



تقویت تپ‌های لیزر فمتوثانیه Ti:sapphire توسط تقویت‌کننده بازتولیدی آرایش-Z

فرشته حاج اسماعیل بیگی^{*}، افتخار سادات بستان دوست، اسما سادات معتمدی، حسین رزاقی
پژوهشکده فوتونیک و فن‌آوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران - ایران

*Email: fesmaeilbaigi@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۷/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹

چکیده

در این پژوهش تقویت باریکه لیزر تپی فمتوثانیه Ti:sapphire در تقویت‌کننده بازتولیدی با آرایش هندسی Z براساس روش تقویت تپ چیرپ بررسی شده است. برای انتقال تپ ورودی اولیه به داخل کاواک تقویت‌کننده و استخراج تپ تقویت شده از دو سلول پاکل استفاده شده است. زمان شکل‌گیری تپ تقویت شده برحسب انرژی لیزر دمش مطالعه و روند تحول تپ در داخل کاواک تقویت‌کننده مورد بررسی قرار گرفته است. مدت زمان تپ تولید شده در داخل کاواک بدون حضور تپ ورودی اولیه ۸۰ نانوثانیه و فرایند شکل‌گیری تپ تقویت شده ۳۸ نانوثانیه است. باریکه لیزر تپی فمتوثانیه تقویت شده با نرخ تکرار ۱۰ هرتز در طول موج مرکزی ۸۰۰ نانومتر با بیشینه انرژی ۲ میلی‌ژول بعد از ۱۷ رفت و برگشت در داخل کاواک تقویت‌کننده بازتولیدی با استفاده از انرژی دمش ۱۵ میلی‌ژول در طول موج ۵۳۲ نانومتر تولید شده است. طول موج باریکه لیزر تقویت شده ۸۰۰ نانومتر با پهنای بینایی ۳۰ نانومتر است که نسبت به باریکه لیزر تشدیدگر ۳۰ نانومتر باریک‌تر شده است. کارایی تقویت نسبت به انرژی دمش برابر ۱۳ درصد و ضریب تقویت در این آرایش برابر با 10^6 به‌دست آمده است.

کلیدواژه‌ها: لیزر، فمتوثانیه، تقویت‌کننده بازتولیدی، تیتانیوم سافیر

Amplification of Ti: sapphire femtosecond laser pulses by Z- scheme Regenerative Amplifier

F. Hajiesmaeilbaigi*, E.S. Bostandoost, A.S. Motamedi, H. Razaghi

Photonics and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 14395-836, Tehran - Iran

Research Article

Received 4.10.2021, Accepted 9.1.2022

Abstract

In this study, the amplification of Ti: sapphire laser pulses in a regenerative amplifier with Z geometric arrangement has been demonstrated based on chirped pulse amplification method. Two pocket cells were used to transfer the seed pulses to the amplifier cavity and extract the amplified pulses. Build up time of the amplified pulses according to the energy of the pump laser has been studied, and the dynamic evolution of the pulses inside the amplifier cavity has been investigated. The pulse duration of the generated pulses inside the cavity without seed pulses is about 80 ns, and the buildup time is 38 ns. The 2 mJ amplified femtosecond laser pulses at a repetition rate of 10 Hz are obtained after 17 round trips using pump energy of 15 mJ at 532 nm. The amplified laser wavelength is 800 nm with 30 nm spectral bandwidth, which is 30 nm narrower than the oscillator bandwidth. The amplification efficiency relative to the pump energy is obtained at about 13%, and the amplification coefficient in this scheme reached 10^6 .

Keywords: Laser, Femtosecond, Regenerative amplifier, Ti:sapphire



۱. مقدمه

لیزرهای فوق پرشدت که در بیش تر زمینه‌های علمی و فن‌آوری به‌طور گسترده استفاده می‌شوند بازی می‌کند، به‌طوری‌که با استفاده از فن‌آوری تقویت‌تپ چیرپ دست‌یابی به توان لیزری تا پتاوات در بسیاری از آزمایشگاه‌های پیشرفته محقق شده است [۵، ۸-۱۰].

