بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی فناوریهای نوین

گروه مهندسی نانوالکترونیک

جهت دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی نانوالکترونیک

عنوان

طراحی و شبیه‌سازی لیزر فیبری حلقوی دو طول موجی

استادان راهنما

دکتر علی رستمی-دکتر قاسم رستمی

استادان مشاور

پژوهشگر

رأفت رفیعی‌راد

شهریور ۱۳۹۲

نام خانوادگی دانشجو : رفیعی راد

نام : رأفت

عنوان پایان نامه : طراحی و شبیه سازی لیزرهای دو طول موجی حلقوی

استادان راهنما **:** دکتر علی رستمی- دکتر قاسم رستمی

استادان مشاور : -

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد **رشته** : مهندسی نانوفناوری **گرایش** : مهندسی نانوالکترونیک

دانشگاه : تبریز

دانشکده : مهندسی فناوریهای نوین **تاریخ فارغ التحصیلی** : ۱۳۹۲/۶/۱۶ **تعداد صفحه** : ۷۴

کلید واژه ها : لیزرهای فیبری حلقوی، گریتینگ یکنواخت، لیزرهای چند طول موجی، فیبر های دوپ شده با یون‌های خاک‌های کمیاب، پالس فمتو ثانیه

چکیده :

یکی ازمهمترین بحث‌ها در زمینه‌ی فناوری‌های نوری عبارت است از تکنولوژی تولید مولدهای لیزری و سیستم-های انتقال نوری لیزرهای چند طول موجی است. با وجودی‌که هنوز به ساختارهای تمام نوری نرسیده‌ایم و مشکلات و چالش‌های زیادی فراسوی این مهم است ولی قابلیت‌های جدید این سیستم غیرقابل چشم‌پوشی است. با وجودی‌که در کشور ما هنوز این تکنولوژی (سیستم انتقال نوری) بشکل عملی استفاده نشده است و زیر ساخت مخابرات هنوز از ساختارهای لیزر تک طول موج استفاده می‌کند با اینحال در این پایان‌نامه سعی شده‌است، ضمن معرفی قابلیت‌های لیزرهای دو طول موجی و فمتو ثانیه و مشخصات آنها ساختارهای جدید معرفی شود.

در این پروژه هدف طراحی و شبیه‌سازی لیزر دو طول موجی است، از جمله مزیت‌های طرح پیشنهادی سادگی وهزینهٔ ساخت پایین آن است، طراحی لیزر مورد نظر در دمای اتاق در نظر گرفته شده است و طراحی شامل دو بخش است بخش اول برای بررسی تغییرات پالس حین عبور از فیبر آلائیده شده با عناصر خاک‌های کمیاب و بخش دوم طراحی ساختار گریتینگ است. به این ترتیب که ابتدا برای تولید پالس فمتوثانیه ازپمپ لیزری ۱۴۸۰نانومتری به عنوان منبع پمپ استفاده شده است، و با توجه به اینکه برای تولید پالس فمتوثانیه طیف فرکانسی پهن لازم است، برای این منظور از فیبر آلائیده شده با اربیوم استفاده شده است. سپس با استفاده از دو فیبر توری براگ پهنای فرکانسی به دو قسمت تقسیم می‌شود. پهنای فرکانسی عبوری یکی از گریتینگ‌ها به

گونه‌ای در نظر گرفته شده است تا بتواند پالس فمتو ثانیه تولید کند. خروجی پالس ها بترتیب دارای توان ۹میلی وات ۱۱۴/۵میکروات است. که در مقایسه با لیزرهای چند طول موجی دارای توان بالایی است.

((هر کس عزت می‌خواهد، عزت یکسره از آن خداست. سخنان پاکیزه به سوی او بالا می روند و عمل صالح آن را بالا می‌برد))

فاطر۱۰

با تشکر از استاد گرامی پوروفسور رستمی، که این مجموعه حاصل راهنمایی های دلسوزانه ایشان بوده است ، ونیز راهنمای‌های گران قدردکتر رستمی ، و دکتر باغبان که مرا در به پایان رساندن این پایان نامه یاری نمودند.

