



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - 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، می توان 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 همگن ساز به گونه ای 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، همگن ساز 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.

۱- مقدمه

در بعضی از کاربردهای لیزر تبدیل نمایه گوسی پرتو ورودی به یک نمایه با توزیع شدت یکنواخت در مقطع عرضی پرتو، اهمیت پیدا می‌کند تبدیل یک باریکه گوسی به یک باریکه بالا-تخت مربعی از روش‌های مختلفی مانند استفاده از آرایه‌های متشکل از ریزعدسی‌ها (روش چشم مگس) [۲] و کالیروسکوپ [۱] امکان پذیر است که در تلمی 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 کلونی سازی و وارد کردن پرتو ورودی به داخل هدایتگر بازتابی پرتو و از دوعدسی دیگر برای کلونی 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 دیوارهای داخلی بازتابنده، پرتو ورودی را به آرایه مجازی از منبع 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 منبع مختلف تا نقطه تصویر، باید حداقل به اندازه طول همدوسی پرتو ورودی باشد. برای این که این اتفاق بیفتد باید دو شرط زیر [۳ و ۱] ارضا شود:

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

$$R_{\min} \geq \cot(\theta) \quad (2)$$

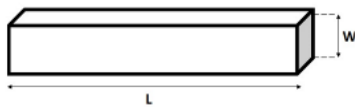
در اینجا $W_{\min}$ حداقل پهنای مورد نیاز برای همگن‌ساز و $R = \frac{L}{W}$ مقدار نسبت ظاهری است و مقدار ΔC طول همدوسی پرتو ورودی است. مقدار زاویه θ برابر بیشترین زاویه پرتو ورودی نسبت به محور اپتیکی است که می‌تواند وارد هدایتگر بازتابی شود. به این منظور از یک هدایتگر بازتابی پرتو با سطح مقطع مربعی و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

در شکل ۱ نمای کلی یک هدایتگر بازتابی و دو کمیت اصلی آن که عبارتند از:

۱- طول تونل نوری L

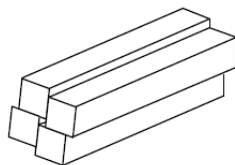
۲- ابعاد سطح مقطع داخلی تونل نوری W

نمایش داده شده است.



شکل ۱: شمای کلی یک هدایتگر بازتابی پرتو

جهت سهولت ساخت این نوع هدایتگر بازتابی می‌توان از چهار آینه متصل به یکدیگر (شکل ۲) استفاده کرد که فضای خالی بین این چهار آینه قابل تنظیم می‌باشد. [۳]

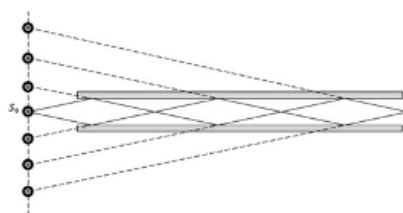


شکل ۲: نمای یک هدایتگر بازتابی متشکل از چهار آینه متصل به یکدیگر

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

$$(1 + 2N)^2 \quad (3)$$

در رابطه (۳) مقدار N برابر کل بازتاب‌های پرتوهای حشیه‌ای درون هدایتگر بازتابی است. با مقادیر انتخاب شده برای $W = 2\text{mm}$, $L = 85\text{mm}$ و $\theta = 5.71^\circ$ هر یک از پرتوهای حشیه‌ای ۳ بار از سطوح داخلی هدایتگر بازتابی، بازتاب می‌شوند که با توجه به رابطه ۳ یک آرایه ۴۹ عضوی از منبع 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 صفحه کانونی قبل از آن

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 همگن ساز

در این قسمت اثرات طول همدوسی پرتو ورودی و میزان بازه طیفی بر خروجی همگن ساز طراحی شده در دو مرحله شامل موارد زیر پرداخته می شود:

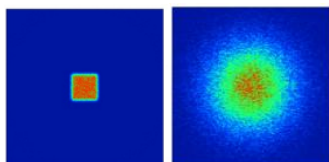
۱- تغییر طول همدوسی پرتو ورودی تک طول موج و بررسی خروجی همگن ساز

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

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

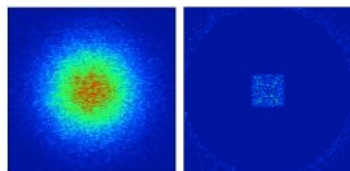
در این حالت پرتو ورودی به سیستم همدوس است ولی پس از خروج از سیستم همدوسی خود را از دست می دهد به صورتی که توان الگوی برتابندگی همدوس به 0.18% کاهش می یابد.