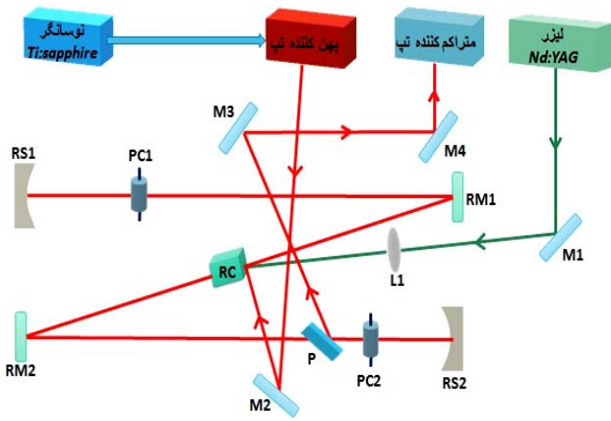
تقویت‌تپ‌های لیزری در سیستم‌های CPA معمولاً توسط تقویت‌کننده‌های چند عبوری و باز تولیدی انجام می‌شود [۱۱]. تقویت‌کننده چند عبوری برای افزایش انرژی تپ چند میلی‌ژول تا سطح انرژی ژول به‌کار می‌رود درحالی‌که تقویت‌کننده باز تولیدی تپ‌های با انرژی نانوژول یا کم‌تر را با ضریب تقویت 10^3 تا 10^5 تا سطح انرژی میلی‌ژول افزایش می‌دهد و همچنین پایداری و کیفیت باریکه خروجی بهتری دارد. در تقویت‌کننده باز تولیدی علی‌رغم بهره نسبتاً پایین در هر عبور تپ می‌تواند چندین بار از بلور تقویت‌کننده عبور کند. بنابراین تقویت‌کننده باز تولیدی به‌عنوان سیستم پیش‌تقویت‌کننده مناسب است. همچنین بهره پایین در هر رفت و برگشت در داخل کاواک از تقویت‌گسیل خودبه‌خودی^۲ (ASE) جلوگیری می‌کند. سرکوب ASE برای تقویت‌تپ‌های با انرژی پایین تا سطوح انرژی بالاتر پایدار لازم است. از آنجایی‌که برای ورود و خروج تپ به داخل کاواک تقویت‌کننده باز تولیدی از سلول پاکل استفاده می‌شود بنابراین به‌دلیل پاشندگی مواد به‌کار رفته در داخل آن‌ها، این تقویت‌کننده‌ها برای تپ‌های با دوره زمانی خیلی کوتاه مناسب نیستند. از طرف دیگر در تقویت‌کننده چند عبوری با تعداد ۸-۱۰ عبور به‌دلیل آن‌که پاشندگی ایجاد شده توسط مواد بسیار کم‌تر از تقویت‌کننده باز تولیدی است برای تقویت‌تپ‌های کوتاه استفاده می‌شود. در واقع کیفیت پایین نیم‌رخ فضایی باریکه خروجی ایراد یا نقطه ضعف اصلی تقویت‌کننده چند عبوری است [۱۲، ۱۳].

همان‌طور که اشاره شد یک مزیت تقویت‌کننده تپ چیرپ فراهم نمودن امکان تقویت‌تپ‌های خیلی کوتاه تا انرژی‌های بسیار بالاست. به‌دلیل پهن کردن تپ از آسیب قطعات جلوگیری و سطح اشباع نیز افزایش می‌یابد. اما برخی از معایب نیز در این روش ایجاد می‌شود. علاوه بر آن‌که پهنای بینایی تپ به‌دلیل محیط بهره باریک می‌شود، تغییر بسامد مرکزی نیز اتفاق می‌افتد. البته استفاده از تقویت‌کننده در سطح اشباع به‌دلیل آن‌که پهنای باند تقویت‌کننده را افزایش می‌دهد می‌تواند برخی از این عیوب را رفع کند. همچنین این امر با سرکوب افت و

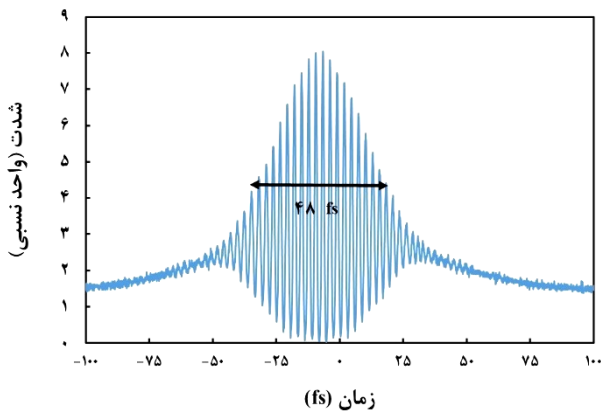
امروزه سیستم‌های لیزری فوق کوتاه پرتوان در زمره مدرن‌ترین فن‌آوری‌های دنیا قرار می‌گیرند که کاربردهای مختلفی در علوم مختلف، صنایع، پزشکی و نظامی دارند [۱، ۲]. یک سیستم لیزری فوق کوتاه در واقع قابلیت ارایه تپ‌های لیزری از مرتبه زمانی زیر ۱۰۰ فمتوثانیه با توان‌هایی بیش از چند ده تراوات تا پتاوات را خواهد داشت. به‌دلیل بروز اثرات غیرخطی ناشی از شدت بالای این تپ‌های کوتاه ماده آسیب دیده یا تخریب می‌شود. بنابراین در طی توسعه و پیشرفت منابع لیزر تپ کوتاه و پرا انرژی، چالش بزرگی در فرایند تقویت‌تپ لیزری شکل گرفت. ظهور روش تقویت‌تپ چیرپ [۳] و کشف تیتانیوم-سافیر (Ti:sapphire) و قفل‌شدگی مد عدسی-کر [۴] به‌عنوان منبع مناسب تولید تپ‌های فمتوثانیه جهشی را در زمینه فن‌آوری تپ فوق کوتاه ایجاد کرده و در حال حاضر نیز تولید تپ‌های کوتاه پرا انرژی که پهنای بینایی وسیعی داشته باشند یکی از موضوعات داغ در فن‌آوری لیزر است [۵، ۶].

