١٤٣٤

دانشگاه شهید بهشتی

پایان نامه کارشناسی ارشد

دانشکده علوم

گروه فیزیک

عنوان:

طراحی و ساخت تقویت کننده بازتولیدی حلقوی لیزر تیتانیوم سفایر

دانشجو:

زهرا باقری

استاد راهنما:

دکتر بابک شکری

۱۳۸۹/۷/۲۴

استاد مشاور:

دکتر رضا مسعودی

شهریور۸۹

۱۴۲۴۳۴

تاریخ .....
شماره .....
پیوست.....

دانشگاه شهید بهشتی

بسمه تعالی

تهران ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳ اوین
تلفن: ۲۹۹۰۱

« صورتجلسه دفاع پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد»

بازگشت به مجوز دفاع شماره ۲۰۰/۲۴۲۳ /د مورخ ۱ / ۶ / ۸۹ جلسه هیأت داوران ارزیابی پایان نامه خانم زهرا باقری به شماره شناسنامه ۱۷۴۲۶صادره از تهران متولد ۱۳۶۵ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته رشته فیزیک – اتمی مولکولی (لیزر)

با عنوان :

طراحی و ساخت تقویت کننده حلقوی لیزر تیتانیوم سفایر

به راهنمائی:

آقای دکتر بابک شکری

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۱۴/ ۶ / ۸۹ تشکیل گردید و براساس رأی هیأت داوری و با عنایت به ماده ۲۰ آئین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۷۵/۱۰/۲۵ پایان نامه مزبور با نمره ۱۸/۷۵ درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

۱ -استاد راهنما : آقای دکتر بابک شکری

۲- استاد مشاور : آقای دکتر رضا مسعودی

۳- استاد داور : آقای دکتر سیدحسن توسلی

۴-استاد داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: خانم دکتر معصومه دشتدار

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

هر آنچه در جریان این پایان نامه بر روی کاغذ نقش بست حاصل راهنمایی ها و هدایت اساتید ارزنده ای است که شاگردی ایشان برای نگارنده افتخاری بزرگ به شمار می رود. هر چند به راستی توان به تحریر در آوردن تمام آنچه که کسب نمودم را ندارم.

بی شک اگر همکاری های ارزشمند استاد ارجمند جناب آقای دکتر شکری و مشاوره، راهنمایی و هدایت بی دریغ استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر مسعودی نبود، این نوشتار هیچ گاه به نقطه پایان خود نمی رسید. امید است سپاس بی پایان این قلیل را پذیرا باشند.

در این مجال لازم می دانم از سرکار خانم نجفی به خاطر در اختیار قرار دادن تجربیات ارزنده خود عرض تشکر فراوان خود را تقدیم نمایم.

باشد که این مطالب به شایستگی مورد استفاده دیگر محققین قرار گیرد.

