طراحی سیستم پهن‌کننده‌ی تپ فمتو ثانیه در چیدمان مارتینز شکستی با چرپ فضاییِ بسیار کم

سمانه زاهدی[۱]، سید علی‌اصغر عسکری[۱]، لاله رحیمی نژاد[۱] و حسین ثقفی فر[۱]

[۱] پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، ایران

چکیده – در این مقاله یک سیستم پهن‌کننده‌ی لیزری تپ فمتوثانیه با طول موج مرکزی ۸۱۰ نانومتر بر اساس پیکربندی مارتینزِ شکستی با ضریب پهن‌کنندگی ۳۰۰۰ برای یک تپِ گاوسیِ ۱۱۰ فمتوثانیه طراحی گردیده است. مطالعه‌ی پروفایل فضایی تپ خروجی از سیستم، نشان‌دهنده‌ی کیفیت پایین لکه‌ی خروجی و میزان زیاد چرپ‌شدگی فضایی تپ پهن‌شده می‌باشد. پهنای طیفی زیاد تپ‌های بسیار کم‌عرض فمتوثانیه موجب می‌شود که ابیراهی رنگی عدسی مهم‌ترین عامل کاهش کیفیت لکه‌ی خروجی از سیستم پهن‌کننده باشد. به همین دلیل در این کار یک عدسی دوتایی بیرنگ مناسب برای سیستم مورد نظر طراحی و جایگزین تک‌عدسی شده است. مطالعه‌ی پروفایل فضایی تپ خروجی از سیستم نشانگر کاهش قابل ملاحظه‌ی چرپ‌شدگیِ فضایی تپ پهن‌شده در مقایسه با سیستم تک‌عدسی می‌باشد.

کلید واژه- تپ لیزر فمتوثانیه، پهن کننده ی تپ مارتینز، ابیراهی رنگی، عدسی دوتایی بیرنگ.

Designing a Martinez femtosecond pulse stretcher system with very little spatial chirping

Samaneh Zahedi, Ali Asghar Asgari, Laleh Rahiminezhad, and Hossein Saghafifar The Authors Affiliations

Research Center for Optic and Laser Science and Technology,
Malek Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract:
In this paper, a stretcher system is designed based on refractive Martinez arrangement with a stretching coefficient of 3000 for a Gaussian 110 fs pulse laser at 810 nm. The spatial profile of the output pulse reveals low-quality output spot and high spatial chirping of the stretched pulse. Due to high spectral width of ultrashort femtosecond pulses, chromatic aberration of the lens becomes the most important factor in reducing the quality of output spot from stretching system. In this paper, the singlet-lens is therefore replaced by an appropriate achromatic doublet. The spatial profile of the output pulse represents a drastic reduction of spatial chirping for the stretched pulse in comparison with the singlet-lens system.

Keywords: femtosecond laser pulse, Martinez pulse stretcher, chromatic aberration, achromatic doublet.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

