بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی مولکولی

طراحی لیزر حالت جامد پیکو ثانیه‌ای با استفاده از آینه‌های نیمرسانای جاذب اشباع‌پذیر

استادان راهنما:

دکتر محمود سلطان‌الکتابی

دکتر مرتضی حاجی‌محمودزاده

استاد مشاور:

مهندس مهدی دهقان باغی

پژوهشگر:

مرضیه عرفانی‌جزی

مهر ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه اصفهان است.

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی مولکولی

خانم مرضیه عرفانی جزی تحت عنوان

طراحی لیزر حالت جامد پیکو ثانیه‌ای با استفاده از آینه‌های نیمرسانای جاذب اشباع‌پذیر

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

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمود سلطان‌الکتابی	با مرتبه‌ی علمی	امضا
۲- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر مرتضی حاجی‌محمودزاده	با مرتبه‌ی علمی	امضا
۳- استاد داور داخل گروه	دکتر	با مرتبه‌ی علمی	امضا
۳- استاد داور خارج از گروه	دکتر	با مرتبه‌ی علمی	امضا

امضای مدیر گروه

از زحمات استادان گران قدرم، جناب آقای دکتر محمود سلطان الکتابی و آقای دکتر مرتضی حاجی محمودزاده و جناب آقای مهندس مهدی دهقان از مرکز صنایع اپتیک و لیزر اصفهان و مسئولین محترم آن مرکز، کمال تشکر را دارم.

تقدیم به آنان که

عشق را برایم معنا می‌کنند...

پدر و مادر نازنینم و همسر مهربانم

چکیده

هدف از این پایان نامه طراحی لیزر حالت جامد Nd:YAG با پهنای تپ پیکوثانیه با استفاده از آینه‌های نیمرسانای جاذب اشباع پذیر SESAM است. دو روش کلی برای قفل‌بندی مدهای طولی لیزری وجود دارد :۱- قفل‌بندی مدی کنا که از مدوله ساز کنای دامنه، AM، و یا از مدوله ساز فازی، FM، استفاده می‌شود ۲- قفل‌بندی مدی ناکنا که از مدوله ساز خود دامنه SAM تپ کوتاه تشکیل می‌شود. استفاده از SESAM یکی از روش‌های SAM برای مدوله ساز اتلافی است. ساختارهای SESAM بخاطر قابلیت ایجاد تغییر در خواص اپتیکی خطی و غیر خطی آنها نظیر شار اشباع ϕ_{sat}، زمان واهلش، τ_a، عمق مدوله سازی، ΔR، و اتلاف غیر اشباع‌پذیر، R_{ns}، در سامانه‌های لیزری گوناگون و برای مقاصد مختلف پزشکی، صنعت، نظامی و مخابرات و ارتباطات، قابل طراحی است. در طراحی و انتخاب SESAM برای تولید قطار پیوسته تپی در لیزرهای حالت جامد همواره دو شرط خود شروع شدگی وجلوگیری از ناپایداری کلید زنی Q باید در نظر گرفته شود. در انجام این پایان نامه با در نظر گرفتن دو شرط مذکور و همچنین شرایط پایداری تشکیل تپ و حد آستانه تخریب SESAM مورد نظر، یک نمونه SESAM مناسب با مشخصات $\Delta R = 0.6\%$ ، $R_{ns} = 0.4\%$ ، $\phi_{sat} = 70\frac{\mu J}{cm^2}$ ، $\tau_a = 10ps$ ، $a_0 = 1\%$ و حد آستانه تخریب $1\frac{GW}{cm^2}$ برای قفل‌بندی مدی پیوسته لیزر Nd:YAG دمش از پهلو طراحی شده است. در ادامه با استفاده از برنامه‌ی Film Wizard با تغییر هر یک از عوامل ساختاری SESAM یک الگوی آرمانی برای طول موج لیزری حدود $1\mu m$ معرفی شده است. در طراحی بازآواگر لیزری قفل‌شده مدی عوامل مختلفی از جمله راه نوری، شعاع آینه کروی، توان دمش لیزر دیودها، و محل مناسب روزنه بر شرایط پایداری و ایجاد تپ موثر است. از این رو در این پایان نامه اثر هر یک از عوامل یاد شده بر خروجی و پایداری لیزر و همچنین اثرات حرارتی القایی بازاواگر از دیدگاه نظری با برنامه‌ی نوشته شده در محیط MATLAB و در آزمایشگاه از نظر تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی‌ها در آخر منجر به طراحی بازآواگر V شکل تشکیل یافته از دو آینه تخت جلویی و عقبی و شعاع آینه کروی $r_c = 3000mm$ راه نوری $131.83cm$، نرخ تکرار $113MHz$، و توان دمش در محدوده‌ی $260-270W$ شده است. بهترین مکان قرارگیری روزنه برای ایجاد تک مد عرضی لیزری در بازوی V شکل در نظر گرفته شد. در آخر با مطالعات و بررسی‌های انجام گرفته، یک نمونه بازآواگر آرمانی و SESAM مناسب به‌عنوان مدوله‌ساز اتلافی برای قفل‌بندی مدی طولی لیزر Nd:YAG دمش از پهلو معرفی شده است.