تقدیم به:

به آنکه از تردید نمی‌هراسد

به آنکه چراها را می‌جوید

بی پروا ازخستگی

یا درد یا مرگ

به پدر، مادر و برادرم رضا

مشوقان تمام پروازهایم و بخاطر حمایت ها، راهنمایی هایشان در تمام ثانیه ثانیه‌های زندگی ام

به دکتر سمیه خلیل زاده

همراه همیشگی لحظات پر التهاب

و به همه کسانی که مرا در به پایان رساندن این مجموعه یاری کردند.

فهرست

۱ فصل اول ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۱-۱ لیزر فیبری ۲

۱-۱-۲ اساس لیزرهای فیبری ۶

۱-۲ ساختار کاواک لیزر های فیبری ۷

۱-۳ فیبر نوری ۹

۱-۳-۱ پارامترهای فیبر ۱۱

۱-۳-۲ اثرات غیر خطی فیبر نوری ۱۲

۱-۴ تقویت کنندههای نوری ۱۵

۱-۵ لیزرهای پالس کوتاه ۱۷

۱-۶ اصول مد قفل زنی ۱۹

۱-۶-۱ مد قفل زنی پسیو ۲۱

۱-۶-۲ مد قفل زنی اکتیو ۲۴

۱-۷ لیزرهای چند طول موجی ۲۷

۱-۷-۱ دلیل تولید لیزرهای چند طول موجی ۳۱

۱-۸ کاربرد: ۳۲

۱-۹ تئوری و اساس فیبر براگ گریتینگ ۳۳

فصل دوم

۲ فصل دوم ۴۱

۲-۱ معادلات نرخ ۴۱
۲-۲ معادلات ماکسول در محیط همگن ۴۴
۲-۲-۱ مدهای فیبر ۴۴
۲-۲-۲ معادلهٔ اساسی انتشار ۴۴
۲-۲-۳ روش حل معادله غیر خطی شرودینگر ۴۶
۲-۳ تئوری ومدلسازی فیبرهای براگ گریتینگ ۵۰
۲-۳-۱ حل تحلیلی معادلات کوپلاژ برای گریتینگ های یکنواخت ۵۱
۲-۳-۲ گریتینگ یکنواخت ۵۳
۳ فصل سوم ۶۰
۳-۱ نتیجه گیری ۶۰
۳-۲ بررسی پمپ ۶۰
۳-۳ بررسی EDF ۶۱
۳-۴ بررسی گریتینگ ۶۳
۳-۵ مقایسه و نتیجه گیری ۶۵
۳-۶ پیشنهادات: ۶۶

فهرست شکل ها

شکل(۱-۱) ساختار های مختلفی برای کاواک[۱۰] ۸

شکل (۱-۲) تأثیر پراکندگی بر انتشار پالس ۱۲

شکل (۱-۳) ساختاری از یک EDFA [۳۱]. ۱۶

شکل (۱-۴) تأثیر مد قفل زنی بر توان خروجی[۳۰]. ۲۱

شکل (۱-۵)ساختاری از مد قفل زنی پسیو[۳۰]. ۲۲

شکل(۱-۶)ساختاری برای تولید پالس کوتاه به روش چرخش قطبش غیر خطی[۳۵] ۲۴

شکل(۱-۷)ساختاری از لیزر که بر چرخش قطبش غیر خطی به تولید لیزرهای پالس کوتاه می پردازد[۳۵]. ۲۴

شکل (۱-۸) روش عملکرد مد قفل زنی اکتیو[۳۱]. ۲۵

شکل (۱-۹)تولید پالس کوتاه به روش مد قفل زنی اکتیو با استفاده از مدولاتور فازLN[۳۱]. ۲۶

شکل (۱-۱۰)ساختاری برای تولید پالس کوتاه به روش مد قفل زنی اکتیو[۳۱]. ۲۷

شکل (۱-۱۱)روشی برای تولید پالس کوتاه با استفاده از ماخ زندر[۴۸]. ۲۷

شکل (۱-۱۲)خروجی لیزر چند طول موجی که با استفاده از ماخ زندر وتقویت کنندهی نیمه هادی چندین طول موج را تولید میکند[۴۸]. ۲۸

شکل(۱-۱۳)ساختار لیزر چند طول موجی که با استفاده از مدولاتور فاز به تولید چند طول موج می پردازد[۴۹]. ۲۹

شکل (۱-۱۴)خروجی لیزر چند طول موجی که با استفاده از مدولاسیون فاز به تولید چند طول موج می پردازد[۴۹]. ۲۹