فهرست مطالب

چکیده فارسی

فصل اول :مقدمه ۱

فصل دوم:اصول پالس های فمتو ثانیه

۲-۱ مفهوم پالس و انتشار آن در یک محیط شفاف ۶

۲-۲ تولید پالس های فوق کوتاه ۱۴

۲-۴-۱ سوئیچ Q ۱۴

۲-۴-۲ قفل شدگی مدی ۱۴

۲-۴-۲-۱ قفل شدگی انفعالی ۱۶

۲-۴-۲-۲ قفل شدگی فعال ۱۷

۲-۵ یون تیتانیوم ۱۸

فصل سوم: تقویت کننده های باز تولیدی با تشدید گرهای خطی و حلقوی

۳-۱تاریخچه ۲۱

۳-۲ اصول تقویت پالس ۲۲

۳-۲-۱ عوامل موثر بر تقویت ۲۳

۳-۳ تقویت پالس چیرپ ۲۴

۳-۴ انواع تقویت کننده ها ۲۶

۳-۴-۱ تقویت کننده چند بار عبور ۲۶

۳-۴-۲ تقویت کننده بازتولیدی ۲۸

۳-۴-۲-۱ تقویت کننده بازتولیدی خطی ۲۹

۳-۵ تقویت کننده حلقوی ۳۰

۳-۵-۱ فاکتور Q^{-1} ۳۰

۳-۵-۲ چال سوزی فضایی ۳۳

۳-۶ خصوصیات تشدیدگرهای حلقوی ۳۵

۳-۶-۱ تشدیدگرهای حلقوی ناپایدار ۳۹

۳-۷ تئوری تقویت پالس و معادلات فرانتز-نودویک ۴۱

۳-۷-۱ اشباع تقویت کننده ۴۵

فصل چهارم: سیستم های جانبی مورد استفاده در سیستم هایCPA

۴-۱ پهن کننده ۴۷

۴-۲ فشرده کننده ۴۸

۴-۳ سیستم های تشخیصی پالس های فمتوثانیه ۵۰

۴-۳-۱ اتوکرولیتور ۵۱

۴-۳-۱-۱ اتوکرولیتور کلاسیک مرتبه دوم ۵۳

۴-۳-۱-۲ اتوکرولیتور تک شلیکی ۵۶

۴-۳-۱-۳ حل معادله موج برای تولید هارمونیک دوم ناموازی ۵۹

۴-۳-۲ **سایر روش های** تشخیصی ۶۴

فصل پنجم: نتایج تجربی

۵-۱ ساخت تقویت کننده های باز تولیدی خطی ۶۵

۵-۲ ساخت تقویت کننده های باز تولیدی حلقوی ۷۰

۵-۲ تنظیم سلول پاکلز ۷۵

۵-۳ ساخت فشرده کننده پالس ۷۸

۵-۴ ساخت اتوکرولیتور ۸۲

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ادامه کار

نتیجه گیری ۸۷

منابع ۹۰

فهرست تصاویر

شکل ۲-۱ میدان یک موج تک رنگ به صورت تابعی از زمان ۶

شکل ۲-۲ میدان الکتریکی یک پالس گاوسی شکل به صورت تابعی از زمان ۷

شکل ۲-۳ تبدیل فوریه شکل ۲-۱ ۷

شکل ۲-۴ تبدیل فوریه شکل ۲-۲ ۷

شکل ۲-۵ میدان الکتریکی یک پالس گاوسی چیرپ مثبت به صورت تابعی از زمان ۱۰

شکل ۲-۶ تغییر پوش شدت پالس منتشر شده در جهت x در یک محیط شفاف پاشنده ۱۳

شکل ۲-۷ نمایی از رابطه فازی بین مدها.(a) یک مد، (b) دو مد هم فاز، (c)هشت مد با فاز تصادفی، (d) هشت مد هم فاز ۱۶