کلید واژه‌ها:

قفل‌بندی مدی ناکنا، جاذب اشباع‌پذیر، آینه‌های نیمرسانای جاذب اشباع‌پذیر، لیزرNd: YAG دمش دیودی پیوسته.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: قفل‌بندی مدی

مقدمه ۱

۱-۱مد عرضی و طولی در بازآواگر لیزری ۲

۱-۲ مقدمه قفل بندی مدی ۴

۱-۳ قفل بندی مدی ۶

۱-۴ انواع قفل بندی مدی ۹

۱-۴-۱ مدوله سازی دامنه ۱۱

۱-۴-۲ مدوله سازی فاز ۱۲

۱-۵ معادلات اولیه ۱۳

۱-۶ پهنای زمانی و پهنای طیفی ۱۶

۱-۷ پاشندگی ۱۸

۱-۷-۱تپ گاوسی ۱۹

فصل دوم: مشخصه‌های قفل‌بندی مدی و انواع آن

۲-۱تاریخچه تولید تپ‌های بسیار کوتاه پایدار در لیزرهای حالت جامد ۲۰

۲-۲ قفل بندی مدی با بازآواگر جفت شده (CML) و پیدایش SESAM's ۲۳

۲-۳ قفل‌بندی مدی با روش KLM ۲۵

۲-۳-۱ اثر غیرخطی کر ۲۶

۲-۴ عوامل موثر در شکل‌گیری تپ ۲۹

۲-۵ معادله اصلی قفل‌بندی مدی ۳۴

۲-۶ جاذب اشباع پذیر ۳۴

۲-۶-۱ قفل بندی مدی با جاذب اشباع‌پذیر سریع ۳۵

۲-۶-۲ قفل‌بندی مدی با جاذب اشباع پذیر کند همراه با اشباع محیط بهره ۳۸

۲-۶-۳ مد پیوسته و مد تپی درجاذب اشباع‌پذیر سریع ۴۱

۲-۷ روش‌های قفل‌بندی مدی ناکنا با جاذب اشباع‌پذیر ۴۲

عنوان **صفحه**

۲-۸ الگوهای قفل‌بندی مدی ناکنا در لیزرهای حالت جامد ۴۲
۲-۹ قفل شدگی مدی ناکنا در لیزر تپی ۴۶
۲-۱۰ قفل شدگی مدی ناکنا در لیزر پیوسته ۴۶