با توسعه روش قفل‌شدگی مد عدسی-کر^۱ (KLM) در طی دو دهه گذشته امکان تولید مستقیم تپ لیزری زیر ۱۰۰ فمتوثانیه با انرژی در محدوده نانوژول توسط تشدیدگر لیزری Ti:sapphire وجود دارد [۷]. اما انرژی نانوژول تپ‌های فمتوثانیه کاربرد آن‌ها را محدود می‌کند. از طرف دیگر تقویت‌تپ‌های فوق کوتاه بدون پهن کردن پهنای زمانی آن‌ها سبب آسیب یا تخریب قطعات نوری شده و همچنین به‌دلیل اثرات کانونی و مدولاسیون خود-فاز در داخل محیط تقویت‌کننده کارایی تقویت‌تپ پایین خواهد بود. لذا برای تقویت‌تپ کوتاه از فرایند تقویت‌تپ چیرپ^۲ (CPA) استفاده می‌شود. بدین ترتیب که تپ چند فمتوثانیه‌ای تولید شده در نوسان‌گر لیزر قبل از این‌که تقویت شود توسط سیستم اپتیکی پهن‌کننده تپ که ترکیبی از توری پراش و تلسکوپ متشکل از آینه‌های کروی و تخت دی‌الکتریک پهن باند می‌باشد تا چند صد پیکوثانیه پهن شده، سپس تقویت و انرژی آن افزایش می‌یابد و در انتهای تقویت توسط سیستم اپتیکی متراکم‌کننده که متشکل از توری و آینه‌های تخت و کروی می‌باشد، مجدداً تا پهنای زمانی چند ده فمتوثانیه متراکم می‌گردد. برای جبران پاشندگی اضافی توسط مواد و قطعات، طراحی متراکم‌کننده با توری‌هایی با دوره تناوب متفاوت با توری‌های مورد استفاده در پهن‌کننده انجام می‌شود. امروزه CPA نقش بسیار مهمی در پیشرفت و توسعه





شکل ۱. طرح‌واره سیستم تقویت‌کننده بازتولیدی با آرایش Z. RC بلور کاواک تقویت‌کننده، RS_۱ و RS_۲ آینه‌های کروی انتهایی بازوهای کاواک، PC_۱ و PC_۲ سلول‌های پاکل، RM_۱ و RM_۲ آینه‌های تخت داخل کاواک، L_۱ عدسی، P قطبش‌گر بازتابنده باریکه تقویت شده، M_۱ تا M_۴ آینه‌های تمام بازتابنده.



شکل ۲. مدت زمان تپ نوسان‌گر Ti:sapphire اندازه‌گیری شده به روش خودهمبستگی تداخلی.

تقویت‌کننده باز تولیدی اساساً یک کاواک تشدیدگر است که بلور تقویت‌کننده Ti:sapphire در میان آن قرار دارد. با تنظیم جهت قطبش نور می‌توان یک تپ از قطار تپ‌ها را جدا و به داخل کاواک تقویت‌کننده ارسال نمود. پس از استخراج تمام انرژی بلور تقویت‌کننده همان تپ به بیرون از کاواک منتقل می‌گردد. ورود و خروج تپ به داخل تقویت‌کننده توسط ترکیبی از سلول پاکل، تیغه ربع موج و شکافنده باریکه قطبشی انجام می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است هندسه کاواک تقویت‌کننده استفاده شده در این تحقیق، خطی شکسته با آرایش Z است که دو سلول پاکل بر روی بازوهای منتهی به آینه‌های کروی آن قرار دارد شعاع انحنای آینه‌های کروی ۱۶۰ cm و تمام آینه‌ها دارای لایه‌نشانی تمام بازتاب‌دهنده در طول موج مرکزی ۸۰۰ nm است. طول بازوهای Z برابر ۵۴ cm و فاصله بین دو آینه تخت میانی نیز برابر ۵۴ cm است و بلور

خیزهای انرژی خروجی از حساسیت کم‌تری نسبت به انرژی ورودی برخوردار می‌شود [۱۴].