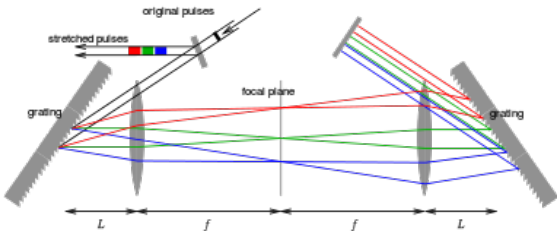
۱- مقدمه

امروزه تپ‌های فمتوثانیه‌ی پرانرژی کاربردهای متنوعی در زمینه‌های مختلف از جمله صنعت و پزشکی دارند. با این وجود فرایند تقویت تپ‌های بسیار کوتاه، بدلیل بالابودنِ بیشینه‌ی توانِ تپ، با مشکلاتی همراه است. از جمله‌ی این مشکلات، ایجادِ اثرات غیرخطی در تقویت‌کننده، کانونی‌شدن و آسیب قطعات نوری تقویت‌کننده است. در روش تقویت تپ چرپ‌شده (CPA[1])، تپ‌های فمتوثانیه بدون ایجاد آسیب در تقویت‌کننده، تقویت خواهند شد. بدین صورت که پهنای زمانی تپ لیزر ابتدا در قسمت پهن‌کننده، همزمان با چرپ‌شدن در تپ افزایش می‌یابد و پس از عبور تپ از تقویت‌کننده، در قسمتِ جمع‌کننده باز هم همزمان با چرپ‌شدگی معکوس، پهنای تپ به مقدار اولیه باز می‌گردد. در نتیجه، تپ نهایی بدون تغییر قابل ملاحظه در شکل و پهنای اولیه تقویت خواهد شد [۱]. بدین ترتیب با افزایش پهنای زمانی در بخش پهن‌کننده، بیشینه‌ی توان تپ کاهش یافته و مشکلات ذکر شده در بالا مرتفع خواهد شد. تاکنون چیدمان‌های متنوعی برای سیستم‌های پهن‌کننده پیشنهاد و استفاده شده است [۲]. از جمله این چیدمان‌ها، پیکربندی مارتینز مبتنی بر عناصر شکستی می‌باشد که با وجود قیمت مناسب و برپایی راحت‌تر، به دلیل استفاده از یک (یا دو) عدسی، ابیراهی قابل ملاحظه‌ای دارد و در مقایسه با چیدمان آفنر، ابیراهی بیشتری داشته، پرهزینه‌تر و پیچیده‌تر است.

گستردگی پهنای طیفی در تپ‌های فوق‌کوتاه باعث می‌شود که ابیراهی رنگی مهم‌ترین عامل کاهش کیفیت تپ پهن‌شده با سیستم مارتینز باشد. به همین دلیل در این مقاله با جایگزینی تک‌عدسی با عدسی دوتایی بی‌رنگ مناسب سعی درکاهش ابیراهی رنگی سیستم شده است. در نهایت، پارامترهای خروجی، نظیر ضریب پهن‌کنندگی و چرپ فضایی از دو سیستم با هم مقایسه خواهند شد.

۲- ساختار سیستم پهن‌کننده‌ی تپ مارتینز مبتنی بر عناصر شکستی

شکل (۱) چیدمان مارتینز تک‌عدسی را به‌صورت طرحوار نمایش می‌دهد. تپِ ورودی به سیستمِ پهن‌کننده با زاویه‌ی مناسب به اولین توریِ بازتابی با تعداد شیار مشخص برخورد می‌کند. پس از پراشیده شدن، باریکه وارد یک تلسکوپ متشکل از دو عدسی محدب با بزرگ‌نمایی واحد می‌شود (فاصله‌ی عدسی‌ها مساوی با مجموعِ فواصل کانونیِ دوعدسی است). همچنین از یک آیینه‌ی پس‌بازتابنده‌ی سقفی به منظور دوبار عبور کردن سیستم و نهایتا کاهش چرپ فضایی استفاده شده است.

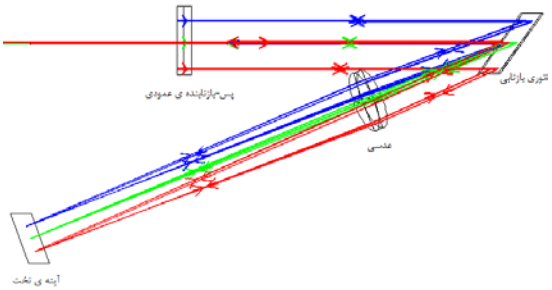


شکل (۱): نمایی از سیستم پهن کننده‌ی مارتینز شکستی.

۲-۱- سیستم مارتینز تک توری

در سیستمی که اینجا طراحی شده از یک آینه‌ی تخت در محل کانون مشترک عدسی‌ها به‌جای عدسی و توریِ دوم استفاده کرده‌ایم (شکل ۲). بدین ترتیب علاوه بر نصف‌شدن ابعاد سیستم و راحت‌تر شدن برپایی، ابیراهی را نیز تا حدی کاهش داده‌ایم. بسته به زاویه‌ی فرودی به توری و طول موج مرکزی، سایر فاصله‌ها تعیین خواهند شد.

[1] Chirped Pulse Amplification



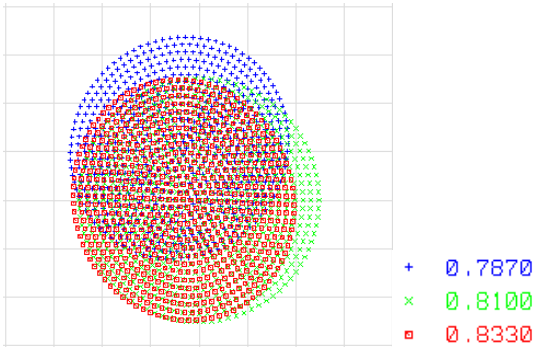
شکل(۲): پهن‌کننده‌ی مارتینز تک عدسی طراحی شده با استفاده از نرم‌افزار ZEMAX.

در جدول (۱) مشخصات سیستم ذکر شده است. در اینجا پهن‌کننده برای تپی با طول موج مرکزی nm ۸۱۰ و پهنای زمانی ۱۱۰fs طراحی شده است. برای چنین تپی به پهن‌کننده‌ای با پهنای باند عبور حداقل nm ۴۶ نیاز است. با افزایش فاصله‌ی توری تا عدسی، ضریب پهن‌کنندگی سیستم کاهش می‌یابد ولی سیستم پهنای باند عبور بیش‌تری را خواهد داشت.

جدولِ(۱):مشخصات سیستم مارتینزِشکستی طراحی شده درزیمکس

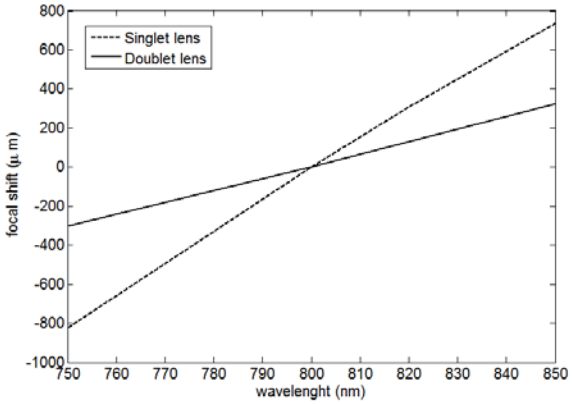
مشخصات سیستم طراحی شده	
طول موج مرکزی	۸۱۰نانومتر
فاصله کانونی عدسی	**۴۰۰میلی‌متر**
فاصله‌ی توری تا عدسی	**۲۵۰سانتی متر**
زاویه‌ی فرودی به توری	**۳۷.۳۳ درجه**
تعدادشیار توری	**۱۸۰۰خط بر میلی‌متر**
سایزلکه	**۵میلی‌متر**
پهنای باند سیستم	**۴۶نانومتر**
ضخامت تک عدسی	**۸میلی‌متر**
ضخامت عدسی دوتایی	۱۸میلی‌متر
قطرعدسی	۱۰۰میلی‌متر

شکل (۳) لکه‌ی خروجی سیستم تک عدسی طراحی شده با مشخصات جدول ۱ را در فضای نرم‌افزار ZEMAX نشان می‌دهد.



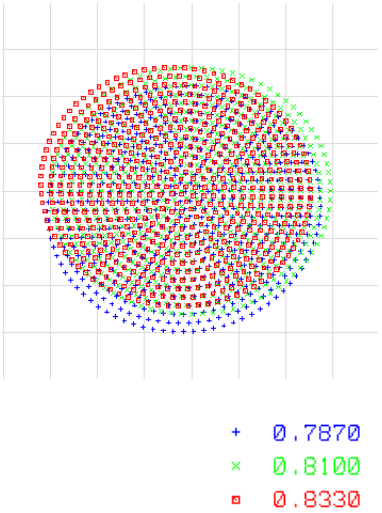
شکل(۳): شکلِ لکه‌ی خروجی از سیستم مارتینز تک عدسی با مشخصات جدول ۱.