شکل (۱-۱۵)لیزر چند طول موجی که از یک فیلتر اپتیکی برای تقسیم طول موج استفاده شده است. ۳۰

شکل (۱-۱۶)لیزر چند طول موجی با استفاده از اثرFWM ۳۱

شکل (۱-۱۷)فیبر توری براگ ۳۴
شکل (۲-۱)دیاگرام سیستم سه ترازه ۴۲
شکل (۲-۲)دیاگرامی از حل معادلهٔ شرودینگر غیر خطی ۴۹
شکل (۲-۳) ساختار لیزر فیبری طراحی شده ۵۷
شکل (۳-۱) بررسی تغییرات توان پمپ در طول کاواک توان اولیهٔ پمپ ۱۰۰میلی وات و در طول موج کاری ۱۴۸۰ میکرومتر در نظر گرفته شده است. ۶۱
شکل (۳-۲)تغییرات توان اولیه سیگنال در طول موج ۱۵۵۰میکرو متر ۶۱
شکل(۳-۳)خروجی بدست آمده ازEDF در اولین مسیر رفت و بازگشت که در حوزهٔ زمان وفرکانس نشان داده شده است. ۶۲
شکل (۳-۴)طیف خروجی EDF که برای گریتینگ ورودی محسوب میشود و گریتینگ با توجه به طول موج براگ خود درصدی از این طیف را منعکس و طیف باقیمانده را منتقل میکنند. ۶۲
شکل (۳-۵)نمودار ضریب انعکاس گریتینگ که در آن تغییرات در میزان توان بازتابش یک گریتینگ یکنواخت به ازای طول موج گریتینگ تعیین شده که با توجه به پهنای این نمودار میتوان پهنای پالس خروجی خود را تنظیم کنیم. پهنای طیف گریتینگ پیشنهادی پایاننامه از ۴۰تا ۸۰ نانو متر قابل تنظیم است. ۶۳
شکل (۳-۶)مشخصات انتقالی گریتینگ اول ۶۴
شکل (۳-۷)خروجی نهایی گریتینگ اول ۶۴
شکل (۳-۸)خروجی نهایی گریتینگ دوم ۶۵

فهرست جدول ها:

جدول(۱-۱) یونهای نادر زمینی و ویژگیهای آنها ۵

جدول (۱-۲) ثابت k برای شکل پالس های مختلف ۱۹

جدول (۲-۱) پارامترهای بکاررفته برای طراحی EDF ۴۹

جدول (۲-۲) پارامترهای در نظر گرفته شده برای طراحی گریتینگ ۵۸

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱ فصل اول

۱-۱ مقدمه

در سال ۱۹۰۰ ماکس پلانک مقاله‌ای منتشر کرد که می‌توان از آن برداشت کرد که نور شکلی از تشعشعات مغناطیسی است. شاید بدون این نظریه لیزر اختراع نمی‌شد. اصل لیزر در سال ۱۹۱۷توسط انیشتین به عنوان تئوری گسیل القایی شناخته شد[۱]. با این وجود تا سال ۱۹۴۰ مهندسان نتوانستند از این اصل به شکلی عملی استفاده کنند.

لیزر مخفف عبارت :**l**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation است، و به معنای تقویت نور توسط گسیل القایی پرتوها است. اولین لیزر جهان توسط تئودور مایمن اختراع گردید که از یاقوت در آن استفاده شده‌بود[۲۸]. در سال ۱۹۶۲ پروفسور علی جوان اولین لیزر گازی را به جهانیان معرفی نمود و بعدها نوع سوم و چهارم لیزرها که لیزرهای مایع و نیمه رسانا بودند اختراع شدند. فرکانس امواج نوری بین 10^{12} الی 10^{16}هرتز است. با اختراع لیزر و مشاهده‌ی این که نور لیزر شباهت زیادی به امواج الکترومغناطیسی ارسالی از یک فرستنده‌ی رادیویی دارد، فکر استفاده از لیزر برای انتقال اطلاعات به وجود آمد. فرکانس نور لیزر در حد 5×10^{14} هرتز، و ظرفیت انتقالی آن تقریباً 10^{5} برابر سیستم‌های مایکروویو است. در سال ۱۹۶۷ فرانسویان توسط اشعه لیزر، از ایستگاه‌های زمینی‌شان دو ماهواره خود را در فضا تعقیب کردند.