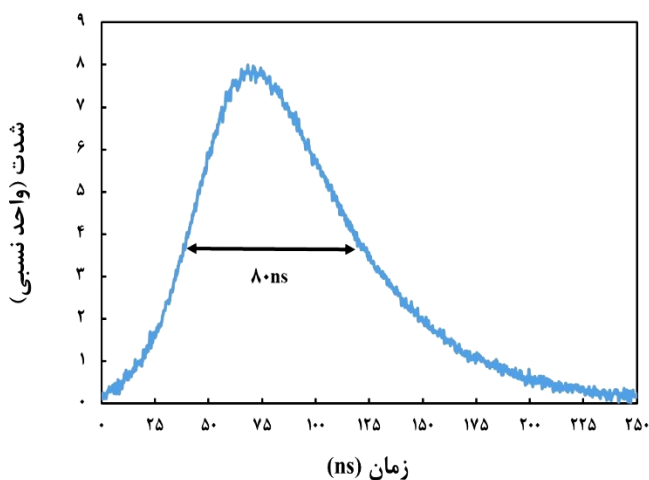
در این مقاله سیستم تقویت‌کننده لیزر Ti:sapphire تپی فمتوثانیه که شامل تقویت‌کننده باز تولیدی با آرایش هندسی Z بر اساس روش CPA است به‌طور تجربی مطالعه و مشخصه‌یابی شده است. مراحل تحول و شکل‌گیری تپ در کاواک تشدیدگر تقویت‌کننده با و بدون حضور تپ ورودی اولیه بررسی و مشخصات پهنای بینایی و زمانی باریکه لیزر اندازه‌گیری شده است. کارایی کوآنتومی تبدیل نیز در باریکه لیزر تقویت شده تعیین شده است.

۲. آزمایش و بحث

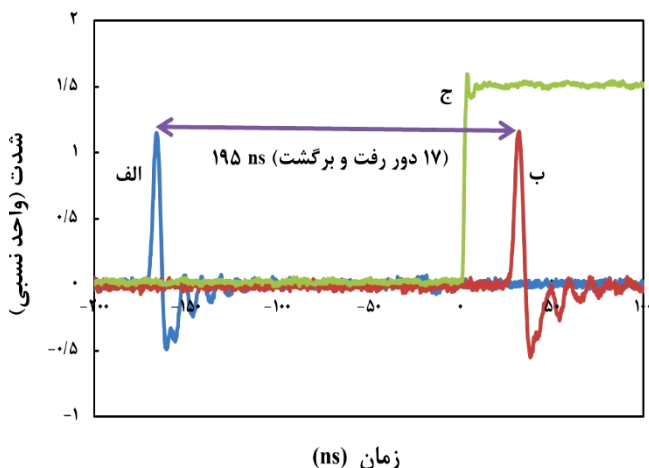
با وجود آن‌که در دهه گذشته برای تولید تپ‌های زیر پیکوثانیه از مواد دیگری نیز مانند مواد با ناخالصی Yb استفاده شده است اما Ti:sapphire هنوز برای ساخت لیزرهای فوق پر قدرت به کار می‌رود [۵]. لیزر Ti:sapphire دارای مزیت پهنای طول موجی وسیع و کوک‌پذیری است که علاوه بر داشتن خروجی موج پیوسته قابلیت تولید تپ‌های فوق کوتاه پر قدرت را فراهم می‌کند. آرایش سیستم لیزر فمتوثانیه استفاده شده در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. این سیستم متشکل از نوسانگر، پهن‌کننده تپ، کاواک تقویت‌کننده و متراکم‌کننده تپ می‌باشد. تپ اولیه توسط لیزر قفل شده مدی تولید می‌شود [۷]. محیط فعال این لیزر بلور Ti:sapphire است که به دلیل پهنای باند بهره بسیار وسیع برای تولید و تقویت تپ‌های فوق کوتاه بسیار مناسب است. توان متوسط تپ‌های تولید شده در نوسانگر ۲۰۰ میلی وات و نرخ تکرار ۸۰ مگاهرتز است. پهنای بینایی تپ‌ها بیش از ۵۰ نانومتر در طول موج مرکزی ۷۸۰ نانومتر و مدت زمان آن‌ها کم‌تر از ۵۰ فمتوثانیه است. شکل ۲ مدت زمان یک نمونه تپ تولید شده که به روش خودهمبستگی تداخلی اندازه‌گیری شده است را نشان می‌دهد. قبل از ورود به تقویت‌کننده، ابتدا مدت زمان تپ‌های لیزر توسط سیستم پهن‌کننده شامل توری پراش ۱۲۰۰ خط در میلی‌متر تا ۲۰۰ پیکوثانیه افزایش یافته و سپس قطبش آن‌ها نیز توسط چرخاننده فارادی به قطبش عمودی تبدیل می‌شود. انرژی تپ‌های ورودی به داخل کاواک تقویت‌کننده ۲ نانوزول است.



تقویت‌کننده و نشان‌دهنده زمان شکل‌گیری تپ تقویت شده است. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است فاصله زمانی بهینه برای اعمال ولتاژ بالا بر روی دو سلول پاکل برابر ۱۹۵ نانوثانیه است، بدین‌معنی که تپ پس از ۱۷ بار رفت و برگشت در داخل کاواک تقویت‌کننده به بیشینه انرژی خود می‌رسد. فرایند شکل‌گیری تپ تقویت شده در داخل کاواک تقویت‌کننده با حضور تپ ورودی اولیه و بدون اعمال ولتاژ بر روی سلول پاکل دوم در شکل ۵ الف و پس از اعمال HV۲ برای استخراج تپ تقویت شده در شکل ۵ ب نشان داده شده است. فاصله بین تپ‌ها برابر با زمان یک رفت و برگشت تپ در داخل کاواک تقویت‌کننده و برابر با ۱۱/۵ نانوثانیه است.



