دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده: مهندسی هسته‌ای وفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته تحصیلی: فیزیک

عنوان

طراحی و ساخت لیزر رزینه ای کوک پذیر دمش با هارمونیک دوم لیزر Nd:YAG

استاد راهنما

دکتر پرویز پروین

دانشجو

حمیدرضا ملکی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه

کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: حمیدرضا ملکی دانشجوی آزاد ● بورسیه ○ معادل ○

شماره دانشجوئی: ۸۴۱۱۱۰۱۸ دانشکده: مهندسی هسته‌ای وفیزیک رشته تحصیلی: فیزیک گروه:

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: دکتر پرویز پروین درجه و رتبه: دانشیار

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : طراحی و ساخت لیزر رزینه ای کوک پذیر دمش با هارمونیک دوم لیزر Nd:YAG

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Design and Construction Tunable Dye Laser Pump with SHG Nd:YAG Laser

نوع پروژه: کارشناسی ○ ارشد ● دکترا ○ سال تحصیلی: ۸۶-۸۵

کاربردی ● بنیادی ○ توسعه‌ای ○ نظری ○

تاریخ شروع :۱۳۸۵/۷/۱ تاریخ خاتمه :۱۳۸۶/۱۱/۳۰ تعداد واحد :۶ سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: لیزررنگینه‌ای ، ارایه‌پرتوگسترچهارمنشوری، توری پراش و نوسانگر-تقویت‌کننده

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Design and Construction Tunable Dye Laser Pump with SHG Nd:YAG Laser

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۶۲	تصویر ● جدول● نمودار ● نقشه ○ واژه‌نامه ○		تعداد مراجع ۲۷	تعداد صفحات ضمائم
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ●	انگلیسی●
یادداشت					

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

نسخه۱: ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه
نسخه۲: - ارائه به کتابخانه دانشکده (به همراه نسخه الکترونیکی فرم و دو جلد پایان نامه و لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه

Č

Ē

فصل اول- محیط لیزر رزینه‌ای Čč

۱-۱- آشنایی با محیط لیزر رزینه‌ای Čč

۱-۱-۱- محیط فعال لیزر Čč

۱-۱-۲- ساختار مولکولهای رنگ آلی ČĎ

۱-۱-۳- گذارها در مولکولهای رنگ ČĎ

۱-۱-٤- پهن شدگی در طیف لیزر رزینه‌ای Čď

۱-۲- ساختار اصلی لیزرهای رزینه‌ای Čď

۱-۳- منابع دمش Čđ

۱-۳-۱- دمش با لیزرهای پالسی ČĒ

۱-۳-۲- لیزرهای اگزایمر Čē

۱-۳-۳- لیزرهای بخار فلز ČĚ

۱-۳-٤- لیزرهای حالت جامد čċ

۱-۳-٥- دمش با لیزرهای موج پیوسته čč

۱-۳-٦- پهن شدگی همگن بر حسب ناهمگن čĎ

۱-۳-۷- دمش با فلاش لامپ‌ها čď

۱-٤- سلول های رنگ čē

۱-٥- رنگهای آلی čĚ

۱-٥-۱- طبقه‌بندی ترکیبات لیزری Ďċ

۱-٥-۲- مواد رنگی رزینه‌ای ĎČ

۱-٥-۳- حلالها ĎĎ

۱-٥-٤- انتخاب حلال ĎĎ

۱-٥-٥- خلوص حلال ĎĐ

۱-۵-٦- پایداری رنگ و حلال ĎĐ
۱-۵-۷- غلظت ĎĐ
۱-۵-۸- حلالیت ماده رزینه‌ای ĎĚ
۱-٦- کاربردهای لیزر رنگ ďċ
۱-۷- تکنولوژی لیزرهای رنگ صنعتی ďČ
۱-۸- کاربردهای صنعتی لیزرهای رنگ ďď
۱-۸-۱- فرآوری مواد ďď
۱-۸-۲- جداسازی ایزوتوپ با لیزر ďď
۱-۸-۳- ارتباطات زیردریایی‌ها ďĐ
۱-۸-٤- کاربردهای پزشکی لیزررنگ ďĐ
فصل دوم- ترازهای انرژی در لیزر رزینه‌ای ďĒ
۲-۱- بررسی ترازهای انرژی در لیزر رزینه‌ای ďĒ
۲-۱-۱- تفکیک Dissociation Đċ
۲-۱-۲- نشر دوباره Re – emission ĐČ
۲-۱-۳- فلوئورسانس Fluorescence ĐČ
۲-۱-٤- فسفرسانس Phosphorescence Đč
۲-۲- گذارها در مولکولهای رنگ ĐĎ
۲-۳- سطح مقطع‌های جذب و گسیل Đđ
۲-٤- معادلات نرخ ĐĒ
۲-٤-۱- معادلات مربوط به جمعیتهای ترازهای مولکولی đċ
۲-٤-۲- معادلات نرخ مربوط به شارهای فوتونی đč
۲-۵- جذب حالت پایه: GSA đĎ
۲-٦- جذب حالت برانگیخته (ESA) đĐ
۲-۷- جذب حالت سه تایی (TSA) ĒČ
فصل سوم- معادلات نرخ Ēđ
۳-۱- بررسی معادلات نرخ برای لیزرهای پیوستهٔ رزینه‌ای و لیزرهای پالسی پمپ شده با Ēđ