بدین ترتیب، لیزر بسیار کاربردی به نظر آمد. نورهایی که توسط لیزر گسیل می‌گردد، در یک سو و بسیار پرانرژی و درخشنده هستند، پرتوهای لیزر قدرت نفوذ بالایی دارند بطوریکه حتی می‌توانند در الماس نیز فرو روند. امروزه استفاده از لیزر در صنعت و پزشکی بسیار متداول است.

لیزرها سه قسمت اصلی دارند:

۱-پمپ انرژی یا چشمه انرژی: که انرژی لازم را برای وارونگی جمعیت فراهم می‌کند. منبع پمپ می-

تواند، از نوع اپتیکی یا شیمیایی و یا حتی یک لیزر دیگری باشد.

۲-ماده پایه و ناحیهٔ فعال: ماده‌ای است که می‌تواند انرژی را جذب و آزاد کند. و باریکه‌ی لیزر در این ناحیه تولید می‌شود

۳-تشدید کننده اپتیک: که فیدبک لازم را برای تقویت نور تولید شده ایجاد می‌کند.

محیط فعال تعیین کننده‌ی نوع لیزر است و به همین دلیل در بعضی از تقسیم‌بندی‌ها نام لیزر را با نام محیط فعال آن مشخص می‌کنند. منظور از محیط فعال مجموعه ایی از اتم ها و یا مولکول-هاست که می‌توان در آن وارونگی جمعیت ایجاد کرد و در نتیجه، تابش الکترومغناطیسی را توسط گسیل القایی حاصل نمود.

۱-۱-۱لیزر فیبری

در این لیزرها ماده فعال بصورت ناخالصی در درون یک فیبر آلائیده شده‌است. این آلائیدگی می-تواند در هسته و یا در غلاف فیبر قرار گیرد. محیط بهره با آلایش خاک‌های کمیاب[1]مانند اربیوم (Er)، نئودیمیوم (Nd)، ایتربیوم (Yb)، تالیوم (Tm)، پراسئودیمیوم (Pr)، دیسپروسیوم (Dy) و هالمیوم (Ho) است.

اولین لیزر فیبری توسط الیاس اسنایزر[2] در اوایل سال ۱۹۶۱ اختراع گردید، که در آن از نئودیم با قطر هسته ۳۰۰میکرومتر و از یک فلش لامپ حلزونی شکل بعنوان منبع پمپ استفاده کرد[۲]. بعدها در سال ۱۹۶۵ با کمک ودکک[3] او شیشه‌هایی اختراع کرد که با اربیوم[4] و ایتربیوم[5] دوپ شده-اند (ذره کوچک یون با هسته فیبر ترکیب می‌شود که به این فرایند دوپ کردن گویند.) بدین ترتیب به نوسان در محدوده ۱/۵۴ میکرومتر دست یافت که او در این ساختار هم از فلش لامپ به عنوان

[1] Rare Earth Doped fiber
[2] Elias Snitzer
[3] R.Woodcock
[4] Erbium
[5] Ytterbium

منبع پمپ استفاده کرد[۳]. در طی فرآیند دوپ، در ناحیه‌ی فعال، فوتون‌ها در هستهٔ فیبر گرفتار می‌شوند وجود این یون‌ها میزان جذب فوتون را افزایش می‌دهد. اربیوم که طول موج نشر آن ۱/۵۴ میکرومتر است اواسط ۱۹۶۰مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت[۵و۴]. زیرا که این طول موج، طول موجی است که در آن تلفات از (0.15 dB/km)پایین است. برای انتقال اطلاعات برای فواصل دور مناسب است. استفاده از فیبرهای نوری در مخابرات از اوایل ۱۹۷۰ آغاز گردید. تاکید اولیه در استفاده از نئودیم و اربیوم بود که بعدها از سایر این یون‌ها چون ایتربیوم و تالیوم[1] هم استفاده شد. در سال ۱۹۷۴ جولیان ستون[2] و کارلس باروس[3] در آزمایشگاه بل از فیبر سیلیکا تلفات پایین، برای ساخت لیزر فیبری دوپ شده با نئودیم استفاده کردند، که در این آزمایش از دیود لیزر به عنوان منبع پمپ استفاده شده بود[۵]. اما تکنولوژی آن‌ها ضعیف بود چرا که توان دیودها و طول عمر آن‌ها پایین بود، و خروجی لیزرحاصل کیفیت و پایداری کمی داشت.