شکل ۳. مدت زمان تپ تولید شده در کاواک Ti:sapphire قبل از تزریق تپ ورودی اولیه.



شکل ۴. فاصله زمانی اعمال HV۱ و HV۲ بر روی سلول‌های پاکل (الف) تپ HV۱، (ب) تپ HV۲ و (ج) محل اعمال تریگر.

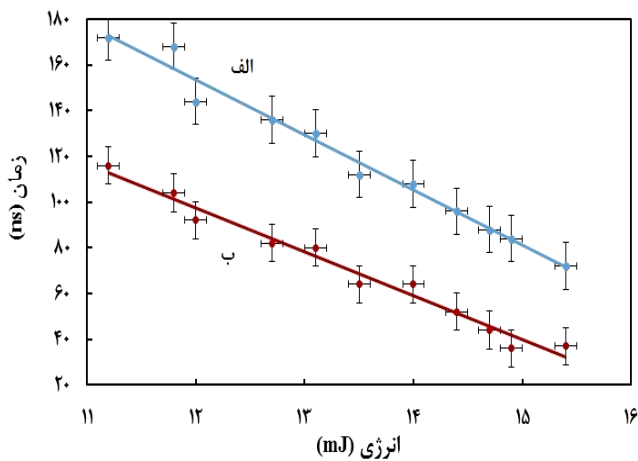
Ti:sapphire به طول ۱ cm در وسط آن قرار گرفته است. و یک قطبش‌گر نازک به‌عنوان بازتاب‌دهنده باریکه تقویت شده بر روی یکی از بازوها واقع شده است. هم‌زمانی تپ‌های لیزر دمش، لیزر نوسان‌گر و تپ‌های الکتریکی ولتاژ بالای مربوط به سلول‌های پاکل مورد استفاده در تقویت‌کننده توسط سیستم هم‌زمان‌کننده کنترل می‌شود. این زمان‌بندی به گونه‌ای است که تپ‌های نوری نوسانگر از طریق فیبر نوری به سیستم هم‌زمان‌کننده وارد و به‌عنوان راه‌انداز سلول‌های پاکل و لیزر دمش همراه با تأخیرهایی با گام ۲۰ پیکوثانیه عمل می‌کند.

۱۰۲ زمان شکل‌گیری تپ و مدت زمان تپ

در این تحقیق به‌منظور بهینه‌سازی مؤلفه‌های کاواک لیزر Ti:sapphire با آرایش Z ابتدا تپ‌های لیزری تولید شده قبل از تزریق تپ ورودی اولیه به داخل تقویت‌کننده مورد بررسی قرار گرفته است. دمش محیط فعال کاواک تقویت‌کننده توسط هماهنگ دوم لیزر Nd:YAG با نرخ تکرار ۱۰ هرتز و مدت زمانی ۲۰ نانوثانیه انجام شده است. با توجه به آن‌که وارونگی جمعیت و در نتیجه بهره اولیه محیط فعال به انرژی لیزر دمش بستگی دارد، فرایند شکل‌گیری تپ نیز به انرژی لیزر دمش وابسته است. شکل ۳ پهنای زمانی تپ ۸۰ نانوثانیه تولید شده در کاواک تقویت‌کننده لیزر Ti:sapphire بدون حضور تپ ورودی اولیه را نشان می‌دهد.

به سلول‌های پاکل استفاده شده در این تحقیق تپ‌های الکتریکی ولتاژ بالا با دوره زمانی کم‌تر از ۱۰ نانو ثانیه با نرخ تکرار ۱۰ هرتز اعمال می‌شود. اعمال HV۱ روی سلول پاکل ۱ برای انتخاب یک تپ از قطار تپ‌های لیزر نوسان‌گر و تزریق آن به داخل کاواک تقویت‌کننده است، در حالی‌که HV۲ برای استخراج تپ تقویت شده از کاواک در زمانی‌که انرژی آن به اندازه کافی بالا رفته باشد بر روی سلول پاکل ۲ اعمال می‌شود. فاصله بین دو تپ متوالی در باریکه لیزر نوسان‌گر با نرخ تکرار ۸۰ مگاهرتز برابر با ۱۲/۵ نانوثانیه است. بنابراین با اعمال HV۱ با بازه زمانی کم‌تر از ۱۰ نانوثانیه می‌توان فقط یک تپ تنها (منفرد) را از میان قطار تپ‌ها جدا و به‌عنوان تپ ورودی اولیه به داخل کاواک تقویت‌کننده تزریق نمود. برای مشاهده تحول شکل‌گیری تپ تقویت شده ناشی باریکه لیزر از پشت آینه RS۲ توسط فتودیود سریع اندازه‌گیری می‌شود. زمانی‌که انرژی تپ به بیشینه خود رسید با اعمال HV۲ تپ تقویت شده از کاواک خارج می‌شود. فاصله زمانی بین اعمال ولتاژ بر روی دو سلول پاکل منطبق بر تعداد رفت و برگشت تپ در داخل کاواک



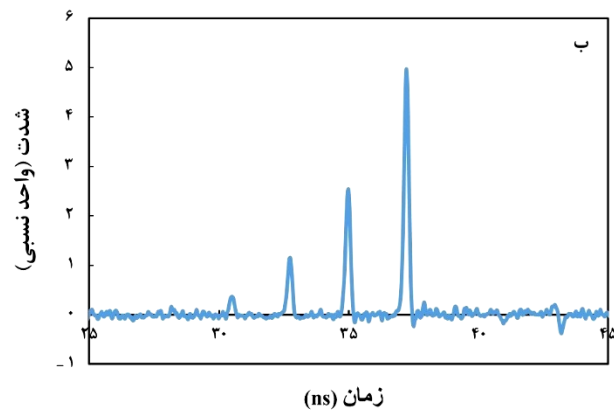
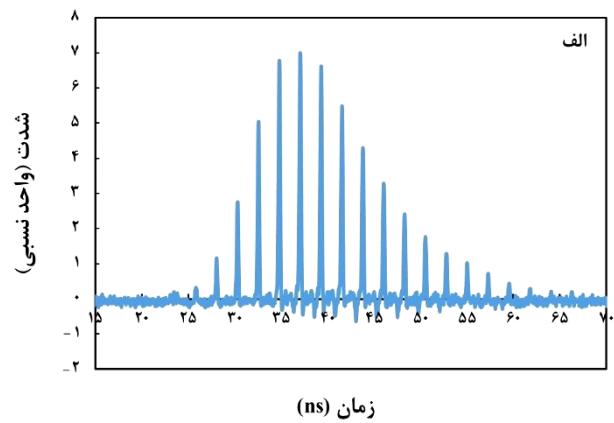


شکل ۶. منحنی تغییرات زمان شکل‌گیری تپ برحسب انرژی دمش، الف) بدون تزریق تپ ورودی اولیه، ب) با تزریق تپ ورودی اولیه.

۲.۲ پهنای باند تقویت‌کننده باز تولیدی

تولید تپ‌های فمتوثانیه به بیناب بهره وسیعی نیاز دارد. در لیزرهایی مانند Ti:sapphire که پهنای باند بینایی بسیار وسیعی دارند، مدت زمان تپ یکی از پارامترهای اصلی لیزر است. رابطه اساسی $\Delta \nu \geq K \Delta t$ بین مدت زمانی تپ و پهنای بینایی آن وجود دارد. K پارامتری است که به شکل زمانی تپ بستگی دارد و برای باریکه گوسین یا سکانت هیپربولیک به ترتیب 0.444 و 0.315 است [۱۵، ۱۶]. هنگامی که تساوی معادله برقرار باشد تپ محدود شده- فوریه نامیده می‌شود که بیان‌گر کم‌ترین دوره زمانی تپ برای پهنای بینایی مشخص است. در حالت نامساوی تپ چیرپ نامیده می‌شود. رابطه بالا هم‌چنین نشان می‌دهد که هرچه بیناب پهن‌تر باشد تپ کوتاه‌تر است. با این حال پهنای بینایی نمی‌تواند به‌طور دلخواه زیاد شود و توسط سطح مقطع گسیل تقویت‌کننده که ویژگی خاص هر ماده است محدود می‌گردد. در واقع بیناب تپ در طی فرایند تقویت توسط دو اثر باریک‌شدگی بهره و جابه‌جایی بهره تغییر می‌کند. باریک شدن بهره سبب کاهش پهنای بینایی در اثر تقویت می‌شود، در حالی که جابه‌جایی بهره منجر به تغییر طول موج مرکزی تپ می‌گردد.

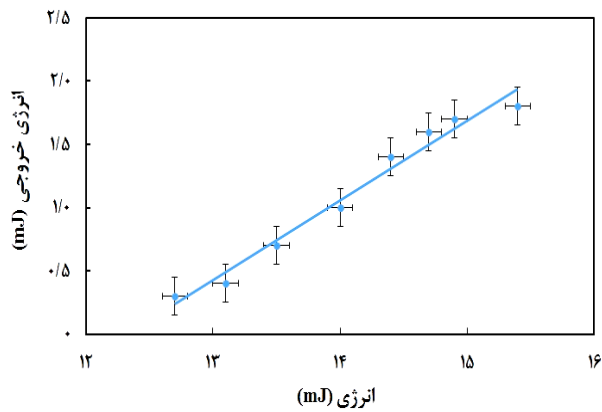
با توجه به آن که پهنای باند تقویت‌کننده بازتولیدی توسط پهنای باند بلور محدود می‌شود، در این تحقیق برای تطابق پهنای باند تقویت‌کننده با نوسان‌گر از همان بلور Ti:sapphire در آرایش تقویت‌کننده استفاده شده است. حتی با این وجود به دلیل آن که لبه‌های تپ کم‌تر از مرکز آن تقویت می‌شوند در طی تقویت پهنای تپ خروجی باریک‌تر خواهد شد.



شکل ۵. فرایند شکل‌گیری تپ در داخل کاواک تقویت‌کننده با حضور تپ ورودی اولیه الف) با اعمال HV_1 و بدون HV_2 و ب) با اعمال HV_1 و HV_2 .

اختلاف زمانی بین قله شدت لیزر دمش و تپ لیزر خروجی زمان شکل‌گیری تپ نامیده می‌شود. به دلیل آن که انرژی تپ دمش تعیین‌کننده وارونگی جمعیت و بنابراین بهره اولیه در محیط فعال لیزر است، دینامیک زمان شکل‌گیری تپ به شدت تحت تأثیر انرژی تپ دمش قرار دارد. در نتیجه با افزایش انرژی دمش و افزایش بهره زمان غلبه بر اتلاف کاواک کوتاه‌تر و در نتیجه زمان شکل‌گیری تپ کوتاه‌تر خواهد بود. منحنی تغییرات زمان شکل‌گیری تپ برحسب تغییر انرژی تپ لیزر دمش بدون حضور تپ ورودی اولیه و با تزریق تپ ورودی اولیه به داخل کاواک تقویت‌کننده در شکل ۶ آورده شده است. با افزایش انرژی دمش زمان شکل‌گیری تپ کوتاه‌تر شده و در فرایند بدون تزریق تپ ورودی اولیه این زمان تا حدودی بیشتر از حالت با تزریق تپ ورودی اولیه می‌باشد. هم‌چنین در بیشینه انرژی دمش مدت زمان شکل‌گیری تپ با حضور تپ ورودی اولیه به ۳۸ نانوثانیه می‌رسد و همان‌طور که در شکل ۴ و شکل ۵ الف نشان داده شده است برابر با فاصله زمانی شکل‌گیری تپ در حالت بدون ورودی اولیه و بهترین موقعیت زمانی برای اعمال HV_2 و استخراج تپ تقویت شده است.





شکل ۸. منحنی تغییرات انرژی خروجی تپ تقویت شده برحسب انرژی تپ دمش کاواک تقویت کننده.

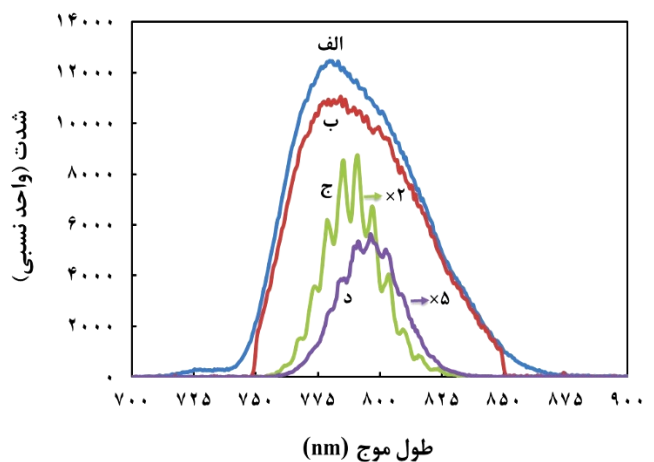
۳. نتیجه گیری

در این مقاله تقویت کننده باز تولیدی تپ های فمتو ثانیه لیزر Ti:sapphire براساس روش CPA در آرایش هندسی Z با استفاده از دو سلول پاکل برای تزریق تپ ورودی اولیه و خروج تپ تقویت شده به طور تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. تپ های تقویت شده در طول موج ۸۰۰ نانومتر در نرخ تکرار ۱۰ هرتز با انرژی بیشینه ۲ میلی ژول پس از ۱۷ رفت و برگشت در داخل کاواک تولید شده اند. طول موج مرکزی باریکه لیزر پس از تقویت نسبت به باریکه نوسانگر ۲۰ نانومتر جابه جایی قرمز داشته است. پهنای بینایی تپ تقویت شده ۳۰ نانومتر در طول موج مرکزی ۸۰۰ نانومتر است که پس از متراکم کننده تپ محدود شده - فوریه ۷۰ فمتوثانیه را تولید می کند. کارایی تبدیل انرژی ۱۳ درصد و ضریب تقویت ۱۰^۶ به دست آمده است.

در شکل ۷ پهنای بینایی خروجی لیزر تقویت شده و لیزر کاواک تقویت کننده بدون حضور تپ لیزر ورودی اولیه در مقایسه با خروجی نوسانگر اولیه نشان داده شده است. طول موج مرکزی لیزر تقویت شده نسبت به تپ ورودی اولیه ۲۰ نانومتر جابه جایی قرمز داشته است. به دلیل اثر باریک شدگی توسط بهره در بلور Ti:sapphire و محدوده پهنای باند لایه گذاری شده آینه ها و سلول های پاکل بیناب تپ لیزر پس از تقویت کننده ۳۰ نانومتر باریک تر از نوسانگر اصلی است و تپ تبدیل - محدود شده ۷۰ فمتوثانیه را فراهم می کند.

۳.۲ انرژی تپ تقویت شده

انرژی تپ تقویت شده به صورت تابعی از انرژی دمش در شکل ۸ نشان داده شده است. انرژی بیشینه اندازه گیری شده تپ قبل از متراکم سازی برابر ۲ میلی ژول و شیب کارایی تقریباً ۱۳٪ است. با توجه به آن که توان متوسط باریکه خروجی نوسانگر برابر ۲۰۰ میلی وات توسط توان سنج اندازه گیری شده است و نرخ تکرار تپ ها ۸۰ مگاهرتز می باشد بنابراین انرژی هر تپ خروجی از نوسانگر ۲/۵ نانوزول می شود که پس از عبور از آینه های انتقال و پهن کننده انرژی تپ ورودی اولیه تزریق شده به داخل کاواک تقویت کننده برابر با ۲ نانوزول است و همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده، انرژی بیشینه تپ تقویت شده برابر ۲ میلی ژول حاصل شده است. بنابراین ضریب تقویت در این آرایش برابر با ۱ میلیون می باشد. تپ های لیزری تقویت شده پس از عبور از فیلتر فضایی وارد قسمت متراکم کننده که شامل توری های پراش ۱۵۰۰ خط در میلی متر است می شود و مدت زمان تپ ها تا ۷۰ فمتوثانیه کاهش می یابد.



شکل ۷. بیناب تپ لیزر فمتوثانیه خروجی از الف) نوسانگر، ب) پهن کننده تپ، ج) کاواک تقویت کننده بدون تپ ورودی اولیه و د) با تپ ورودی اولیه.



مراجع

1. H. Kiriyama, et al., *High-Contrast, High-Intensity Petawatt-Class Laser and Applications*, *IEEE J. Select. Top. Quantum Electron.*, **21**, 232–249 (2015).
2. T. Asavei, et al., *Materials in Extreme Environments for Energy, Accelerators and Space Applications at ELI-NP*, *Rom. Rep. Phys.*, **68**, S275–S347 (2016).
3. D. Strickland, G. Mourou, *Compression of Amplified Chirped Optical Pulses*, *Opt. Commun.*, **56**, 219-221 (1985).
4. D.E. Spence, P.N. Kean, W. Sibbett, *60-fsec pulse generation from a self-mode-locked Ti:sapphire laser*, *Opt. Lett.*, **16**, 42–44 (1991).
5. H. Kiriyama, et al., *Petawatt Femtosecond Laser Pulses from Titanium-Doped Sapphire Crystal*, *Crystals*, **10**, 783 (2020).
6. J.W. Yoon, et al., *Achieving the laser intensity of 5.5×10^{22} W/cm² with a wavefront-corrected multi-PW laser*, *Opt. Express*, **27**, 20412–20420 (2019).
7. F. Hajiesmaeilbaigi, A. Azima, *Ultrashort pulse generation by self-mode-locked Ti:sapphire laser without apertures and with low pumping powers*, *Canadian Journal of Physics*, **76**(6), 495-499 (1998).
8. T.J. Yu, et al., *Generation of high-contrast, 30 fs, 1.5PW laser pulses from chirped-pulse amplification Ti:sapphire laser*, *Opt. Express*, **20**, 10807–10815, (2012).
9. H. Kiriyama, et al., *High temporal and spatial quality petawatt class Ti:sapphire chirped pulse amplification laser system*, *Opt. Lett.*, **35**, 1497-1499 (2010).
10. M. Cerchez, et al., *ARCTURUS laser: a versatile high-contrast, high-power multi-beam laser system*, *High Power Laser Science and Engineering*, **7**(37), 11 (2019).
11. J. Jeong, et al., *Modeling and Analysis of High Power Ti:sapphire Laser amplifiers-A*, *Review Appl. Sci.*, **9**, 2396 (2019).
12. S.J. Hwang, et al., *Femtosecond Laser Pulse Distortion in Ti:sapphire Multipass Amplifier by Atomic Phase Shifts*, *J. Korean Phys. Soc.*, **71**, 652–656 (2017).
13. Wei Zhang, et al., *Efficient amplification of a femtosecond Ti:sapphire laser with a ring regenerative amplifier*, *Applied Optics*, **52**, 7 (2013).
14. J. Easter, et al., *Stable Long-Cavity Regenerative Amplifier with 10^{-11} ASE Contrast*, *Conference Paper. June* (2007). DOI: 10.1109/CLEO.2007.4453573. Source: IEEE Xplore.
15. J.C. Diels, *Ultrashort Laser Pulse Phenomena: Fundamentals, Techniques, and Applications on a Femtosecond Time Scale*, **2nd ed.** (Elsevier/Academic Press Amsterdam, the Netherlands, 2006).
16. O. Svelto, *Principles of lasers*, **5th ed.** (Springer, 2010, Chapter 8).

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

فرشته حاج اسماعیل بیگی، افتخار سادات بستان دوست، اسما سادات معتمدی، حسین رزاقی (۱۴۰۲)، تقویت تپ‌های لیزر فمتوثانیه Ti:sapphire توسط تقویت‌کننده بازتولیدی آرایش-Z، ۱۰۳، ۱۴۴-۱۵۰

DOI: 10.24200/nst.2022.1327

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1327.html