شکل ۲-۸ مدلاتور آکوستواپتیکی ۱۷

شکل۲-۹ باند جذبی و گسیلی تیتانیوم سفایر ۱۸

شکل ۲-۱۰ نمودار ترازهای انرژی تیتانیوم سفایر ۱۹

شکل ۳-۱ چیدمان تقویت پالس چیرپ ۲۵

شکل۳-۲ تقویت کننده چند بار عبور ۲۷

شکل۳-۳ سیستم CPA با سه مرحله تقویت چند بار عبور پی در پی ۲۸

شکل ۳-۴ تقویت کننده بازتولیدی خطی ۲۹

شکل ۳-۵ یک تشدیدگر برای محاسبه توزیع شدت تولید شده توسط یک تک مد محوری ۳۳

شکل ۳-۶ متوسط زمانی توزیع شدت در تشدیدگر شکل ۳.۱ برای ضرایب بازتاب متفاوت ۳۴

شکل ۳-۷ تشدیدکر حلقوی پایدار ۳۶

شکل ۳-۸ تشدیدگر حلقوی z شکل ۳۷

شکل ۳-۹ تشدیدگرهای حلقوی ناپایدار ۴۰

شکل ۳-۱۰ انتشار پرتو در یک تشدیدگر حلقوی ناپایدار ۴۰

شکل۳-۱۱ تغییرات انرژی پالس در تقویت کننده ۴۵

شکل ۴-۱ پهن کننده بدون ابیراهی موجود در آزمایشگاه ۴۸

شکل ۴-۲ مسیر اپتیکی از میان یک جفت توری عبوری ۴۹

شکل۴-۳ اتوکرولیتور کلاسیک ۵۴

شکل ۴-۴ برهم نهی فضایی دو پرتو در کریستال ۵۶

شکل ۴-۵ شماتیک اتوکرولیتور تک شلیکی ۵۸

شکل ۴-۶ نمایی از چیدمان ناموازی ۶۰

شکل۵-۱ چیدمان تقویت کننده باز تولیدی خطی ۶۷

شکل۵-۲ پالس قبل از تقویت ۶۹

شکل ۵-۳ پالس پس از تقویت ۶۹

شکل۵-۴ چیدمان تقویت کننده بازتولیدی حلقوی ۷۲

شکل ۵-۵ تقویت کننده بازتولیدی حلقوی ۷۳

شکل ۵-۶ اولین خروجی تقویت کننده بازتولیدی حلقوی ۷۴

شکل ۵-۷ خروجی تقویت کننده بازتولیدی حلقوی ۷۴

شکل ۵-۸ خروجی با کمترین اتلاف ۷۵

شکل ۵-۹ چیدمان تجربی تنظیم سلول پاکلز ۷۷

شکل۵-۱۰ بعلاوه مالتس ۷۷

شکل ۵-۱۱ فشرده کننده ۴ توری ۷۹

شکل ۵-۱۲ فشرده کننده ۴ منشوری ۷۹

شکل ۵-۱۳ فشرده کننده ۲ توری ۸۰

شکل۵-۱۴ شماتیک فشرده کننده ساخته شده یا استفاده از ۱ توری ۸۰

شکل ۵-۱۵ نمای فشرده کننده ۸۲

شکل ۵-۱۶ برهم نهی فضایی دو پرتو در کریستال ۸۴

شکل ۵-۱۷ شماتیک اتوکرولیتور تک شلیکی ۸۵

شکل۵-۱۸ اتوکرولیتور تک شلیکی ۸۶

فهرست جداول

جدول ۲-۱ مقادیر مختلف K برای اشکال متفاوت پالس ۹

جدول۵-۱بررسی اثر تعداد دور بر ضریب تقویت ۶۸

چکیده:

در این پایان نامه به طراحی و ساخت سیستم تقویت کننده، فشرده کننده و اتوکرولیتور به منظور تقویت پالس های فوق کوتاه و تعیین مشخصات آن ها پرداخته ایم. تقویت کننده های ساخته شده از نوع تقویت کننده بازتولیدی خطی و حلقوی است که در آن ها برای کوپل کردن پرتو به داخل و خارج از قطبشگر های دو منشوری استفاده گردید. محیط بهره در هر دو مورد کریستال تیتانیوم سفایر بوده که بوسیله هارمونیک دوم یک لیزر Nd:YAG نانو ثانیه پمپ می گردید. در ساخت تقویت کننده خطی در بهترین حالت به ضریب تقویت $۱۰^{۸}$ دست یافتیم. در ساخت تقویت کننده حلقوی نیز پالس چندین برابر تقویت گردید. بهینه سازی بهتر سیستم منجر به بالا رفتن ضریب تقویت خواهد گردید. فشرده کننده ساخته شده نیز از یک توری تشکیل شده، که پهنای پالس تقویت شده را می کاهد. از طرفی برای تعیین خصوصیات پالس تولید شده نیاز به دستگاه های تشخیصی پا لس های فوق کوتاه داشتیم. به همین منظور طراحی و ساخت یک اتوکرولیتور تک شلیکی انجام گرفت.