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود در خروجی مسیر بسامدهای مختلف موجود در تپ بر یکدیگر منطبق نمی‌باشند. بنابر شکل (۳) این اثر، که چرپ‌شدگی فضایی تپ نامیده می‌شود، در تپ پهن‌شده‌ی خروجی از یک سیستم مارتینز تک-عدسی بسیار قابل ملاحظه است. وجود چرپ‌شدگی فضایی نشان‌دهنده‌ی وجود ابیراهی در سیستم و میزان آن متناسب با اندازه‌ی ابیراهی‌ها است. به منظور کاهش این اثر، ابیراهی رنگی سیستم را با طراحی یک عدسی دوتایی بی‌رنگ حذف می‌کنیم. طراحی عدسی مناسب با استفاده از نرم‌افزار ZEMAX انجام شده است. شکل (۴) میزان جابه‌جایی کانون نسبت به طول‌موج مرکزی nm ۸۱۰ را برای تک‌عدسی و عدسی دوتایی طراحی شده نشان می‌دهد.



شکل(۴): جابجاییِ کانون طول موج‌های مختلف نسبت به طول موج مرکزی ۸۱۰nm برای تک عدسی و عدسی دوتایی بی‌رنگ.

همانطور که در شکل (۴) دیده می‌شود برای عدسی دوتاییِ بی‌رنگ، ابیراهی رنگی بسیار کمتر است، به این معنا که موقعیت کانون برای طول موج‌های مختلف تغییر کمتری را نشان می‌دهد. شکل (۵) لکه‌ی خروجی از سیستم ماتینز با عدسی دوتایی بی‌رنگ با مشخصات جدول ۱ شبیه‌سازی شده در فضای نرم‌افزار ZEMAX را نشان می‌دهد.



شکل(۵):شکل لکه‌ی خروجی از سیستم مارتینز با عدسیِ دوتاییِ بی‌رنگ

همانطور که شکل (۵) نشان می‌دهد، با جایگزینی تک‌عدسی با عدسی دوتایی مناسب و کاهش ابیراهی رنگی، چرپ‌شدگی فضایی تپ پهن‌شده‌ی خروجی از سیستم تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش و کیفیت تپ پهن‌شده افزایش چشم‌گیری خواهد یافت.

۳- نتیجه‌گیری

ابیراهی بالا در سیستم پهن‌کننده‌ی مارتینز شکستی باعث شده است که این چیدمان، علی‌رغم سادگی و قیمت مناسب، کم‌تر در سیستم‌های تقویت تپ چرپ‌شده مورد استفاده قرار گیرد. پهنای طیفیِ گسترده‌ی تپ‌های فوق کوتاه باعث می‌شود که ابیراهی رنگی به عنوان یک عامل موثر نقش مهمی در چرپ‌شدگی فضایی تپ خروجی از این سیستم‌ها داشته باشد. در این مقاله سعی شده است با استفاده از نرم‌افزار ZEMAX عدسی دوتایی مناسب برای یک پهن‌کننده‌ی مارتینز شکستیِ نوعی طراحی شده و اثر آن بر کیفیت تپ خروجی مورد مطالعه قرار گیرد. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی، بهبود قابل ملاحظه‌ی کیفیت تپ خروجی را با استفاده از عدسی دوتایی مناسب در سیستم نشان می‌دهد .

مراجع

[1] Strickland, D., Mourou, G., Compression of amplified chirped optical pulses, Opt. Commun.,Vol. 56, pp. 219-221, 1985.
[2] Yang, Q., Guo, A., Xie, X. “Stretcher Design for the SGII Petawatt Upgrade Laser Facility”, The Chinese Academy of Sciences, Shanghay, China, 2008.
[3] Varillas, R. "Role of wavefront aberrations of amplified femtosecond pulses in nonlinear optics” Salamanca, October 2012.
[4] Xie,N.,Huang,W.,Wang,X.,Sun,L.,Guo,Y.,“Demonstration of a double chirped-pulse-amplification front-end system to improve the temporal contrast at a sub-petawatt laser” Optical Engineering Volume 51, Issue 2,2015 .