فصل سوم: آینه‌های نیمرسانای جاذب اشباع پذیر

مقدمه ۴۸
۳-۱ آینه‌های نیمرسانای جاذب اشباع‌پذیر (SESAM'S) ۴۹
۳-۱-۱ ساختار آینه‌های نیمرسانای جاذب اشباع‌پذیر ۵۰
۳-۲ پرشدگی نواری غیر خطی ۵۳
۳-۳ خواص ماکروسکوپی SESAM'S ۵۶
۳-۳-۱ عمق مدوله‌سازی ΔR و اتلاف غیراشباع پذیر ΔR_{ns} ۵۷
۳-۳-۲ شار اشباع $F_{Sat,a}$ و شدت اشباع $I_{Sat,a}$ ۵۸
۳-۳-۳ تعیین $\Delta R_{ns}, \Delta R, F_{sat,a}$ به روش آزمایشگاهی ۵۸
۳-۳-۴ زمان واهلش جاذب اشباع‌پذیر ۵۹
۳-۴ روش‌های رشد SESAM'S ۶۱
۳-۵ شار اشباع جاذب $F_{Sat,a}$ و شروع چندین تپ لیزری کوتاه ۶۱
۳-۶ زمان تولید تپ‌های قفل شده (MBT) ۶۲
۳-۶-۱ شرط خود شروع شدگی قفل شدگی مدی پیوسته ۶۲
۳-۷ عوامل موثر بر آستانه‌ی تخریب SESAM'S ۶۴
۳-۸ مرز بین کلیدزنی Q، قفل بندی مدی کلیدزنی Q و قفل بندی مدی پیوسته در لیزرهای حالت جامد ۶۵
۳-۸-۱ شرایط مرزی برای کلیدزنیQ پیوسته (CW-QS) ۶۶
۳-۸-۲ شرایط مرزی برای لیزر قفل شده مدی کلیدزنیQ ۶۷
۳-۹ سطح مقطع مد روی محیط بهره و جاذب ۷۰
۳-۱۰ نتایج شبیه‌سازی یک نمونه ساختارSESAM مناسب در گستره‌ی طول موجی حدود $1\mu m$ ۷۰

عنوان **صفحه**

فصل چهارم: طراحی سامانه‌ی قفل‌شده‌ی پیوسته مدی لیزر Nd:YAG

مقدمه ۷۳
۴-۱ ایجاد گرما در اثر دمش نوری محیط فعال ۷۴
۴-۲ اثر نوری-کشسانی ۷۵
۴-۳ عدسی گرمایی ۷۷
۴-۴ اثر دوشکستی ۷۹
۴-۵ جبران اعوجاج‌های نوری ۸۰
۴-۶ آستیگمات ۸۱
۴-۷ نتایج شبیه‌سازی ۸۳
۴-۷-۱ تغییر طول راه نوری بازآواگر ۸۴
۴-۷-۲ بررسی تاثیر طول راه نوری بازآواگر بدون حضور تیغه‌ی بروستر ۸۶
۴-۷-۳ بررسی اثر شعاع انحنای آینه‌ی کروی ۸۷
۴-۷-۴ توان، شار، و انرژی داخلی ۸۹
۴-۸ انتخاب آینه نیمرسانای جاذب اشباع پذیرمناسب ۹۰

فصل پنجم: آماده سازی بازآواگر لیزری برای قفل‌بندی مدی پیوسته

مقدمه ۹۲
۵-۱ سامانه‌ی خطی ۹۳
۵-۲ اندازه‌گیری فاصله کانونی عدسی گرمایی بلور Nd:YAG ۹۴
۵-۳ برپایی بازآواگر V شکل ۹۵
۵-۳-۱ بدست آوردن مد پایه‌ی TEM_{00} ۹۶
۵-۳-۲ محاسبه قطر لکه بر آینه عقبی ، توان، و شار انرژی داخل بازآواگر لیزری ۹۸
۵-۴ بهینه سازی و پایدار سازی بازآواگر v شکل ۹۹
۵-۴-۱ بهینه مقدار طول بازآواگر ۱۰۰
۵-۴-۲ بهترین مکان برای قرار دادن روزنه و بهینه مقدار شعاع آینه کروی ۱۰۲

عنوان **صفحه**

۵-۴-۳ بهینه سازی توان دمش سامانه ۱۰۶
۵-۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۰۸
منابع و مآخذ ۱۱۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ طرح ساده لیزر قفل شده مدی وقطار تپی خروجی..... ۲

شکل ۱-۲ طیف اتلاف و بهره‌ی لیزری،مکان مدهای طولی،وخروجی لیزر چندین مدی ۳

شکل ۱-۳ مدهای عرضی در بازآواگر لیزری ۴

شکل ۱-۴ نمایه‌ی شدت در فضای بسامد وزمان، نمایه‌ی فاز در فضای بسامد وزمان در یک لیزر بدون قفل شدگی مدی ۵