کلمات کلیدی: تقویت کننده بازتولیدی حلقوی ، پهن کننده، فشرده کننده، اتوکرولیتور ،چیرپ

فصل اول

مقدمه:

تکنولوژی لیزرهای فوق سریع با استفاده از لیزرهای پالسی فمتوثانیه به منظور مطالعات گوناگونی از جمله مطالعه خصوصیات مواد به کار می روند. پالس هایی با پهنای فوق کوتاه تولید، آشکارسازی و مطالعه گذارهای کوتاه شیمیایی را ممکن ساخته اند. لیزرهای فوق سریع را می توان برای تولید پالس هایی با توان قله بسیار بالا به کار برد. از این پالس ها می توان در میکرو ماشین کردن و کند و سوز [۱]، تولید تابش الکترومغناطیسی در طول موج های غیر متداول مانند امواج میلیمتری و اشعه ایکس [۲] و تصویرسازی چندفوتونی [۳] استفاده کرد. امروزه تولید پالس های فمتوثانیه در بسیاری از آزمایشگاه ها صورت می گیرد. پالس های حدود ۳۰ فمتوثانیه را می توان مستقیما از یک نوسانگر بدست آورد[۴].

با ظهور اولین لیزر[۵] دانشمندان دریافتند که تمرکز انرژی بالای این منبع را می توان با ساخت منابع پالسی به جای منابع موجی پیوسته افزایش داد. به دنبال تلاشی که دردهه ۱۹۵۰ انجام گرفت، تکنیک تولید پالس در لیزرها در دهه ۱۹۶۰ رشد کرد: اولین لیزر سوئیچQ توسط مک کلانگ[۱] و هلوارت[۲] در سال ۱۹۶۲ با استفاده از یک سلول کر ساخته شد و اولین لیزر قفل شده مدی فعال در ۱۹۶۴ طراحی شد. در سال ۱۹۶۶ روش قفل شدگی مدی انفعالی با یک جاذب اشباعی برای یک لیزر Nd:glass به کار گرفته شد. در دهه ۱۹۸۰ اولین لیزر Ti:Sapphire با موفقیت ساخته شد. اما در این میان نیاز به ساخت لیزرهای پالسی با طول پالس کوتاهتر و انرژی بیشتر احساس می شد.

دو ابداع و نوآوری در آغاز دهه ۱۹۸۰ کمک به رفع این نیاز کرد:

روش قفل شدگی مد پالس برخوردی[۳] [۶] و تکنیک تقویت پالس چیرپ[۴] [۷]

در روش تقویت پالس های چیرپ پرتوان که توسط لیزرهای تیتانیوم سفایر[۵] صورت می گیرد، یک پالس فمتو ثانیه ابتدا توسط یک پهن کننده[۶] ، پهن شده و سپس به وسیله چندین مرحله تقویت، توسط تقویت کننده های چندبار عبور یا ترکیبی از تقویت کننده باز تولیدی[۷] و تقویت کننده های چند بار عبور تقویت می شوند. برای تقویت عموما از تقویت کننده باز تولیدی با کاواک خطی پایدار استفاده می شود. بنابراین می توان پس از تقویت و مرحله فشرده سازی، پالس هایی به کوتاهی ۶ فمتوثانیه بدست آورد. با روشی مشابه اما در دامنه زمانی می توان پالس های فمتوثانیه را در رنج ۲۰۰ نانومتر تا ۱۰/۶میکرومتر تولید کرد[۸].

در تقویت پالس های فوق کوتاه، از آنجا که کاواک حلقه ای در مقایسه با کاواک خطی پیچیده تر وتنظیم بسیار مشکلی دارند، کمتر مورد توجه بوده اند، اما کاواک های حلقه ای دارای مزایای قابل توجهی هستند، به طوری که برای استفاده از پالس های تقویت شده در کاربردهای متعدد ملزم به طراحی و ساخت این نوع کاواک

---

۱ Mc Clung
۲ Hellwarth
۳ CPM(Colliding-Pulse Modelocked)
۴ CPA(Chirped Pulse Amplification)
۵ Ti:Sapphire
۶ Stretcher
۷ Regenerative(regen)

هستیم. کاواک های حلقه ای دارای محاسن متعددی هستند، که از جمله آنها می توان به انرژی خروجی بالا، کنتراست بالا و جلوگیری از بازگشت پالس تقویت شده به سمت نوسانگر اشاره کرد.