الف) برتابندگی ناهمدوس



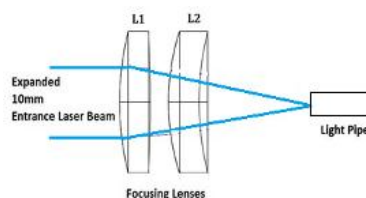
شکل ۶: قبل از ورود به سیستم (چپ) و بعد از خروج از آن (راست)

ب) برتابندگی همدوس



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

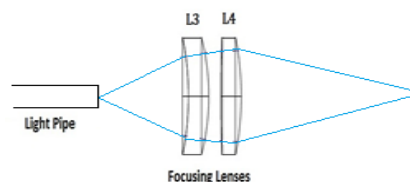
برای وارد نمودن تمام پرتو درون هدایتگر بازتابی، باید از یک عدسی همگرا استفاده کرد که در این طراحی برای افزایش کیفیت شکل دهنده پرتو و حذف ابیراهی های سیستم، همانطور که در شکل ۴ مشاهده می کنید، از دو عدسی برای این منظور استفاده شده است. [۶]



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 عدسی ها کوچکتر باشد، زاویه واگرایی پرتو بعد از نقطه کانونی بزرگتر شده و متعاقباً باعث افزایش تعداد بازتاب ها درون هدایتگر بازتابی می شود. از طرفی هم باید توجه کرد چون از یک هدایتگر بازتابی با ساختار متقارن استفاده می کنیم 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 می شویم. 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 کانونی ساز در صفحه تصویر کانونی می شوند (شکل ۵) و یک توزیع شدت مربعی را تشکیل می دهند. [۶]



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

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

۳-۲ تک طول موج 355nm و طول همدوسی

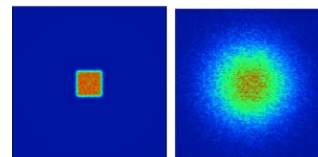
0.01mm

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 بینایی 20nm و طول همدوسی

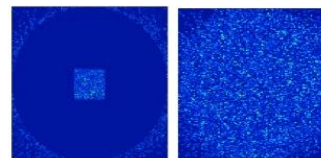
1000mm

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



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

(ب) برتابندگی همدوس



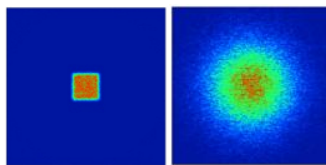
شکل ۹: قبل از ورود به سیستم (چپ) و بعد از خروج از آن (راست)

۳-۴ پهنای بینایی 20nm و طول همدوسی

0.01mm

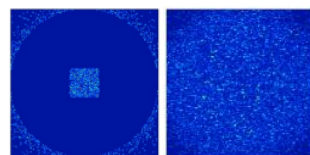
در این حالت نیز طول موجهای 345nm و 355nm و 365nm برای ایجاد پهنای بینایی مورد نظر تعریف شده اند. که مشاهده می شود در این حالت پرتو ورودی کاملاً نا همدوس است به صورتی که قله توان آن در حالت همدوس ۰/۹۹ وات و در حالت همدوس ۰/۰۵۲ وات است. پرتو خروجی نیز کاملاً نا همدوس خواهد بود.

الف) برتابندگی نا همدوس



شکل ۱۲: 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 همگن ساز پرتو طراحی شده، می توان پرتو لیزر با پالس های فوق کوتاه، که دارای پهنای طیفی است را، از حالت توزیع شدت گاوسی به پالس نا همدوس 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] می توان کاربردهای بسیاری از جمله استفاده در سیستم لایه نشانی لیزری [۶] و سیستم های میکروماشینکاری [۵] را برای این همگن ساز 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.