شکل ۱-۵ نمایه‌ی شدت در فضای بسامد وزمان و نمایه‌ی فاز در فضای بسامد وزمان در یک لیزر با قفل شدگی مدی ۶

شکل ۱-۶ حاصل جمع چهار موج سینوسی با دامنه مساوی E_o و فاصله جدایی بسامدی δw ۸

شکل ۱-۷ تاثیر تعداد مد قفل شده بر پهنای تپ،توان قله،و توان متوسط ۸

شکل ۱-۸ مدوله ساز اتلافی داخل بازآواگر به گونه‌ای عمل می‌کند که شدت لیزری را به صورت یک تپ کوتاه خارج کند ۱۲

شکل ۱-۹ میدان الکتریکی مربوط به دو تپ لیزری..... ۱۴

شکل ۱-۱۰ میدان الکتریکی،وابستگی بسامد به زمان، دامنه طیفی، و فاز طیفی تپ چیرپ افزایشی ۱۵

شکل ۱-۱۱ نمایه‌ی طیف بسامدی و نمایه‌ی زمانی شدت تپ متناظر برای تپ‌های استاندارد ۱۶

شکل ۲-۱خروجی اولین لیزر تپی ۲۰

شکل ۲-۲ پهنای تپی قفل شده برای محیط‌های لیزری مختلف ۲۱

شکل ۲-۳ وابستگی زمانی توان لیزری..... ۲۲

شکل ۲-۴ کاواک اصلی وکاواک کمکی در الگوی بازآواگر جفت شده..... ۲۳

شکل ۲-۵ بازآواگر جفت شده و نحوه‌ی تاثیر محیط بهره در کاواک اصلی و محیط غیر خطی به همراه مدوله ساز اتلافی در کاواک کمکی بر کوتاه شدن تپ لیزری ۲۴

شکل ۲-۶ اثر خودکانونی پرتو در جاذب اشباع‌پذیر مصنوعی سریعKLM..... ۲۶

شکل ۲-۷ کوتاه شدن پهنای تپ تحت تاثیر روزنه نرم(هم‌پوشانی در محیط بهره) و یا روزنه‌ی سخت (واردکردن روزنه قابل تنظیم) ۲۷

شکل ۲-۸ سیر تکاملی تولید تپ‌های بسیار کوتاه لیزری در لیزرهای حالت جامد ۲۹

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۹مدهای اصلی لیزری و مدهای جدید ناشی از اثر خود قفل بندی در محیط غیرخطی ۳۱
شکل ۲-۱۰ بازآواگر تپی لیزری شامل بهره ومدوله ساز اتلافی ۳۲
شکل ۲-۱۱ منحنی تغییرات اتلاف،بهره،و شدت تپ تشکیل شده بر حسب زمان در قفل بندی مدی‌کنا ۳۲
شکل ۲-۱۲ منحنی تغییرات اتلاف،بهره،و شدت تپ تشکیل شده بر حسب زمان در قفل بندی مدی ناکنا ۳۳
شکل ۲-۱۳ منحنی تغییرات اتلاف،بهره، و توان تپ تشکیل شده بر حسب زمان در قفل بندی مدی با جاذب اشباع پذیر سریع ۳۶
شکل ۲-۱۴ الگوی جاذب اشباع پذیر سریع خطی ایده‌ال در مقابل الگوی غیر خطی جاذب ۳۸
شکل ۲-۱۵ سه الگوی قفل‌بندی مدی ناکنا در لیزرهای حالت جامد ۴۳
شکل ۲-۱۶ منحنی تغییرات اتلاف،بهره،و توان تپ تشکیل شده بر حسب زمان در قفل بندی مدی با جاذب اشباع پذیر کند وتشکیل سالیتون ۴۴
شکل ۲-۱۷ تشکیل سالیتون ۴۵
شکل ۲- ۱۸ مراحل رشد نوفه‌های اولیه در لیزر پیوسته تا تشکیل تک تپ قفل شده ۴۶
شکل ۳-۱ استفاده از آینه‌های در برگرفته‌ی جاذب نیمرسانای اشباع‌پذیر در لیزر قفل‌بندی شده حالت جامد ۴۹
شکل ۳-۲ ساختار یک نمونهSESAM ۵۱
شکل ۳-۳ طراحی‌های مختلف برایSESAM ۵۲
شکل ۳-۴ نحوه‌ی تغییر بازتاب و تاخیر سرعت گروه بر حسب تابع موج در مد پادبازآواگری ۵۲
شکل ۳-۵ بازتاب جاذب بر حسب شار تپ فرودی و منطق کردن نتایج تجربی و استخراج $\Delta R, F_{Sat}$ و ΔR_{ns} ۵۷
شکل ۳-۶ مقادیر اندازه‌گیری شده برای $\Delta R_{ns}, \Delta R\ F_{Sat,a}$ ۵۹
شکل ۳-۷ نمودار جذب جاذب نیمرسانا بر حسب زمان و مشخص کردن انواع روش‌های واهلش ۶۰
شکل ۳-۸ شرایط پایداری برای CW-QS به ازای مقادیر مختلف $2q_0T_g$ ۶۷
شکل ۳-۹ نمودار ضریب بازتاب(٪) بر حسب طول موج (nm) ۷۱

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۱ ترازهای انرژی یک ماده لیزری چهار ترازی..... ۷۵

شکل ۴-۲ (a) جهت‌گیری رشد بلوری برای میلهNd:YAG .(b) جهت‌گیری مشخصه‌ی کرنش گرمایی در صفحه‌ی عمودبرمحورمیله..... ۷۶

شکل ۴-۳ توزیع حرارتی ناشی از دمش میله‌ی لیزری و سردسازی سطح خارجی، نمایه‌ی سهمی شکل برای توریع دما ایجاد کرده است..... ۷۸

شکل ۴-۴ جهت‌گیری مشخصه‌ی مربوط به میله‌ی تحت تاثیر کرنش- گرمایی..... ۸۰

شکل ۴-۵ اختلاف راه نوری بر حسب شعاع میله تحت تابع توان دمش..... ۸۰

شکل ۴-۶ استفاده از چرخنده‌ی فارادی برای جبران اثر دوشکستی در بازآواگر لیزری..... ۸۱

شکل ۴-۷ استفاده از مولفه‌ی اپتیکی نامتقارن در بازآواگر لیزری و ایجاد اثر آستیگمات..... ۸۲

شکل ۴-۸ استفاده از آینه‌ی کروی برای جبران آستیگمات ناشی از نحوه‌ی قرارگیری میله‌ی لیزری..... ۸۳

شکل ۴-۹ بازآواگر V شکل حاوی تیغه‌ی بروستر..... ۸۳

شکل ۴-۱۰ شعاع پرتو در طول بازآواگر لیزری V شکل با حضور تیغه‌ی بروستر..... ۸۵

شکل ۴-۱۱ بازآواگر لیزری V شکل بدون حضور تیغه‌ی بروستر ۸۶

شکل ۴-۱۲ شعاع پرتو در طول بازآواگر لیزری V شکل بدون حضور تیغه‌ی بروستر..... ۸۷

شکل ۴-۱۳ شعاع لکه بر آینه‌ی عقبی در راستای محور y در فاصله‌ی L_3..... ۸۸

شکل ۴-۱۴پهنای باند بازتابندگی نمونه SESAM سفارشی..... ۹۱

شکل ۵-۱ طرح ساده لیزر با برپایی خطی..... ۹۳

شکل ۵-۲ برپایی سامانه برای اندازه‌گیری فاصله کانونی عدسی گرمایی بلور Nd:YAG از روش همگرایی پرتویHe-Ne ۹۴

شکل ۵-۳ برپایی بازآواگرV شکل لیزر پیوسته‌ی دمش از پهلو..... ۹۵

شکل ۵-۴ برپایی بازآواگرV شکل وقرار دادن روزنه در فاصله‌یd_1 از میله‌ی لیزری ۹۶

شکل ۵-۵ نمایه خروجی لیزر با توان ورودی $290\ W$ ۹۷

شکل ۵-۶ برپایی بازآواگرV شکل وقرار دادن روزنه در فاصله‌یd_2 از آینه‌ی عقبی ۹۷

شکل ۵-۷ نمایه خروجی لیزر با توان ورودی $290\ W$ وقرار دادن روزنه در فاصله‌یd_2 از آینه‌ی عقبی.۹۸

شکل ۵-۸ نمایه خروجی لیزر مربوط به داده‌های جدول(۵-۷)سطر۱ ..... ۱۰۱

شکل ۵-۹ نمایه خروجی لیزر مربوط به داده‌های جدول(۵-۷)سطر۳..... ۱۰۱

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۱۰ نمایه خروجی لیزر مربوط به داده‌های جدول (۵-۷) سطر۴ ..... ۱۰۲
شکل ۵-۱۱ نمایه خروجی لیزر مربوط به داده‌های جدول (۵-۸) سطر۱ ..... ۱۰۳
شکل ۵-۱۲ نمایه خروجی لیزر مربوط به داده‌های جدول(۵-۸)سطر۲ ..... ۱۰۴
شکل ۵-۱۳ نمایه خروجی لیزر مربوط به داده‌های جدول(۵-۸)سطر۳ ..... ۱۰۴
شکل ۵-۱۴ نمایه خروجی لیزر با توان دمش $260W$ ۱۰۵
شکل ۵-۱۵ نمایه خروجی لیزر به ترتیب از راست مربوط به داده‌های جدول (۵-۹) ۱۰۶
شکل ۵-۱۶ درصد انطباق نمایه بر منحنی گاوسی در راستای محور **x**، به ترتیب از راست مربوط به داده‌های جدول (۵-۹) ۱۰۶
شکل ۵-۱۷ درصد انطباق نمایه بر منحنی گاوسی در راستای محور y، به ترتیب از راست مربوط به داده‌های جدول (۵-۹) ۱۰۷
شکل ۵-۱۸ آماده سازی لیزر **Nd:YAG** دمش دیودی پیوسته برای قفل‌بندی مدی ۱۰۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ ویژگی‌های چند نمونه ازمحیط‌های بهره‌ی لیزری ۱۱

جدول ۱-۲ مثال‌هایی از نمایه‌های تپ استاندارد و مشخصات آنها در فضای زمان و بسامد ۱۷

جدول ۲-۱ سطح مقطع گسیل القایی درلیزرهای حالت جامد،رنگینه‌ای، ونیمرسانا..... ۳۹

جدول ۳-۱ تاثیر کمیت‌های فیزیکی قابل مهندسی بر ویژگی‌های ماکروسکوپی قابل اندازه‌گیری.....۵۱

جدول ۳-۲ ساختارهای مورد استفاده برای چند نمونه ماده فعال لیزری..... ۵۳

جدول ۴-۱ مشخصات بلور Nd:YAG ۷۷

جدول ۴-۲ بررسی اثر تغییر طول بازاواگر بر پایداری و شعاع پرتو روی آینه‌ی عقبی لیزر..... ۸۴

جدول ۴-۳ بررسی تغییر طول بازآواگر بر پایداری،نرخ تکرار، شعاع پرتو روی آینه‌ی عقبی لیزر انرژی و شار داخلی.....۸۶

جدول ۴-۴ بررسی شعاع انحنای آینه‌ی کروی بر نرخ تکرار، شعاع پرتو روی آینه‌ی عقبی لیزر، انرژی و شار داخلی ۸۸

جدول ۴-۵ نحوه‌ی تغییرات توان، شار، و انرژی داخلی بر حسب طول راه نوری..... ۸۹

جدول ۴-۶ مشخصات SESAM سفارشی برای قفل‌بندی پیوسته مدی لیزر Nd:YAG ۹۰

جدول ۵-۱تغییرتوان خروجی لیزر بر حسب توان دمش بلور Nd:YAG..... ۹۳

جدول ۵-۲ تغییرتوان خروجی لیزر بر حسب توان دمش بلور Nd:YAG بعد از وارد کردن صفحه‌ی قطبنده.....۹۴

جدول ۵-۳ اندازه‌گیری فاصله کانونی عدسی گرمایی بلور Nd:YAG از روش همگرایی پرتوی He-Ne ۹۵

جدول ۵-۴ توان خروجی بازآواگر V شکل ۹۵

جدول ۵-۵ توان خروجی $P_{out}\ (W)$ به ازای توان دمش $P_{in}\ (W)$ ۹۸

جدول ۵-۶ به ازای مقادیر مختلف توان ورودی، و L، کمیت‌های مورد نظر محاسبه شده‌اند.....۹۹

جدول۵-۷ بررسی تغییر طول بازآواگر و مکان روزنه بر توان خروجی لیزر.....۱۰۰

جدول۵-۸ بررسی تغییر شعاع آینه‌ی کروی و مکان روزنه بر توان خروجی لیزر ۱۰۳

جدول۵-۹ بررسی پایداری وتوان خروجی لیزر با افزایش توان دمش سامانه ۱۰۶

جدول ۵-۱۰ به ازای مقادیر مختلف توان ورودی،بهینه مقدار L_1, L_2, L_3، حاصل شده است.....۱۰۷

کوتاه‌نوشت‌ها

A-FPSA:	Antiresonant Fabry-perot saturable Absorber
AOM :	Acousto-Optic Modulator
APM :	Additive Pulse Mode locking
CML :	Coupled - Cavity Mode Locking
CW :	Continuos Wave
CW-ML:	Continuos Wave Mode Locked
FSA :	Fast Saturable Absorber
FWHM:	Full Width at Half Maximum
GDD :	Group Delay Dispersion
KLM :	Kerr – Lens Mode Locking
MBE :	Molecular Beam Epitaxy
RPM :	Resonance Passive Mode Locking
QS-ML:	Q- Switched Mode Locked
SESAM’s:	Semiconductor Saturable Absorber Mirror's
SSA :	Slow Saturable Absorber
SPM :	Self Phase Modulation
SAM :	Self Amplitude Modulation
SIM :	Self-Induced Modulation
USP :	Ultra Short Pulses

پیشگفتار

از سال ۱۹۹۰ پیشرفت گسترده‌ای در زمینه تولید تپ‌های بسیار کوتاه لیزری در حدود پیکو ثانیه و فمتو ثانیه با استفاده از روش قفل‌بندی مدی طولی در لیزرهای حالت جامد صورت گرفته است. امروزه اکثر لیزرهای تپی بسیار کوتاه از لیزرهای حالت جامد است که نسبت به محیط‌های بهره دیگر خصوصیات بهتری دارد.

تپ‌های خیلی کوتاه لیزری به دلیل چهار ویژگی عمده‌ای که دارا هستند، برای کاربردهای گوناگون در عرصه‌های مختلف علمی و پژوهشی استفاده می‌شوند: ۱- پهنای زمانی کوتاه: پهنای زمانی خیلی کوتاه لیزرهای قفل‌شده از حدود پیکو ثانیه (ps) $10^{12}s$ تا حدود آتوثانیه (as) $10^{18}s$ می‌تواند برای کند کردن حرکت اجسام سریع مانند مولکول‌ها و الکترون‌ها، به‌منظوراندازه‌گیری زمان واهلش حامل‌ها در نیمه‌هادی‌ها ، مطالعه دینامیک برهم کنش شیمیایی و یا کنترل مدارهای الکترونیکی که سرعت بالایی دارند استفاده شود.۲- نرخ تکرار بالای تپ لیزری: نرخ تکرار حدود چند گیگاهرتزی برای انتقال اطلاعات در صنعت مخابرات و ارتباطات پر سرعت کاربرد دارد.۳- بالا بودن شدت توان:توان‌های در حد مگا وات در فیزیک غیرخطی از جمله تولید بسامدهای مراتب بالادر تبدیل بسامدی و یا مصارف صنعتی مورد استفاده است.۴- پهنای طیفی گسترده: پهنای باند گسترده‌ی این لیزرها در بیناب‌نمایی طیفی از جمله در علوم پزشکی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. همچنین از گستردگی پهنای بینابی به‌عنوان یک خطکش نوری برای سنجش بسامدهای ناشناخته می‌توان بهره گرفت.

هدف ما از این پژوهش، مطالعه‌ی روش‌های قفل‌بندی مدی ناکنا به روش جاذب اشباع‌پذیر در لیزرهای حالت جامد به‌خصوص با استفاده از ساختار آینه‌های نیمرسانای جاذب اشباع‌پذیر (SESAM'S) و بررسی کمیت‌های ساختاری این نوع آینه‌ها در خروجی لیزر مورد نظر است. در تولید تپ‌های بسیار کوتاه، بیشترین توجه به تولید تپ‌های پیوسته و منظم قفل‌شده است که محیط بهره به‌طور پیوسته دمیده و تعداد زیادی از مدهای طولی لیزری با رابطه‌ی فازی مشخص قفل می‌شوند تا تپ کوتاه تولید شود.

در فصل نخست، مفاهیم و معادله‌های قفل‌بندی مدی، انواع روش‌های آن و خصوصیت هر یک از این روش‌ها توضیح داده می‌شود.

در فصل دوم، عوامل موثر بر شکل‌گیری تپ‌های بسیار کوتاه در لیزرهای حالت جامد به‌ویژه با جاذب اشباع‌پذیر بررسی شده و انواع آن مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سپس، به ذکر جزئیات در مورد قفل‌بندی مدی ناکنا در لیزرهای حالت جامد، شرایط خودشروع‌شدگی و چگونگی تولید تپ‌های پیوسته‌ی قفل‌بندی شده می‌پردازیم.

در فصل سوم ساختار آینه‌های نیمرسانای جاذب اشباع‌پذیر را بررسی کرده و خواص ماکروسکوپی آن را که در سامانه‌ی لیزری مورد نظر مهم است برمی‌شماریم. در پایان این فصل، با بهره‌گیری از نرم‌افزار Film Wizard، نمونه‌ای از این آینه‌ها را برای قفل‌بندی مدی در طول موج لیزری حدود $1\mu m$ طراحی می‌کنیم.

در فصل چهارم، با استفاده از برنامه‌ی نوشته شده توسط نرم‌افزار MATLAB بازآواگر V شکل، مناسب و پایدار برای قفل‌بندی مدی لیزرNd:YAG پیوسته‌ی دمش دیودی را طراحی نموده که در آن بهینه مقدار برای راه نوری باز آواگر، شعاع انحنای آینه‌ی کروی و توان دمش دیودها، معرفی می‌شود.

در فصل پنجم، با استفاده از نتایجی که در آزمایشگاه به‌دست آوردیم، عوامل تاثیرگذار بر شرایط پایداری بازآواگر V شکل را می‌آزماییم و سامانه‌ی لیزری پیوسته‌ی Nd:YAG را برای وارد کردن آینه‌ی نیمرسانای جاذب اشباع‌پذیر، آماده می‌کنیم. در نهایت، با استفاده از نتایج دوفصل پایانی، یک ساختار SESAM آرمانی و بازآواگر V شکل مناسب، برای قفل‌بندی پیکوثانیه‌ای با استفاده از آینه‌های نیمرسانای جاذب اشباع‌پذیر در لیزر Nd: YAG پیوسته ارائه می‌نماییم.

فصل اول

قفل‌بندی مدی

Mode Locking

مقدمه

یک لیزر معمولاً از یک جفت آینه که با فاصله L از یکدیگر قرار دارند و محیط بهره که توسط چشمه‌ای دمیده می‌شود تشکیل شده است. در لیزر پیوسته(CW)[1] و یا در لیزر تپی که مدت دوام تپ آن از دوره‌ی رفت و برگشت پرتو درون بازآواگر $T_r = \frac{2L}{c}$ ($L = nL_0$ طول راه نوری ، L_0 جدایی هندسی آینه‌ها و n نمارشکست درون بازآواگراست.) بزرگتر باشد، توزیع انرژی تابشی تقریبا به صورت یکنواخت بین دو آینه لیزری صورت می گیرد.

[1] Continues Wave