پالسهای بلند

۳-۲- خواص و مشخصات نوسانگر

۳-۳- حل معادلات نرخ

۳-٤- بررسی اثرات جذب پمپ توسط تراز سه‌گانه

۳-۵- ملاحظات دیگر در لیزرهای رنگ واقعی

۳-٦- بررسی لیزرهای رزینه‌ای پالسی

۳-۷- بررسی اثرات گسیل خودبه‌خودی تقویت شده (ASE) در نمایش لیزر رزینه‌ای

۳-۷-۱- وابستگی ASE به سرعت پمپ

۳-۷-۲- بررسی توزیع فضایی بهره و$N_1(x)$

فصل چهارم- باریک سازی طیفی در لیزرهای رزینه‌ای

٤-۱- منشور

٤-۲- توریهای پراش

٤-۲-۱- معادله توری

٤-۲-۲- همپوشانی طیف‌های پراش

٤-۲-۳- پاشندگی

٤-۲-٤- قدرت تفکیک

٤-۲-۵- بزرگنمایی

٤-۲-٦- محدوده طیفی آزاد *(FSR)*

٤-۳- اتالون فابری پرو

٤-٤- ترکیب منشور و توری پراش برای باریک سازی طیفی

٤-۵- آرایه‌های دو و چهار منشوری

٤-٦- آرایش Hansch

٤-۷- آرایش Hanna

٤-۸- آرایش Shoshan و Littman

فصل پنجم : طراحی نوسانگر و باریک‌سازی طیفی آن

۵-۱- طراحی نوسانگر

۵-۱-۱- محیط فعال

۵-۱-۲- سیستم ایجاد جریان مایع

۵-۱-۳- نگهدارنده آینه و عدسی

۵-۱-٤- نگهدارنده و تنظیم کننده توری پراش

۵-۱-۵- نگهدارنده باز کننده پرتو منشوری ČďĐ
۵-۱-٦- نگهدارنده عدسی استوانه‌ای Čďđ
۵-۲- اجزای اپتیکی و مشخصات فنی آن ČďĒ
۵-۳- نتایج و اندازه‌گیری‌ها ČďĔ
۵-٤- پیشنهادات جهت ادامه کار Čđč
.....

چکیده

در این پایان نامه اولین لیزر رنگ Rd٦G کوک پذیر با دمش لیزر Nd:YAG هارمونیک دوم (٥٣٢ nm) در آزمایشگاه لیزر دانشکده فیزیک طراحی و ساخته شد.

علاوه بر مسائل فنی حاکم و بهره گیری از امکانات و قطعات موجود در آزمایشگاه برای ساخت این لیزر ، آزمایشات طیفی و پاسخ زمانی با دیود Pin و طیف سنج S-١٥٠ مجهز به آرایه خطی CCD انجام گردید و نشان داده شد که ترکیب چهار منشوری همراه با توری پراش و آرایه Duarte در مقایسه با کاواک بدون اپتیک باریک سازی از پهنای طیفی قابل توجهی برخوردار است و نتایج با مقادیر نظری مقایسه گردید. ضمناً نشان داده شده که با افزایش غلظت رنگ جابجایی فرکانسی (Red Shift) صورت می گیردکه به میزان حدود ١٠ نانو متر از غلظت ٢ مول بر لیتر به ٤ مول بر لیتر می باشد و با نظریه برخورد سازگار است.

مقدمه

لیزر رنگ یکی از انواع لیزرهای قابل تنظیم بوده و در کاربردهای فراوانی مورد استفاده قرار می‌گیرد . این لیزرهای ویژگی هر دو عملکرد موج پیوسته و پالسی را داشته و ازUV نزدیک در ۳۱۱ نانومتر تاIR نزدیک در ۱۲۸۵ نانومتر تنظیم پذیرند و همین ویژگیها باعث شده است تا این لیزرها به عنوان ابزاری بسیار کارآمد در تحقیقات و کاربردهای لیزری مورد توجه قرار گیرند . این نوع لیزر در سال ۱۹٦٦ توسط Sorokin کشف گردید و در طی چند سال فناوری آن رشد سریعی یافت.

بررسی مدلهای تئوری محیط فعال پیوسته و پالسی لیزر منجر به درک بهتری از نحوه کار آن خواهد شد. مهمترین و اصلی‌ترین ویژگی این لیزر قابلیت تنظیم‌پذیری آن است.

در سیستمهای لیزر رنگ مخصوصاً در ناحیه UV از لیزرهایی مثل لیزر نیتروژن، لیزر یاقوت و لیزرNd:YAG به عنوان منابع پمپ پالسی استفاده می‌شود که با گسترش و تکامل لیزرهای گازی‌هالوژنی مثل XeCl ، KrF از آنها به عنوان منابع پمپ پالسی در ناحیه UV استفاده می‌گردد. لیزرهای رنگ با پمپ لامپ درخشی در ناحیه طول موجی از ۳٤۱ تا ۹۷۲ نانومتر کار می‌کنند . بازه طیفی لیزرهای رنگ پیوسته نیز که معمولاً با لیزرهای آرگون یا کریپتون پمپ می‌شوند بین ۳٦۲ تا ۱۰۲۰ نانومتر قرار دارد . بازه های طول موجی برای هر دو نوع از لیزررنگ (پالسی وپیوسته) بیشتر در ناحیه UV و IR از طریق ترکیبب فرکانس در موادی با اپتیک غیر خطی ، توسعه داده شده است.

تحقیقات برای کشف لیزرهای رنگ جدید ، افزایش بازده لیزر ، پایداری بیشتر این نوع لیزرها به طور وسیع ادامه دارد.

با استفاده از لیزرهایی با پالسهای قوی برای پمپ لیزرهای رنگ، پالسهایی با توان قله حدوداًچند مگاوات و عرض پالس چند نانو ثانیه تولید می‌گردد. با استفاده از تکنیک‌های mode-locking نیز می‌توان پالسهای بسیار کوتاهی در حدود پیکو ثانیه به دست آورد. توان میانگین بالا در مرتبه۱۰۰ وات یا انرژی بر پالس در حدود چند صد ژول نیز از لیزرهایی که با لامپ درخشی پمپ می‌شوند، حاصل گردیده است که عرض پالس این لیزرها تقریباً بین ۰/۲ تا ۱۲ میکرو ثانیه است.

تکنیک‌های تنظیم و باریک‌سازی طیفی لیزرهای رنگ بسیار گوناگون و متفاوت است و در طی چندین سال گسترش و تکامل یافته‌اند. البته افزایش میزان تلفات به دلیل وجود المانهای باریک‌سازی، توان و انرژی پالسهای حاصل را کاهش می‌دهد و تقریباً توان و انرژی را که قابل دسترسی است محدود می کند. این مسئله نیز با استفاده از تکنیک‌های تقویت پالس برطرف شده است. همچنین از طریق تکنیک قفل-شدگی فرکانس نیز می‌توان مسئله کاهش توان را حل کرد.

پهنای طیفی در مرتبه چند مگاهرتز را می‌توان از طریق تک مدکردن لیزررنگ پیوسته به دست آورد . بازده های بیشتر از ۲۰ درصد از طریق تک مدکردن لیزررنگ پیوسته که نوسانگر آن از نوع حلقه‌ای است فراهم می‌گردد.

بالاترین ضرایب تبدیل (نسبت ورودی به خروجی) در حدود ۱/۵ درصد است. اگر چه ضرایب تبدیل بزرگتر از ٤٠ درصد نیز به دست آمده است ولی در کل بازده به دلیل پایین بودن بازده لیزرهای پمپ مقدار ناچیزی خواهد داشت.

محیط فعال لیزرهای رنگ، رنگ‌های آلی هستند. تعداد زیادی از این رنگ‌ها که هر کدام در طول موج معینی تابش فلوئورسانس دارند می‌توانند تمام بازه طیف مرئی را پوشش دهند. بنابراین طراحی لیزررنگ در هر طول موج مرئی امکان پذیر است .

نکته قابل توجه دیگر این است که خروجی هرکدام از این لیزرها می تواند به طور پیوسته روی بازه کوچکتری از طول موج تغییر کند.

اهمیت اصلی دیگر لیزرهای رنگ در تحقیقات روی پالس های فوق کوتاه است. جذابیت این لیزرها برای این کاربرد، این است که پهنای باند بهره غیر معمول آن‌ها، باعث می‌شود که بتوان پالس‌های کوتاه ایجاد نمود. همچنین به طور معکوس جائیکه نیاز به پهنای باند طیفی باریک است می‌توان از لیزررنگ موج پیوسته استفاده کرد.

از کاربردهای لیزررنگ می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- کاربردهای صنعتی

۲- کاربردهای پزشکی

۳- کاربردهای نظامی

٤- جداسازی ایزوتوپ با لیزر

لیزرهای رنگ پیوسته ابزار مناسبی برای علم اپتیک می‌باشند. این لیزرها تواناییهای منحصربه‌فردی از جمله تنظیم پذیری وسیع، توان بالا و پتانسیل برای تفکیک‌پذیری بسیار زیاد، دارند.

همانطور که گفتیم لیزرهای رنگ پیوسته دمش شده با لیزر یونی ضرورتاً محدوده طیفی از ۳٦۲ تا ۱۰۲۰ نانومتر را به طور کامل پوشش می‌دهند. حتی این امکان وجود دارد که محدوده تنظیم‌پذیری را با استفاده از روش‌های اپتیک غیرخطی گسترش دهیم و طول‌موج‌های بیشتر از فرابنفش و فروسرخ تولید کنیم. با استفاده از روشهای اپتیک غیرخطی، محدوده طیفی برای پوشش کامل با تابش پیوسته به ۲۵۰ نانومتر گسترش داده شده است. حتی در طول‌موج‌های کوتاهتر برای کاربردهای خاص، تابش تولید شده

است. به علاوه، از روشهای غیرخطی برای تولید تابشی در ناحیه فروسرخ بین ۵-۲ میکرومتر استفاده شده است.

سطوح توان لیزرهای رنگ پیوسته عموماً برای کاربردهای اسپکتروسکوپی کافی است. توان خروجی لیزرهای رنگ پیوسته بستگی به نوع رنگ مورد استفاده دارد. اما سیستم‌های پیوسته نوعاً توان خروجی بین ۰/۱ تا ۱ وات تولید می‌کنند.

سیستم های لیزررنگ پیوسته پیشرفته، می‌توانند تابش مرئی تنظیم‌پذیری تا ده‌ها وات تولید کنند.

با محدوده‌های تنظیم وسیع و پهناهای خط باریک، لیزرهای رنگ پیوسته تک مد می‌توانند به طور موثری تعداد زیادی المان‌های تفکیک پذیر آماده کنند. برای مثال، لیزر رنگ تک فرکانس استاندارد (پهنای خط ۱ مگاهرتز) که با رنگ رودامین ٦G کار می‌کند (ناحیه تنظیم ۱۰۰ نانومتر یا $۱۰^{۱٤}$ هرتز) قابلیت تفکیک تقریباً $۱۰^{۸}$ المان طیفی در سرتاسر منحنی تنظیمش را دارد.

لیزرهای رنگ پالسی و چند طبقه سیستم تقویت کننده موج عرضی توان‌هایی در حدود چند مگا وات با پهنای $۱۰^{-٤}$ نانومتر در ناحیه طول موج مرئی تولید می‌کنند.

برای فعالیت کارآمد لیزرهای رنگ پیوسته، کم کردن افت‌های تشدیدگر، افت‌های حالت سه گانه و اثرات گرمایی ضروری هستند. علت این است که لیزررنگ پمپ شده با لیزر پیوسته درمقایسه با لیزررنگ پمپ شده با لیزر پالسی، بهره لیزری نسبتاً کمتری دارد. چگالی توان پمپ لازم برای لیزرهای رنگ پمپ شده با لیزر پالسی، چند مرتبه بزرگتر از چگالی‌های توان پمپ لازم برای آستانه یک لیزررنگ می‌باشند که این چگالی های توان برای آستانه درحدود $kW/cm^{۲}$ ۳۰۰-۳۰ می‌باشند. به عنوان مثال یک لیزر پمپ نیتروژن با توان ۱۰۰ کیلووات که در مساحت ۰/۱ در ۱۰ میلیمتر در یک هندسه عرضی دمش قراردارد، توان را به $MW/cm^{۲}$ ۱۰ می‌رساند. برای دمش کارا و با کیفیت بالا، قطر پرتو پمپ باید با قطر مد عرضی

لیزررنگ تناسب داشته باشد که مد لیزررنگ پرتوی با قطر کوچک در محیط فعال داشته باشد. برای مینیمم نگه داشتن افت‌های پراش، بهتر است لیزر در مد ..TEM عمل کند، بطوریکه لیزرهای رنگ پیوسته معمولاً از تشدیدگرهای کروی و هم‌کانونی استفاده می‌کنند.

لیزرهای رنگ باند باریک چند طول موجی، در بسیاری از آزمایشهای اسپکتروسکوپی ، اپتیک غیر خطی، جداسازی ایزوتوپها و ... کاربرد دارند. پرتوهای لیزر چند طول موجی می‌توانند از تعدادی لیزررنگ مستقل از هم، که همگی با یک لیزر پالسی یا تعدادی لیزر پالسی همزمان یا فلاش لامپ پمپ شده اند، به دست آیند. با این حال، به دست آوردن پرتوهای همزمان با تنظیم پذیری جداگانه از یک لیزررنگ منفرد، از لحاظ عملیاتی ساده‌تر و از لحاظ اقتصادی نیز به صرفه‌تر است.

ثابت شده است که اغلب سیستمهای لیزررنگ پالسی قابلیت انطباق برای عمل کردن به عنوان لیزر چند طول موجی را دارند.

برای کاربردهایی چون غنی‌سازی صنعتی ایزوتوپها، لیزرهای رنگ با توان میانگین و راندمان بالا مطلوب می‌باشند.

پمپ با لیزر پالسی توان‌های میانگینی در حدود چند وات را تولید می‌کنند. اگرچه راندمان تبدیل (نور ورودی به نور خروجی) این لیزرها می‌تواند از مرتبه ٤٠ درصد باشد، اما به علت راندمان کم و پایین لیزرهای پمپ استفاده شده، راندمان تبدیل کل (ورودی الکتریکی به خروجی نوری) کمتر از ۱ درصد است.

در دههٔ ۸۰ توجه قابل ملاحظه ای به امکان سنجی تحریک الکتریکی مستقیم رنگ ها در فاز بخار معطوف شده بود. اگر چه فعالیت لیزررنگ فاز بخار تحریک شده با تخلیه الکتریکی هنوز به دست نیامده

بود، اما قدمهای مهمی برای رسیدن به این هدف با استفاده از بخارهای رنگ پمپ شده با پرتو الکترونی برداشته شد.

با پمپ توسط لیزرپالسی، عملیات لیزر در تعدادی بخار رنگ مشاهده شده است. اولین رنگ که عملیات لیزر فاز بخار را نشان داد، نوسان کننده رنگ popop بود. این رنگ همچنان به عنوان بهترین و کاراترین لیزررنگ فاز بخار درنظر گرفته می‌شود و مطالعات بسیاری روی آن صورت گرفته است. ضمناً این رنگ تنها رنگ فاز بخار است که عملیات لیزر را با پمپ توسط پرتو الکترونی نشان می‌دهد. بررسی و مطالعه روی لیزرهای بخاررنگ توسط Smith و Marowsky انجام شد.

مدل‌های حالت جامد لیزرهای رنگ در دهه ۹۰ توجه زیادی را به خود جلب کردند زیرا نقش قابل ملاحظه‌ای در توسعه مواد داشتند. علاوه بر بازده لیزری بالا، تنظیم پذیری وسیع، لیزرهای حالت جامد انعطاف پذیرتر و در عمل مناسب‌تر هستند. مواد مختلف زیادی برای لیزررنگ حالت جامد استفاده شده است، از جمله مواد شیشه‌ای تخدیر شده با رنگ‌های لیزری برای بسیاری از کاربردها، ایده‌آل خواهد بود، اما به دلیل گرمای لازم در ساخت شیشه، موانع و مشکلاتی وجود دارد. راه‌حلهای ارایه شده برای حل این مشکل یکی ترکیب کردن پلیمر یا مواد شیشه‌ای در دمای پایین و دیگری تولید شیشه با ساختار متخلخل است.

روش اول این امکان را می‌دهد که یک رنگ لیزری به ساختار شیمیایی اضافه شود و به عنوان pre-doping شناخته شده است.

یک ساختار متخلخل به محلول رنگ اجازه می‌دهد به درون ساختار وارد شود و از طریق پخش، آن را اشباع کند و به عنوان post-doping شناخته شده است.

روش pre-doped معمولاًمواد جامدی با کیفیت نوری خوب و غلظت رنگ یکنواخت تولید می‌کند. این رنگهای جامد می‌توانند خواصی مانند شیشه داشته باشند اما تا اندازه ای نرمتر هستند که می‌تواند اثر ناسازگاری روی نمایش لیزر داشته باشد به ویژه اگر گسیل با انرژی بالا لازم باشد. در مقابل مواد post-doped معمولاً بیشتر مانند شیشه هستند و عمده خواص شیشه را دارند اما این مواد به علت پراکندگی نوری اضافی از منفذها نسبت به افت‌ها حساس هستند. باید اندازه های میانگین منفذها به گونه ای باشد که محلول رنگ را جذب کند و به غلظت خوبی برسد و کیفیت نوری خوب همراه با اتلاف کم داشته باشد.

لیزر حالت جامدی که به طور وسیع در دمش لیزررنگ استفاده می‌شود لیزر Nd:YAG است. بازده لیزر Nd:YAG با کیفیت پرتو بالا در تحریک لیزررنگ می‌تواند ۱ درصد باشد، به هر حال بازده به طراحی سیستم بستگی دارد و می‌تواند در موارد مشخصی به طور قابل ملاحظه ای پایین باشد.

تاریخچه

اولین لیزر رنگ توسط Sorokin و Lankard در سال ۱۹٦٦ با دمش لیزر یاقوت ساخته شد. آن‌ها در آزمایشی برای اندازه‌گیری فرکانس‌های رامان مولکول فتالوسیانین متوجه شدند که گسیل ثانویه پراکنده نشده است. به دنبال این مشاهده، فرض کردند که عمل لیزر اتفاق افتاده است. این فرضیه به سرعت تایید شد و وقتی که یک سلول حاوی مولکول آلی رنگ را در داخل یک نوسانگر مناسب قرار دادند، نور لیزر پر قدرتی در طول موج ۷۵۵۵ آنگسترم گسیل شد.

بعد از مدت کوتاهی، ساخت لیزر رنگ در طول‌موج‌های کوتاهتر با استفاده از دمش پرتو هماهنگ دوم لیزرهای حالت جامد مثل یاقوت و نئودیمیوم توسط Soffer و Mcfarland در سال ۱۹٦۷ و Schäfer و همکارانش در سال ۱۹٦۷ گزارش شد. همچنین لیزر ازت به عنوان دمش فرا بنفش برای لیزرهای رنگ توسط چندین گروه در سالهای ۱۹٦۹ و ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار گرفت.

آرایش نوسانگر- تقویت کننده، اولین بار توسط Hänsch و همکارانش در سال ۱۹۷۱ ساخته شد که در آن برای تعیین فرکانس، از آرایه‌های مختلفی استفاده می‌شد. اولین بارSoffer و Mcfarland در سال ۱۹٦۷ از تشدیدگر توری- آینه استفاده کردند. در سال ۱۹۷۲، Hänsch توانست با استفاده از توری- آینه و تلسکوپ، پهنای باند باریکی را ایجاد کند.

Hargrove درسال ۱۹۸۰، مطالعه گسترده‌ای را روی یک تقویت کننده رنگ دمش شده با لیزر بخارمس انجام داد. تقویت کننده از یک آرایش با دمش عرضی بهره می‌برد که در آن فلوی رنگ، پرتو دمش و پرتو استخراجی رنگ متعامد بودند. او عملکرد تقویت کننده رنگ را برای سیستمی با چندین حلال مختلف بررسی کرد که ناحیه طیفی ٥٦۰ تا ٦۹۰ نانومتر را پوشش می‌داد. همچنین نشان داد که بهره تقویت کننده رنگ و پارامترهای راندمان با استفاده از تحلیل معادلات نرخ در حالت پایا درست پیش‌بینی شده بودند.

یک بررسی نظری اولیه بر روی تقویت کننده‌های رنگ توسط Gassman و Weber انجام شد. آنها یک تقویت کننده لیزر رنگ پمپ شده با لامپ درخشی را در نظر گرفتند و معادلاتی را برای غلظت رنگ و وابستگی بهره به هندسه تقویت کننده به دست آوردند. معادلات به گونه‌ای نوشته شد که بهره سیگنال کوچک و غلظت رنگ را برای یک هندسه مشخص سلول رنگ بهینه کنند. اولین اندازه‌گیری بهره توسط Huth روی تقویت کننده لیزررنگ رودامین ٦G پمپ شده با یک فلاش لامپ انجام گرفت.

Loth و Megie توان خروجی ۱ ژول را در پهنای باند ۰/۰۱ میلی‌متر به دست آورند. بعدها با سیستمی مشابه، Loth و Megie توانستند خروجی هایی تـا MW/cm^{2} ۳۰۷ را در یـک پهنـای بانـد ۰/۵ نـانومتر بـه دست آورند. غلظتهای رنگ بکار گرفته شده در آزمایشات فوق کمتر از ۲×۱۰^{-٤} مولار بودند و از سـلولهای رنگی با قطر زیاد استفاده شد.

Burlamachi بهره‌های سیگنال کوچک با یک تقویت کننده Double Pass پمپ شده با یک فلاش لامپ با استفاده از سلولهای رنگ مسطح و غلظت‌های رنگ$^{-٤}$۸×۱۰ مولار به دست آورد. با استفاده از لیزرهای رنگ پمپ شده با لیزر، سرعتهای پمپ بیشتر ممکن می‌شوند و در نتیجه می‌توان بهره بالا را حتی با تقویت کننده‌های بسیار کوتاه نیز به دست آورد. از یک سیستم نوسانگر- تقویت کننده لیزر رنگ که با لیزر پمپ شده بود، Itzkan وCunningham پالسهای خروجی ۵ نانوثانیه و ۵۰ کیلووات را در پهنای باند ۰/۰۰۲ نانومتر در نرخ‌های تکرار تا ۵۰۰ هرتز را به دست آوردند.

Wallensteinو Hänsch از یک لیزر نیتروژن ۱ مگاوات برای پمپ یک نوسانگر و دو سیستم تقویت کننده رنگ استفاده کردند و توانهای پیک ۵۰ کیلووات لیزر رنگ را در پرتو پراش محدود و پهناهای باند ۰/۰۰۰٦ نانومتر به دست آوردند.

یک نوسانگر- تقویت کننده رنگ single state که به طور طولی با یک لیزر یاقوت Q-switched ٤۰ مگاواتی پمپ شده بود، توسط Carlsten و McILrath بررسی شد و ماکزیمم راندمان تبدیل توان در حدود ۱۲ درصد حاصل شد. Loth یک تقویت کننده رنگ IR پرتوان را با انرژی بر پالس ۱ ژول و توان پیک ٦٦ مگاوات با پهنای باند ۰/۰۰٦۵ نانومتر در طول موج ۷٦۹/۹ نانومتر با استفاده از یک نوسانگر و یک تقویت کنندهٔ چهار مرحله‌ای که همگی با یک لیزر یاقوت Q- switched با انرژی ۲/۸ ژول به طور

عرضی پمپ شده بودند، بررسی کرد. تعداد زیاد مراحل تقویت کننده امکان تحریک هر مرحله را با یک توان پمپ بهینه که ASE را محدود می کرد، به وجود می‌آورد.

Mahon لیزر رنگ پرتوان تنظیم‌پذیر IR که در مد TEM_{oo} کارکرد را مورد بررسی قرار داد. این لیزر به طور طولی با خروجی یک لیزر رنگ پمپ شده با فلاش لامپ، پمپ شده بود. تقویت با استفاده از ۵ تقویت کننده که همگی با یک لیزر یا قوت MW ۲۰۰ پمپ شده بودند، صورت گرفت. پرتو خروجی تقویت شده دارای انرژی ۱/۱ ژول بود.

Moriarty یک نوسانگر رودامین۶G با نرخ تکرار پالس بالا و سیستم تقویت کننده تک مرحله را مورد بررسی قرار داد. نوسانگر و تقویت کننده به طور طولی با هارمونیک دوم یک لیزر Nd:YAG که در نرخ تکرار پالس ۱۰ هرتز با انرژی‌های خروجی تا ۱۸۵ میلی‌ژول کار می‌کرد، پمپ شده بود. باریک سازی طیفی و تنظیم نوسانگر با استفاده از سه اتالن فابری- پرو که بر اساس فشار تنظیم شده بودند، صورت گرفت. انرژی خروجی ۲۲ میلی‌ژول برای یک سیگنال ورودی ۱/۵ و انرژی پمپ ۱۴۵ میلی- ژول به دست آمد. با افزایش انرژیهای پمپ تا ۱۸۵ میلی‌ژول، انرژی لیزر رنگ تا ۵۵ میلی‌ژول افزایش یافت.

Lavi یک نوسانگر- تقویت کننده single state که به طور عرضی با هارمونیک دوم لیزر Nd:YAG پمپ شده بود را مورد بررسی قرار داد و مشاهده کرد که راندمان نوسانگر سریعاً با انرژی پمپ افزایش می‌یابد و برای یک انرژی پمپ کمتر از۱ میلی‌ژول اشباع می‌شد.

Hargrove و Kan یک تقویت کننده کارا پمپ شده با لیزر بخار مس با نرخ تکرار زیاد (۶ کیلوهرتز) را مورد بررسی قرار دادند. توانهای میانگینی در حدود ۰/۴ – ۰/۷۶ وات با راندمان‌های ۱۸-۳۰ درصد به دست آمد.

در سال ۱۹۷۷ ،Takehisa مقیاس تقویت کننده‌های لیزررنگ با توان میانگین بالا را افزایش داد و طرح جدیدی برای دمش آن ارائه کرد و با یک تئوری ساده و شبیه‌سازی، تفاوت‌های بین مشخصه‌های تقویت کننده لیزررنگ با دمش عرضی و با دمش طولی را نشان داد.

تولید هامونیکهای دوم لیزررنگ با استفاده از کریستال ADP توسط Bradley و گروهش در سال ۱۹۷۱ و Dunning و گروهش در سال ۱۹۷۲ معرفی شد همچنین شیفت رامان گسیل لیزررنگ با استفاده از هیدروژن متراکم توسط Schmidt و Appt در سال ۱۹۷۲ گزارش شد.

در سال ۱۹۹۰ ، Nair اثر جذب حالت برانگیخته (ESA) در طول موج سیگنال در تقویت کننده های لیزررنگ پالسی که به صورت عرضی دمش شده‌اند را مورد بررسی قرار داد و نشان داد که ESA همراه با جذب حالت پایه (GSA) یک تلفات غیر خطی را در معادله تقویت ایجاد می‌کند و مدل پیشرفته‌ای از تقویت کننده‌های لیزررنگ پالسی دمش شده به صورت عرضی با ESA در طول موج رنگ(λ_L) را ارائه داد.

در سال ۱۹۹۵، Nair اثر جذب سیگنال غیر خطی (NLSA) ناشی از جذب حالت پایه و جذب حالت برانگیخته در تقویت کننده لیزررنگ توان بالایی که به طور عرضی دمش شده با یک مدل حالت پایای یک بعدی برای یک تقویت کننده رنگ دمش شده با لیزر بخارمس را به طور تئوری آزموده و یک بیان تقریبی برای بازده استخراجی به دست آورد، که در آن اثرNLSA در کاهش بازده استخراجی آشکار است و کاهش در بازده ناشی از NLSA تا درجه زیادی مستقل از توان دمش تشخیص داده شد. با دنبال کردن پیشرفت های قابل توجه در طول چند دهه گذشته در طراحی نوسانگر ها و تقویت کننده‌های لیزررنگ با پهنای باریک، حال توجهات به سوی پیشرفت تقویت کننده های لیزررنگ پالسی توان بالا برای کاربردهای ویژه معطوف شده است.

فصل ۱

محیط لیزر رزینه‌ای

۱-۱- آشنایی با محیط لیزر رزینه‌ای

۱-۱-۱- محیط فعال لیزر

مولکولهای رنگ آلی که در یک حلال مایع حل شده‌اند، محیط فعال لیزرهای رزینه‌ای را تشکیل می‌دهند. با استفاده از دمش اپتیکی مولکولهای رنگ به حالت تحریکی در آمده و ایجاد وارونی جمعیت می‌شود. سپس این مولکولها با گسیل القایی به حالت اولیه بازگشته و پرتو لیزر تولید می‌گردد.

رنگها مولکولهای بزرگی هستند که دارای ساختارهای حلقوی چندگانه و طیف پیچیده‌ای می‌باشند تفاوتهای شیمیایی آنها مبنی بر تفاوتهای مهمی در طول موج گسیل لیزر، بازه طیفی قابل تنظیم، طول موجهای جذب و شرایط عملکرد آنها است. ترازهای انرژی الکترونی، ارتعاشی و چرخشی مولکولهای رنگ، باند انرژی پیوسته‌ای را در یک بازه محدود ایجاد می‌کنند. این پیوستاری ترازها باعث می‌شود که در

پهنای طیفی وسیعی، جذب وگسیل داشته باشند. با قرار دادن المانهای اپتیکی تنظیم طول موج، تنها به یک بازه کوچکی از طول موجها در داخل تشدیدگر اجازه نوسان داده می‌شود بنابراین فقط در همان طول موجها تقویت صورت می‌گیرد. به این ترتیب خروجی لیزر از نظر طیفی باریک خواهد شد.

طول موج و توان خروجی لیزرهای رزینه‌ای همانطور که به طراحی تشدیدگر لیزر وابسته است، به انتخاب رنگ و منبع دمش نیز بستگی دارد توان متوسط این لیزرها در عملکرد پالسی می‌تواند در بازه‌ای از میلی-وات تا ده‌ها وات باشد. توان خروجی بستگی به نوع رنگ مورد استفاده دارد. مثلا رودامین ٦G ماکزیمم توان خروجی را در بین رنگها ایجاد می‌کند.

۱-۱-۲- ساختار مولکولهای رنگ آلی

مولکولهای رنگ آلی که محیط فعال لیزرهای رزینه‌ای را تشکیل می‌دهند، مولکولهای بزرگ و پیچیده فلوئورسانس می‌باشند. به این معنی که می‌توانند فوتونهایی را جذب کنند و با تاخیر زمانی کوتاه در طول موج بلندتری گسیل کنند.

۱-۱-۳- گذارها در مولکولهای رنگ

در مولکولهای رنگ که شامل یک سری تراز الکترونی هستند. خود ترازها نیز از تعدادی تراز ارتعاشی تشکیل شده‌اند. برای مولکولهای رزینه‌ای میانگین جدایی بین ترازهای ارتعاشی به طور کلی بین ۱۲۰۰ تا ۱٦۰۰ $\frac{1}{cm}$ است. به علاوه هر تراز ارتعاشی نیز شامل چند تراز چرخشی است.