در اواخر سال ۱۹۸۰ بود که تحقیق در زمینه لیزرهای فیبری دوپ شده با عناصر خاک‌های کمیاب افزایش یافت،(به دلیل کاربردی بودن این نوع فیبرها) [۷و۶]، در جدول **جدول(۱-۱)** به [۸] انواع یون دوپ، طول موج و ناحیه عملکرد آن‌ها اشاره شده است. به طوری که مشاهده می‌شود محدودهٔ عملکرد این لیزرها از ۳۵۰۰-۴۵۰ نانومتر است. ونیز گذارهای لیزری متفاوت موجود در یونهای خاک‌های کمیاب به آنها توانایی ایجاد خروجی در یک بازه وسیع، از ماورائ بنفش تا مادون قرمز وسط را می‌دهد. وجود این یون‌ها در فیبر جذب توان پمپ را افزایش می‌دهد. لیزرهای فیبری دوپ شده می‌توانند به دو صورت پالسی و موج پیوسته عمل کنند.

لیزرهای فیبری دارای مزیت‌های فراوانی نسبت به سایر انواع لیزرها هستند. در مقایسه با بسیاری از لیزرهای جامد وگازی، لیزرهای فیبری ساده‌تر و کم وزن‌تر هستند و می‌توانند به راحتی توسط دیود پمپ شوند. طیف بهرهٔ وسیعی دارند که این ویژگی طیفی سبب شده لیزر فیبری در زمینهٔ

[1] thulium
[2] Julian stone
[3] Charles Burrus

مخابرات نوری و یا ساخت قطعات نوری، سویچ های فتونیکی، ذخیره اطلاعات، سنسورها، کاربردهای پزشکی و...استفاده شود.

در کل مزایای لیزرهای فیبری را می توان به چند دسته تقسیم کرد:

۱) شدت و ساختارپمپ، فیبرهای تک مد موجب کاهش توان آستانهٔ آن‌ها در حد چند صد میکرو وات می‌شود در نتیجه بازده افزایش می‌یابد.
۲) ساختار فیبرها به گونه‌ای است که خنک کردن این نوع لیزرها را آسان میکند و دیگر نیازی به خنک کننده‌های بزرگ نیست در نتیجه تلفات ناشی از افزایش حرارت در لیزرهای فیبری کم است.
۳) موجبرهای فیبری محیط‌های پایداری برای انتشار نور فراهم می‌کنند.
۴) طول طولانی کاواک فیبرها منجر به کاهش پهنای خط می‌شود. همچنان سبب می‌شود تنظیم طول موج در این نوع لیزرها راحت‌تر باشد.
۵) توان خروجی بالا و شدت نویز پایین، خروجی این نوع لیزرها در حد چندین کیلو وات نیز گزارش شده است.
۶) قیمت پایین، وکیفیت خوب پرتو لیزر بدلیل حبس نور در هستهٔ فیبری با قطر کم

جدول(۱-۱) یون‌های نادر زمینی و ویژگی‌های آن‌ها

Doped Ion	Transition	Type of fiber	Wavelength (μm)
Er^{3+}	$^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$	Fluoride	0.55
	$^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	Fluoride	0.85
	$^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$	Fluoride	0.98
	$^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$	Silica / Fluoride	1.55
	$^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$	Fluoride	3.5
Nd^{3+}	$^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$	Silica	0.92
	$^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	Silica	1.06
	$^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	Silica / Fluoride	1.35
Ho^{3+}	$^5S_2 \rightarrow {}^5I_8$	Fluoride	0.55
	$^5S_2 \rightarrow {}^5I_5$	Fluoride	1.35
	$^5I_7 \rightarrow {}^5I_8$	Silica / Fluoride	2.08
Pr^{3+}	$^3P_0 \rightarrow {}^3H_4$	Fluoride	0.49
	$^3P_1 \rightarrow {}^3H_4$	Fluoride	0.52
	$^1D_2 \rightarrow {}^3F_4$	Silica	1.05
Tm^{3+}	$^3G_4 \rightarrow {}^3H_5$	ZABLAN	0.48
	$^3H_4 \rightarrow {}^3H_6$	Fluoride	0.80
	$^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$	Silica / Fluoride	1.90
Sm^{3+}	$^3G_{5/2} \rightarrow {}^4H_{9/2}$	Silica	0.65
Yb^{3+}	$^4F_{5/2} \rightarrow {}^4H_{7/2}$	Silica / Fluoride	1.02

اما مشکلی در ارتباط با این نوع لیزرها وجود دارد این است که هسته لیزر نسبت به مساحت لازم برای متمرکز کردن پرتوهای کم کیفیت لیزر دیود بسیار کوچک است. بنابراین ما برای متمرکز کردن پرتوها، هسته را با غلاف بزرگ می‌پوشانیم. که این پوشش سبب تمرکز پرتوهای لیزر دیود در فیبر می‌شود. ودر نتیجه سبب جذب مقدار بیشتری از پرتوهای لیزر دیود می‌گردد.

کاربرد لیزرهای فیبری: مخابرات نوری، سویچ‌های فتونیکی، فناوری‌های مربوط به حسگرها، توسعه کیفیتی ادوات نوری توان بالا و تقویت کننده‌های نوری

۱-۱-۲اساس لیزرهای فیبری

اساس کار لیزرهای فیبری مورد استفاده، همانند دیگر لیزرهاست. اما ویژگی‌های مختلف آن را خاص و مفید می‌کند. در اتم‌ها الکترون‌ها در حالت پایدار در ترازهایی[۱] قرار دارند، که با دادن انرژی (با جذب فوتونی برابر با انرژی بین دو تراز) به ترازهای بالاتری[۲] می‌روند. در لیزر ابتدا ما الکترون را به تراز بالاتر می‌فرستیم، که به آن پمپ کردن[۳] گویند که به روش‌های مختلف انجام می‌شود. اما معمول‌ترین روش بمباران کردن اتم با نور است. برای پمپ لیزرهای فیبری از منابع نوری و یا لیزرهای دیگری استفاده می‌شود. که طول موج آن‌ها پمپ ۹۸۰نامتر ویا ۱۴۸۰ نانومتر است.

بعد از پمپ در بیشتر موارد الکترون در تراز ناپایداری قرار می‌گیرد و به سرعت به تراز پایین‌تر باز می‌گردد. ما تراز فراناپایدار[۴] می‌خواهیم داشته باشیم، فرا ناپایداری به معنی این است که الکترون برای مدتی در حالت معلق می‌ماند قبل از این که به تراز پایین‌تر بازگردد. در نتیجه برای ایجاد وارونگی جمعیت ماده یا محیط فعالی لازم است که دارای پاسخ فرا ناپایدار باشد. در محیط لیزر بعد از پمپ الکترون‌ها مدتی در این تراز می‌ماند در این صورت ما الکترون‌های بسیاری خواهیم داشت که در تراز فراناپایدار معلق مانده‌اند که در این حالت به اصطلاح گویند که وارونی جمعیت رخ داده است.

[1] ground state
[2] excited state
[3] pumping
[4] Meta stable

سپس این الکترون‌ها به تراز پایین باز می‌گردند. همه این پدیده‌ها برای تک تک الکترون‌ها رخ می-دهد. در نتیجه یک سری به وجود می‌آید. ورود یک فوتون نیز باعث تحریک و بازگشت فوتون به تراز پایه می‌شود. که در این صورت هر فوتونی که آزاد می‌شود که دارای همان فرکانس فوتون ورودی است.که به این پدیده گسیل القایی گویند. که هر کدام از این فوتون‌ها می‌توانند فوتون‌های دیگری را آزاد کنند. در نهایت ما پرتو لیزر را خواهیم داشت که همه‌ی فوتون‌های آزادی دارای همان فرکانس فوتون ورودی هستند.

برای اینکه خروجی لیزر دارای کیفیت خوب باشد لازم است که روند پمپ کردن را ادامه دهیم، و پرتوهای ما چندین بار به ناحیهٔ فعال بازگردند و تقویت شوند. و مسیر کاواک را طی کنند.

دو پارامتر مهم برای خروجی هر لیزر توان آستانه و بازده آن است، توان آستانه توانی است که بعد از آن لیزر توان پمپ را به توان خروجی تبدیل می‌کند. توان آستانه را از میزان بهرهٔ لازم برای غلبه بر تلفات موجود در لیزر در هر مسیر رفت و برگشت نیز بدست می‌آورند[۹].

۱-۲ ساختار کاواک لیزر های فیبری

کاواک لیزرهای فیبری را می‌توان به صورت‌های مختلفی طراحی کرد. رایج‌ترین شکل برای کاواک لیزرها، کاواک‌های فابری-پیرو است، که بیشتر در لیزرهایی چون لیزر یاقوتی و لیزر حالت جامد بکار می‌رود، کاواک فابری-پیرو[1] با قرار دادن ناحیهٔ فعال بین دو آینه، آینه‌هایی با ضریب انعکاس بالا نزدیک به ٪۱۰۰ ساخته می‌شود. برای اینکه خروجی داشته باشیم لازم است تا درصدی از الکترون از کاواک خارج شود. بنابراین یکی از آینه‌ها را با ضریب انعکاس کمتر از صد درصد می-سازند.

این روش می‌تواند به لیزرهای فیبری هم اعمال شود، اما در لیزرهای فیبری برای باقی ماندن به صورت ساختار تمام فیبری و کاهش تلفات این آیینه‌ها باید کاملاً به انتهای فیبرها کوپل شوند. که

[1] fabry-perot

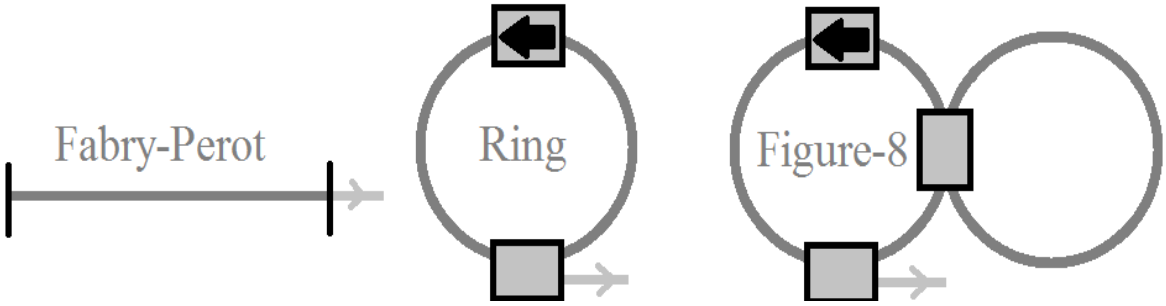
اولین طرح این نوع کاواک‌ها در سال ۱۹۸۵ ارائه گردید[۱۰]. که در آن از آینه‌های دی الکتریک با ضریب انعکاس بالا درطول موج ۱/۰۸۸ میکرومتر استفاده شد که طول موج پمپ آن در ۰/۸۲میکرومتر بودند. از مزایای این نوع کاواک‌ها توان آستانهٔ لیزر پایین آن‌هاست. از معایب این روش می‌توان موارد زیر را نام برد:

۱) تنظیم این نوع کاواک‌ها آسان نبود. چرا که با کوچکترین انحراف بین آینه و فیبر تلفات به شدت افزایش می‌یابد،

۲) آینه‌ها به شدت به نقص و معایب انتهای فیبرها حساس هستند.

۳) پمپ توان بالا می‌تواند به آینه‌ها صدمه بزند.

با توجه به دلایل ذکر شده، حرکتی برای استفاده از ساختارهای حلقوی ایجاد شد. این نوع ساختارها علاوه بر اینکه تلفات کمتری داشتند دارای خاصیت خود احیا شوندگی نیز هستند. و معمولاً به صورت یک طرفه استفاده می‌شوند، و برای این منظور از یک جداکننده استفاده می‌کنند. در چنین ساختارهایی معمولاً از کنترل کننده‌های قطبش برای فیبرهایی که هنگام عبور نور پلاریزه نور تغییر می‌کند تعبیه می‌کنند. در ساده‌ترین شکل کاواک‌های حلقوی دو خروجی تزویجگرهای WDM بهم وصل می‌شدند تا شکلی حلقوی ایجاد کنند.



شکل(۱-۱):ساختار های مختلفی برای کاواک[۱۰]