیک کلاسیک در توجیه پدیده های واقع شده عاجز می ماند، در قطعات نیمرسانای اولیه حامل های بار در هر سه بعد آزادی حرکت داشتند، کم کم با پیشرفت تکنولوژی امکان ساخت قطعات شبه دو بعدی که حاملها در یک بعد محدودیت حرکت داشتند، که این گروه را چاه کوانتومی می نامند. قطعات نیمرسانای شبه یک بعدی دستهٔ دیگری از قطعات نیمه رسانا هستند که در آنها حامل‌ها فقط در یک بعد آزادی حرکت دارند که این گروه را سیم های کوانتومی می نامند.

آخرین گروه هم، قطعاتی هستند که در آنها محیط طوری فراهم شده که قطعات در هر سه بعد محدودیت حرکت دارند که این گروه را خال کوانتومی می نامند.

شاید دلیل محدود کردن بارها این باشد که احتمال حرکت حامل را در جهاتی که نمی خواهیم حرکت داشته باشد، تا حد امکان کاهش دهیم.

۲- ۱ -۱ اساس عملکرد: کوانتیزه بودن چگالی حالتها (DOS)

در لیزرهای با دو پیوندگاه ناهمگون، ناحیه فعال باریک (به ضخامت ۱μ m تا 3 μ m) ماده ای با انرژی باند ممنوعه کمتر است، (مثل GaAs) که در دو طرف به وسیله یک ماده با انرژی باند ممنوعه بزرگتر (مثلAlGaAs) محدود شده است، و این ترکیب بعنوان تله ای برای الکترونها و حفره‌ها عمل می کند، که این به کاهش چگالی جریان آستانه مورد نیاز منجر می شود. اگر ضخامت ناحیه فعال به ۵۰۰ تا ۱۰۰ آنگسترم کاهش یابد، ابعاد با طول موج دو بروی الکترونهای حرارتی قابل مقایسه می شود، و الکترونها وحفره های محدود شده، آثار کوانتومی از خود نشان می دهند از آنجا که در یک خال کوانتومی، حرکت حاملهای بار در هر سه بعد

محدود شده است،تبهگنی سطوح انرژی بطور وسیعی بالا می رود، و چگالی حالتها با توجه به حل معادلهٔ شرودینگر سه بعدی مستقل از زمان، بی نهایت کوانتیزه می شود، هر چقدر ابعاد خال کوانتومی کوچکتر باشد، تمایز بین سطوح انرژی مجاور بزرگتر می شود. در شکل(۲-۱)چگالی حالتها در ترکیبهای محدود مختلف با هم مقایسه شده اند.

در حالت ایده آل، خال کوانتومی، نقطه ای با ابعاد صفر است. از این رو، چگالی حالتها باید یک بخش از توابع دلتا در انرژیهای مجاز باشد. اما از آنجا که ابعاد در هر سه جهت محدود هستند، ساختار فیزیکی شبیه یک جعبه کوانتومی به حجم d1 d2 d3 است و طیف DOS (چگالی حالتها) عرض خط محدودی را نشان می دهد، اگر چه بسیار کوچک است. انرژی بصورت زیر کوانتیزه می شود:

$$E_c + E_{q1} + E_{q2} + E_{q3}, where: E_{qn} = h^2(q_n\pi / d_n)^2 / (8\pi^2 m_c), n = 1,2,3 \quad (۱-۲)$$

در اینجا q 1,2,3، مجموع سه عدد کوانتومی مربوطه به یک زیر باند انرژی هستند. هر یک از q 1,2,3، مقادیر صحیح می گیرند، و d 1,2, 3، ابعاد، خال کوانتومی هستند.

برای انجام مؤثرعمل لیزری، باید چگالی حاملهای زیادی در هر دو باند الکترون و حفره در انرژیهای نزدیک به لبهٔ باند وجود داشته باشد بطوریکه وارونگی جمعیت (یعنی باید الکترونهای بیشتری در حالت برانگیخته، نسبت به حالت زمین وجود داشته باشد) ساده تر صورت پذیرد. زمان جمعیت کوتاه حالتهای زمین در لیزرهای خال کوانتومی، باعث می شود تعداد انتقالهای نوری در واحد حجم بسیار زیادی صورت پذیرد، بطوریکه بیشتر آنها از نوع باز ترکیب تشعشعی می باشند، که این امر باعث بازده داخلی بالا می شود. انرژی پمپ شده به داخل سیستم، حامل های بار را از یک سطح انرژی به سطح انرژی بعدی بالا می برد، و هیچ یک از این انتقال‌ها به صورت تصادفی نخواهد بود. زیرا درجهٔ آزادی دیگری وجود ندارد. بنابراین انتظار می رود انتشار لیزر از نقطه های کوانتومی با بازده بالا و جریان آستانهٔ پایین تر نسبت به چاه های کوانتومی یا سیم های کوانتومی صورت پذیرد.