با وجود این تلاش ها در تولید و تقویت پالس های فمتوثانیه، تا مدت ها هیچ پروسه ای برای تعیین مشخصات این پالس ها صورت نگرفته بود. در دهه اخیر روش های تشخیصی متنوعی برای تعیین پالس های فمتوثانیه صورت پذیرفت[۹] .

در این پایان نامه به ترتیبی که در زیر آمده است، ابتدا پالس های پهن شده خروجی یک پهن کننده در یک تقویت کننده بازتولیدی تقویت شده و سپس به کمک یک فشرده کننده[۸] به پهنای اولیه خود (خروجی نوسانگر یعنی حدود ۱۰۰ فمتوثانیه) بازگردانده می شود. به منظور اندازه گیری پهنای پالس نیز روش تک شلیکی به کار برده می شود.

ساختار پایان نامه به ترتیب زیر است:

در فصل دوم این پایان نامه به مفهوم پالس های فوق کوتاه و تولید آن ها می پردازیم. دو روش متداول تولید پالس های فوق کوتاه یعنی قفل شدگی انفعالی و قفل شدگی فعال را مختصرا توضیح می دهیم. در پایان فصل هم خصوصیات یون تیتانیوم را مرور می کنیم.

فصل سوم به اصول تقویت، معادلات آن و خصوصیات تقویت کننده های باز تولیدی با تشدید گرهای خطی و حلقوی اختصاص دارد. در ادامه فصل به طور خاص به جزئیات تشدیدگرهای حلقوی می پردازیم.

در فصل چهارم سیستم های جانبی مورد استفاده در سیستم هایCPA یعنی پهن کننده، فشرده کننده و اتوکرولیتور را به تفصیل توضیح خواهیم داد.

[۸] Compressor

فصل پنجم دربرگیرنده چیدمان های تجربی و نتایج ساخت تقویت کننده باز تولیدی با تشدیدگر خطی و حلقوی، فشرده کننده و اتوکرولیتور تک شلیکی است.

فصل ششم به، نتیجه گیری و همچنین پیشنهاداتی برای ادامه کار خواهد پرداخت.

فصل دوم

مقدمه

تکنولوژی لیزر حوزه چندان پویایی است که آنچه چندین سال پیش یک رویداد عظیم آزمایشگاهی بود امروزه ممکن است یک مورد پیش پاافتاده خارج از رده باشد. باریکه های لیزری تاکنون از ماه واجهیده اند، شبکه های جداشده چشم را جوش داده اند، نوترونهای همجوشی ایجاد کرده اند، رشد برخی بذرها را برانگیخته اند، به عنوان پیوندهایی در ارتباطات به کار رفته اند، موتور کارخانه ها، موشک ها، کشتی ها و ماشین های تراش را هدایت کرده اند، تصاویر رنگی تلویزیونی را حمل کرده اند و شگفتی هایی بی شماری را پدید آورده اند[۱۰]. در میان این کاربردها، آنچه امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفته بر همکنش پالس های لیزری با مواد و همچنین آشکارسازی پدیده های سریع است. بدین منظور نیاز به لیزرهای پالسی فوق کوتاه و باشدت بالا احساس می شد.

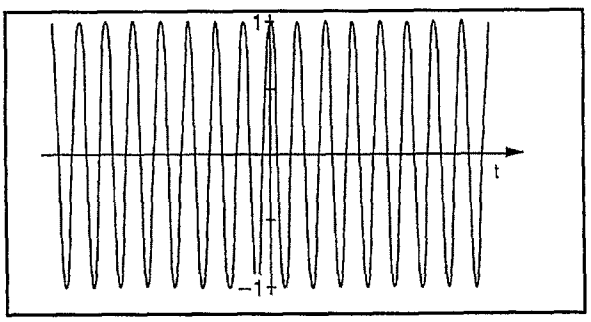
در این فصل ابتدا به مفاهیم پالس و چیرپ می پردازیم. سپس روش های متداول تولید پالس های فوق کوتاه را بررسی می کنیم. از آنجا که محیط فعال در سیستم نوسانگر موجود در آزمایشگاه و محیط بهره در تقویت کننده کریستال تیتانیوم سفایر است، در انتهای فصل پاره ای از جزئیات این ماده را برمی شمریم.

