بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

طراحی و شبیه سازی همگن ساز پرتو لیزر با کمترین وابستگی به بازه طول موجی و طول همدوسی پرتو ورودی

ابوالحسن مبشری و عرفان حیدری

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، شاهین شهر

چکیده - با استفاده از یک هدایتگر بازتابی پرتو با سطح مقطع مربعی و تعدادی عدسی، می‌توان یک پرتو لیزری (پالسی) که معمولاً دارای مقداری پهنای طیفی و نمایه گاوسی است را به یک پرتو نا همدوس با توزیع شدت بالا-تخت مربعی تبدیل کرد. در این مقاله سعی شده است طراحی سیستم همگن‌ساز به گونه‌ای باشد که کمترین وابستگی به پهنای طیفی و طول همدوسی پرتو ورودی را داشته باشد. همچنین تمام شبیه سازی ها در فضای نرم افزار اپتیکی ZEMAX انجام گرفته است.

کلید واژه- نمایه بالا-تخت مربعی، هدایتگر بازتابی پرتو، همگن‌ساز پرتو.

Design and Simulation of Laser Beam Homogenizer with Minimal Dependence on the Line-width and Coherence Length of the Input Beam

A. Mobasheri, E.Heydari

Malek-e-Ashtar University of Technology, Esfahan

Abstract- Using a Light-Tunnel with a square cross-section, and some lenses, the input (Pulsed) laser light with spectral width and Gaussian shaped profile, can be inverted to a non-coherent light with the square top-hat intensity distribution. In this paper, the mechanism is designed to minimize the dependence of the homogenizer on the spectral width and coherence length of the input beam. The whole simulation has been carried out in the ZEMAX optical software.

Keywords: Beam Homogenizer, Light-Tunnel, Square Top-Hat Profile.

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-26]

۱- مقدمه

در بعضی از کاربردهای لیزر تبدیل نمایه گاوسی پرتو ورودی به یک نمایه با توزیع شدت یکنواخت در مقطع عرضی پرتو، اهمیت پیدا می‌کند. تبدیل یک باریکه گاوسی به یک باریکه با نمایه بالا-تخت مربعی از روش‌های مختلفی مانند استفاده از آرایه‌های متشکل از ریزعدسی‌ها (روش چشم مگس)[۲] و کالیدوسکوپ[۱] امکان پذیر است، که در تمامی این روش‌ها خروجی از همگن‌ساز شدیداً به طول همدوسی پرتو ورودی و مشخصات آن وابسته است. فلذا سعی شده است طراحی همگن‌ساز مورد نظر به گونه‌ای باشد که کمترین وابستگی به طول همدوسی پرتو ورودی و پهنای طیفی آن را داشته باشد. با این خصوصیت، می‌توان در مواردی که همگن‌سازی توزیع شدت لیزرهای با پالس‌های فوق کوتاه که دارای پهنای طیفی هستند، مدنظر است، همگن‌سازی را به‌طور قابل قبولی انجام داد. برای این منظور از روش "تقسیم پرتو به چندین قسمت و روی هم انداختن آنها" (Multiple Beam Integration) استفاده شده است. در این سیستم از دو عدسی برای کانونی سازی و وارد کردن پرتو ورودی به داخل هدایتگر بازتابی پرتو و از دوعدسی دیگر برای کانونی سازی پرتو خروجی از هدایتگر بازتابی بر صفحه تصویر، استفاده شده است.

۲- طراحی اپتیکی شکل دهنده پرتو

در واقع یک هدایتگر بازتابی پرتو با دیواره‌های داخلی بازتابنده، پرتو ورودی را به آرایه مجازی از منابع نور تقسیم می‌کند. هندسه همگن‌ساز به گونه‌ای است که باعث می‌شود هر قسمت از پرتو در داخل هدایتگر بازتابی مسیرهای متفاوتی را طی کنند. در این صورت پرتوهای خروجی از همگن‌ساز دارای همدوسی کمتر و در نتیجه یکنواختی بیشتر در شدت هستند. برای رسیدن به درجه بالاتری از ناهمدوسی، بیشترین اختلاف طول مسیر، از نقاط منابع مختلف تا نقطه تصویر، باید حداقل به اندازه طول همدوسی پرتو ورودی باشد. برای این که این اتفاق بیافتد باید دو شرط زیر[۱و۳] ارضا شود:

$$W\min = \Delta C\left[R + (1+R)^2\right]^{1/2} \geq 2R\Delta C \qquad (۱)$$

$$R_{\min} \geq Cot(\theta) \qquad (۲)$$

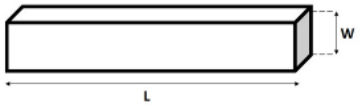
در اینجا $W\min$ حداقل پهنای مورد نیاز برای همگن‌ساز و $R = \frac{L}{W}$ مقدار نسبت ظاهری است و مقدار ΔC طول همدوسی پرتو ورودی است. مقدار زاویه θ برابر بیشترین زاویه پرتو ورودی نسبت به محور اپتیکی است که می‌تواند وارد هدایتگر بازتابی شود. به این منظور از یک هدایتگر بازتابی پرتو با سطح مقطع مربعی و سطوح داخلی بازتابنده و به صورت متقارن (سطوح مقابل هم، موازی یکدیگرند) استفاده شده است.

در شکل۱ نمای کلی یک هدایتگر بازتابی و دو کمیت اصلی آن که عبارتند از:

۱- طول تونل نوری L

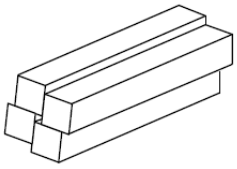
۲- ابعاد سطح مقطع داخلی تونل نوری W

نمایش داده شده است.



شکل ۱: شمای کلی یک هدایتگر بازتابی پرتو

جهت سهولت ساخت این نوع هدایتگر بازتابی می توان از چهار آینه متصل به یکدیگر(شکل۲) استفاده کرد، که فضای خالی بین این چهار آینه قابل تنظیم می‌باشد.[۳]

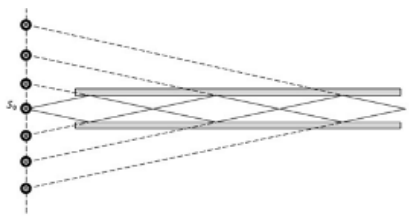


شکل ۲: نمای یک هدایتگر بازتابی متشکل از چهار آینه متصل به یکدیگر

هر چه طول L بیشتر باشد، تعداد بازتاب‌های پرتوهای حاشیه‌ای افزایش یافته و در نتیجه پرتو ورودی، به بخش‌های بیشتری تقسیم خواهد شد که تعداد آنها را می‌توان از رابطه (۳) بدست آورد.

$$(1+2N)^2 \qquad (۳)$$

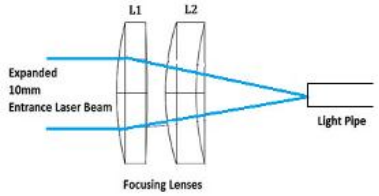
در رابطه (۳) مقدار N برابر کل بازتاب‌های پرتوهای حاشیه‌ای درون هدایتگر بازتابی است. با مقادیر انتخاب شده برای $L = 85mm$ ، $W = 2mm$ و $\theta = 5.71°$ هریک از پرتوهای حاشیه‌ای ۳ بار از سطوح داخلی هدایتگر بازتابی، بازتاب می‌شوند که با توجه به رابطه ۳ یک آرایه ۴۹ عضوی از منابع پرتو خواهیم داشت و در نتیجه پرتو نهایی حاصل برهم نهی ۴۹ پرتو متفاوت خواهد بود.



شکل ۳: نمای جانبی از هدایتگر بازتابی و چشمه های نوری مجازی ایجاد شده بر صفحهٔ کانونی قبل از آن

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-26]

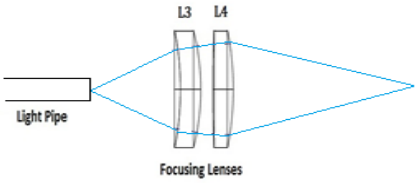
برای وارد نمودن تمام پرتو درون هدایتگر بازتابی، باید از یک عدسی همگرا استفاده کرد که در این طراحی برای افزایش کیفیت شکل دهنده پرتو و حذف ابیراهی‌های سیستم، همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌کنید، از دو عدسی برای این منظور استفاده شده است.[۶]



شکل ۴: استفاده از دو عدسی برای کانونی سازی و وارد کردن پرتو ورودی به داخل هدایتگر بازتابی

لازم به ذکر است که هر چه فاصله کانونی مجموع این عدسی‌ها کوچکتر باشد، زاویه واگرایی پرتو بعد از نقطه کانونی بزرگتر شده و متعاقباً باعث افزایش تعداد بازتاب‌ها درون هدایتگر بازتابی می‌شود. از طرفی هم باید توجه کرد چون از یک هدایتگر بازتابی با ساختار متقارن استفاده می‌کنیم زاویه واگرایی پرتو خروجی با زاویه واگرایی پرتو ورودی به تونل نوری برابر است. بنابراین هرچه واگرایی پرتوی ورودی بیشتر باشد، در همگرا نمودن و روی هم انداختن پرتو های خروجی با مشکل بیشتری روبرو می‌شویم. با در نظر گرفتن این مطلب در این طرح از دوعدسی همگرا استفاده شده است که پرتو ورودی را در فاصله $50mm+$ کانونی می سازد.

پس از خروج پرتوها از هدایتگر بازتابی این پرتوها بوسیله دو لنز کانونی‌ساز در صفحه تصویر کانونی می‌شوند (شکل۵)و یک توزیع شدت مربعی را تشکیل می‌دهند.[۶]



شکل ۵: استفاده از دو عدسی برای کانونی سازی پرتو خروجی از همگن‌ساز بر صفحه تصویر

لازم به ذکر است که تمامی شبیه سازی ها در محیط نرم افزار اپتیکی ZEMAX انجام گرفته است.

طول موج مرکزی تعریف شده برای نرم افزار، با توجه به کاربردهایی که برای این سیستم متصور شده است، طول موج در ناحیه طیفی ماورای بنفش و برابر $355nm$ است. همچنین توان پرتو ورودی برابر ۱ وات در نظر گرفته شده است.

۳- بررسی اثر طول همدوسی پرتو ورودی بر خروجی همگن‌ساز

در این قسمت اثرات طول همدوسی پرتو ورودی و میزان بازه طیفی بر خروجی همگن‌ساز طراحی شده در دو مرحله شامل موارد زیر پرداخته می‌شود:

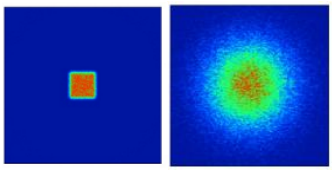
۱- تغییر طول همدوسی پرتو ورودی تک طول موج و بررسی خروجی همگن‌ساز

۲- تغییر طول همدوسی پرتو ورودی دارای پهنای طیفی ثابت و بررسی خروجی همگن‌ساز

۳-۱ تک طول موج $355nm$ و طول همدوسی $1000mm$

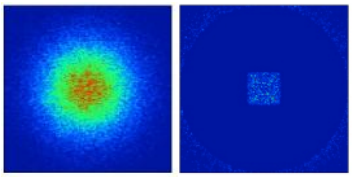
در این حالت پرتو ورودی به سیستم همدوس است ولی پس از خروج از سیستم همدوسی خود را از دست می‌دهد به صورتی که توان الگوی برتابندگی همدوس به ۰/۰۱۸ کاهش می یابد.

الف) برتابندگی ناهمدوس



شکل ۶: قبل از ورود به سیستم(چپ) و بعد از خروج از آن(راست)

ب) برتابندگی همدوس



شکل ۷: قبل از ورود به سیستم(چپ) و بعد از خروج از آن(راست)

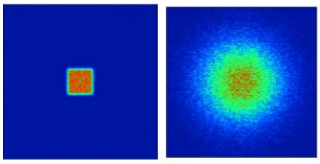
[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-26]

۳-۲ تک طول موج 355nm و طول همدوسی 0.01mm

در این حالت قله برتابندگی قبل از ورود به سیستم در حالت همدوس ۰/۰۵۲ و در حالت نا همدوس ۰/۹۹ است. پس از خروج از سیستم همدوسی کاهش می یابد.

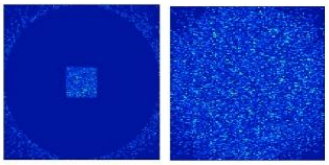
۳-۳ پهنای بینابی 20nm و طول همدوسی 1000mm

در این حالت طول موجهای 345nm و 355nm و 365nm برای ایجاد پهنای بینابی مورد نظر تعریف شده اند که مشاهده می‌شود در این حالت قله برتابندگی پرتو قبل از ورود به سیستم در حالت همدوس ۰/۱۶۶ وات و در حالت ناهمدوس ۰/۹۹ وات است. پس از خروج از سیستم همدوسی آن به شدت از بین می رود و بر تابندگی آن در حالت همدوس قابل صرف‌نظر است.



شکل ۸: قبل از ورود به سیستم(چپ) و بعد از خروج از آن(راست)

ب) برتابندگی همدوس

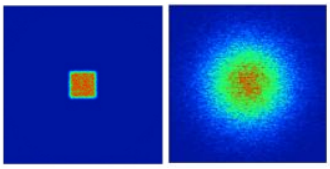


شکل ۹: قبل از ورود به سیستم(چپ) و بعد از خروج از آن(راست)

۳-۴ پهنای بینابی 20nm و طول همدوسی 0.01mm

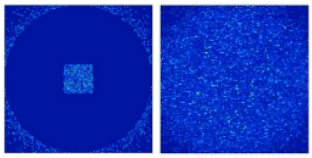
در این حالت نیز طول موجهای 345nm و 355nm و 365nm برای ایجاد پهنای بینابی مورد نظر تعریف شده اند. که مشاهده می‌شود در این حالت پرتو ورودی کاملاً ناهمدوس است به صورتی که قله توان آن در حالت همدوس ۰/۹۹ وات و در حالت همدوس ۰/۰۵۲ وات است. پرتو خروجی نیز کاملاً ناهمدوس خواهد بود.

الف) برتابندگی ناهمدوس



شکل۱۲: قبل از ورود به سیستم(چپ) و بعد از خروج از آن(راست)

ب) برتابندگی همدوس



شکل ۱۳: قبل از ورود به سیستم(چپ) و بعد از خروج از آن(راست)

نتیجه گیری

با استفاده از همگن‌ساز پرتو طراحی شده، می‌توان پرتو لیزر با پالس‌های فوق کوتاه، که دارای پهنای طیفی است را، از حالت توزیع شدت گاوسی به پالس ناهمدوس با توزیع شدت یکنواخت و نمایه بالا-تخت مربعی تبدیل کرد. که با توجه به بازدهی بسیار بالای این طراحی که برابر ۹۵/۸ درصد است،[۶] می‌توان کاربردهای بسیاری از جمله استفاده در سیستم لایه نشانی لیزری[۶] و سیستم های میکروماشینکاری[۵] را برای این همگن‌ساز متصور شد.

مراجع

[1] B. Fan, R. E. Tibbetts, J. S. Wilczynski and D. F. Witman, *Laser Beam Homogenizer*, US Patent-4744615, May 17, 1988.

[2] Fred M. Dicky and Scott C. Holswade, *Laser Beam Shaping Theory and Techniques*, Marcel Dekker Inc., 2000.

[3] P. Rasmussen, A. Bernhardt, *Coherence Delay Augmented Laser Beam Homogenizer*, US Patent-5224200, Jun 29, 1993

[4] ZEMAX, Optical design program manual

[5] H.Injeyan, G.D.Goodno, *High-Power Laser Handbook*, McGrawHill Inc , 2011

[۶] عرفان حیدری، ***طراحی و ایجاد سامانه زیرساخت چنبره PLD با قابلیت نگهدارنده شش هدفه و پرتو لیزر با نمایه بالا-تخت مربعی***، پایان نامه مقطع کارشناسی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، دانشکده فیزیک کاربردی، ۱۳۹۲.

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-26]