۲-۱ مفهوم پالس و انتشار آن در یک محیط شفاف:

از برهم نهی تعداد زیادی موج الکتریکی با فرکانس های متفاوت که با یکدیگر رابطه فازی دارند و دارای همپوشانی فضایی هستند، یک پالس اپتیکی پدید می آید. می دانیم یکی از جواب های معادله موج ،یک موج تک رنگ است که به صورت زیر تعریف می شود.

$$E_y = \mathrm{Re}(E_0\, e^{i\omega_0 t}) \qquad (۲-۱)$$

در این رابطه میدان الکتریکی، تابعی کسینوسی از زمان است که تا ∞ ادامه دارد.(شکل(۲-۱))

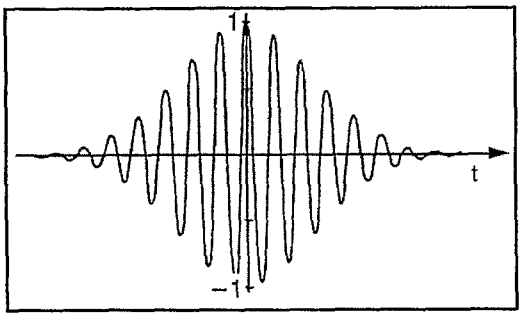


شکل ۲-۱ میدان یک موج تک رنگ به صورت تابعی از زمان

برای ساختن شکل پالسی کافی است رابطه(۲-۱) را در یک عبارت زنگوله ای ضرب کنیم.

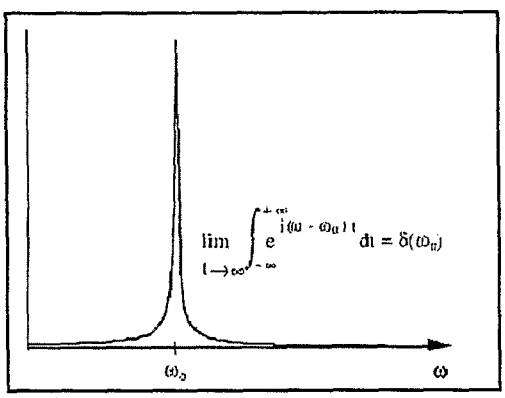
$$E_y = \mathrm{Re}(E_0\, e^{(-\Gamma t^2 + i\omega_0 t)}) \qquad (۲-۲)$$

شکل (۲-۲) نمایشگر عبارت (۲-۲) است،به طوری که Γ فاکتور شکلی پوش گاوسی و $\Gamma \propto -t_0^{\,2}$ است.

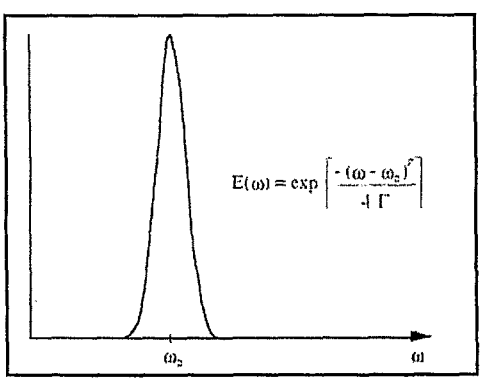


شکل ۲-۲ میدان الکتریکی یک پالس گاوسی شکل به صورت تابعی از زمان

شکل طیفی یک موج تک رنگ با تبدیل فوریه آن بدست می آید که به صورت یک تابع دلتای دیراک است(شکل (۲-۳)).همانگونه که از شکل(۲-۴) پیداست، تبدیل فوریه تابع گاوسی یک تابع گاوسی است پس شکل فرکانسی یک پالس، پهن تر از یک موج تخت تک رنگ درفضای فرکانسی است.



شکل ۲-۳ تبدیل فوریه شکل ۲-۱



شکل ۲-۴ تبدیل فوریه شکل ۲-۲

برای یافتن رابطه بین پهنای زمانی وفرکانسی یک پالس، از تبدیل فوریه زمانی-فرکانسی کمک می گیریم: