



طراحی تزویجگر فیبر نوری با درخشندگی زیاد به لیزر دیودی بار با توان بالا در جهت مکانیکی جوش

سید حامد قاسمی^۱، حسن قلمی باویل علیایی^۱

۱. گروه فیزیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده:

یکی از تکنیکهای موثر برای تزویج کردن خروجی لیزر دیودی بار به فیبر نوری، روش شکل دهی خروجی لیزر دیودی بار بر اساس آینه های راه راه است. تزویج با راندمان کلی ۸۸٪ به قطر هسته فیبر ۱۲۵ میکرومتر و گشودگی عددی ۰.۱۸ به دست می آید و درخشندگی آن تا ۴.۲۳ مگاوات بر سانتی متر مربع است.

مقدمه:

آرایه های لیزر دیودی (لیزر دایودی بار) از منابع نوری مهمی هستند، که طیف وسیعی از کاربردها از پزشکی گرفته تا پردازش مواد را در بر می گیرند. به دلیل پکیدگی، طول عمر طولانی و هزینه کم، آرایه های لیزر دیودی توجه روزافزونی را به خود جلب کرده اند. تک گسیلنده های دیودی برای ایجاد یک آرایه خطی به شکلی در کنار هم مرتب شده اند، که به آن لیزر دیودی باری گویند. به طور معمول، نور از سطحی با ابعاد $10 \text{ mm} \times 1 \text{ }\mu\text{m}$ ساطع می شود. بعد کوچکتر عمود بر اتصال p-n جهت گیری شده است. به دلیل اندازه بسیار کوچک در جهت اتصال p-n، پراشیدگی پرتو به شدت بر واگرایی نور خروجی تأثیر می گذارد. از این رو زاویه واگرایی در جهت کوچک بسیار زیاد است. این جهت "محور تند" نامیده می شود و واگرایی پرتو در نیم ماکزیمم پهنا (FWHM) حدود ۲۵-۴۰ درجه است. جهت دیگر اتصال p-n دایود دارای طول بسیار بزرگتری، است که طول آن تقریباً ۱۰۰ میکرومتر است، بنابراین نور خروجی در این جهت دارای پراشیدگی پرتوی ناچیزی است. این جهت "محور کند" نامیده می شود و واگرایی FWHM فقط

در حدود ۵-۱۲ درجه است [۱]. ضریب کیفیت پرتو M^2 تقریباً ۱ در جهت محور تند و $M^2 \approx 1700$ در محور کند است [۲].

تقریباً در تمام کاربردهای لیزر دایودی بار، پرتو خروجی متقارن مورد نیاز است. برای یک سیستم تزویج به فیبر، پرتو خروجی با NA (گشودگی عددی) کمتر از ۰.۲۲ و اندازه لکه پرتو کوچکتر از قطر هسته فیبر ضروری است.

چندین تکنیک برای یکسان سازی کیفیت پرتو و شکل خروجی لیزر دایودی بار وجود دارد [۲-۶]. با این حال، اکثر این رویکردها دارای معایبی مانند اندازه بزرگ، انعطاف پذیری کم، راندمان پایین و یا ساخت دشوار آنها است. در این مقاله، یک تکنیک ساده و موثر با استفاده از آینه های راه راه پیشنهاد شده است. اتصال به فیبر ۱۲۵ میکرومتر با راندمان ۸۸ درصد با این روش امکان پذیر است. درخشندگی ۴.۲۳ مگاوات بر سانتی متر مربع را می توان بدست آورد. تکنیک پیشنهادی توسط نرم افزار ZEMAX شبیه سازی شده است.

تغییر نمایه پرتو:

یک لیزر دیودی بار در طول موج خروجی ۹۷۶ نانومتر با توان پرتو ۸۰ وات، شبیه سازی شده است. آرایه لیزر دایودی بار از ۱۹ تک گسیلنده لیزر دیودی تشکیل شده است که هر یک دارای وجه تابشی 1×100 میکرومتر است. گام این پیکربندی $50.0 \mu\text{m}$ است که منجر به ضریب پرتو شدگی ۲۰٪ می شود. نوار لیزر دایود شبیه سازی شده توسط JENOPTIK Laser GmbH (JDL-BAB-20-19-976-TE-80-2.0) ساخته شده است. واگرایی پرتو خروجی در نیم ماکزیمم جهت محور تند و محور کند به ترتیب ۲۷ درجه و ۵ درجه است. واگرایی پرتو خروجی در محور تند، محور کند و پروفایل پرتو در شکل ۱ نشان داده شده است. از آنجایی که واگرایی پرتو در جهت محور تند بسیار زیاد است، برای ایجاد یک سیستم تزویج موثر، لازم است در مرحله اول واگرایی را کاهش دهیم. این کار با استفاده از یک میکرو لنز استوانه ای با $f=0.9$ میلی متر که پرتو خروجی را در محور تند موازی و واگرایی آن را کاهش می دهد، انجام می شود. لنز میکرو از INGENERIC GmbH (FAC-08-900) است. شکل ۲ واگرایی را درست بعد از میکرو لنز استوانه ای و همپنین نمایه خروجی پرتو بعد از موازی سازی در جهت محور تند را نشان می دهد. واگرایی باقی مانده کمتر از ۰.۵ درجه (8.7 mrad) است.

اگرچه واگرایی پرتو در جهت محور کند کم است، موازی سازی محور کند ما را قادر می سازد تا به اندازه لکه کوچکتری دست یابیم. از آنجایی که بیش از یک منبع نور در این راستا وجود دارد (آرایه ای از ۱۹ گسیلنده)، استفاده از آرایه ای از میکرو عدسی ها به جهت موازی سازی، موثرتر از استفاده از عدسیهای معمول است. از این رو، آرایه ای از ۱۹ لنز میکرو با $f=3.5$ میلی متر از INGENERIC GmbH

(SAC-035-500) استفاده می شود. واگرایی محور کند به کمتر از ۱۶ میلی رادیان کاهش می یابد. نتیجه موازی سازی محور کند در شکل ۳ نشان داده شده است.

در مرحله بعد، پرتو در جهت کند به سه قسمت تقسیم می شود. این کار با اعمال دو تیغه به ضخامت ۱۰ میلی متر ساخته شده از fused silica، که ۱۶.۵ درجه و ۱۶.۵- درجه حول محور کند جهت داده می شوند، انجام می شود. تیغه‌ها ۲/۳ کل پرتو را می پوشانند. شکل ۴ نمای جانبی تیغه‌ها و نمایه حاصل را نشان می دهد.

حال برای یکسان سازی ابعاد پرتو خروجی، سه پرتو حاصل دوباره چیده شده و در کنار هم قرار می گیرند. این امر با پیکربندی خاصی از آینه‌ها به نام آینه‌های راه راه انجام می شود.

آینه‌های راه راه که وظیفه اصلی را در سیستم شکل دهی پرتو انجام می دهند، از تیغه‌هایی از جنس fused silica ساخته شده اند. این تیغه‌ها ۴۵ درجه حول محور تند کج می شوند. دو نوار آینه‌ای با عرض ۰.۹ میلی متر بر روی سطوح خارجی تیغه اول وجود دارد.

(سطوح ۱ و ۲ در شکل ۵)، با فاصله ۰.۹ میلی متر از هم در جهت تند. آخرین سطح تیغه دوم (سطح ۴ در شکل ۵) با مواد بازتابی نیز پوشیده شده است. قسمت پایینی از سطح ۱ منعکس می شود، اما قسمت‌های میانی و بالایی پرتو شکسته شده و از تیغه اول عبور می کنند. در سطح ۲، پرتو میانی منعکس می شود، در حالی که درست بالای قسمت پایینی قرار دارد، تیغه اول را ترک می کند. با این حال، پرتو بالایی از اولین تیغه می گذرد و از سطح ۴ منعکس می شود. پرتو منعکس شده به سطح اول برمی گردد و از بالایی وسط آن خارج می شود.

اکنون سه پرتو حاصل به صورت عمودی روی هم چیده شده‌اند و کیفیت پرتو M2 در جهت محور کند کاهش یافته و در جهت محور تند افزایش می یابد. چیدمان آینه‌های راه راه و تأثیر آن بر پرتو در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین قسمت هایی از سطوح مذکور که با نوارهای انعکاسی پوشانده نشده اند با مواد ضد انعکاس پوشیده شده اند.

واضح است که کیفیت پرتو را می توان با تقسیم پرتو به باریکه‌های بیشتر بهبود بخشید. برای تهیه باریکه‌های بیشتر می توان از تیغه‌هایی با سطوح اضافی استفاده کرد و در نتیجه نوارهای بازتابی بیشتر می تواند تقارن پرتو را افزایش دهد. نوارهای بازتابی بسیار زیاد نیاز به سطوح بیشتری برای افزودن به سیستم دارند و این باعث افزایش پیچیدگی سیستم آینه‌های راه راه می شود. بنابراین، در جهت ساخت تزویجگر یک انتخاب مابین افزایش کیفیت پرتو و پیچیدگی‌های ساخت، لازم است.

پرتو خروجی بعد از آینه‌های راه راه از دو عدسی استوانه‌ای استاندارد عبور می کند. ابتدا در جهت تند عدسی با $f=10.2$ میلی متر از THORLABS (LJ4918) و سپس در محور کند، عدسی استوانه‌ای از

THORLABS (LJ1918L2) با $f=5.9$ میلی متر پرتو را کانونی می‌کند. سیستم تزویج، نمایه پرتو و موقعیت قرار گیری فیبر در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ابعاد لکه کانونی شده 10.5×60 میکرومتر و $NA=0.18$ است، از این رو می‌توان پرتو را به طور موثر به یک فیبر استاندارد ۱۲۵ میکرومتر و $NA=0.22$ تزویج کرد. درخشندگی را می‌توان به صورت رابطه [۱] تعریف کرد.

$$B = \frac{P}{4\pi^2 (d/2)^2 \sin^2[(\arcsin NA)/2]} \quad (1)$$

که در آن، P ، d و NA به ترتیب توان خروجی از فیبر، قطر فیبر و دیافراگم عددی فیبر هستند. یک محاسبه ساده نشان می‌دهد که درخشندگی به دست آمده ۴.۲۳ مگاوات بر سانتی متر مربع است.

خلاصه و نتیجه

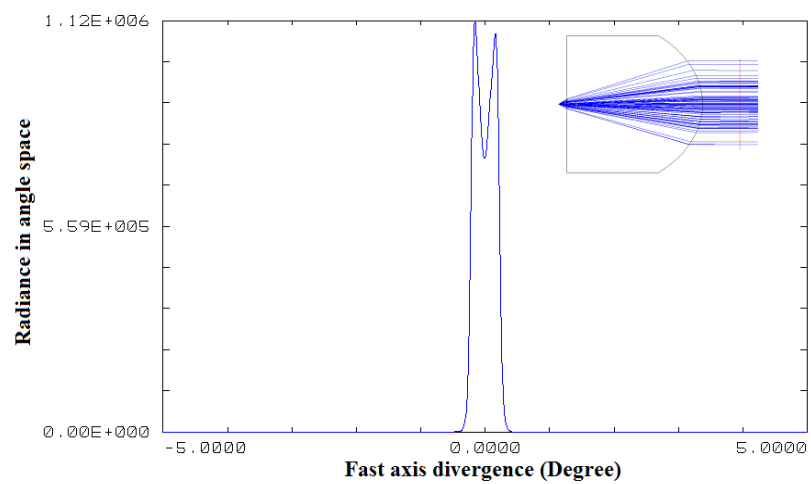
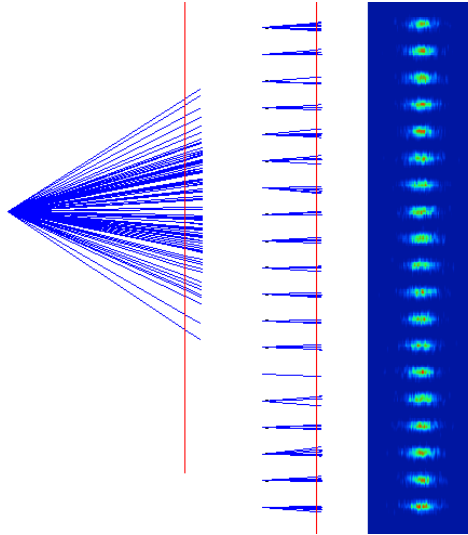
سیستم تزویجگر پیشنهادی برای تزویج کردن باریک‌های لیزر دیودی به فیبر بسیار مؤثر است. راندمان تزویجگر بیش از ۸۰٪ است. راندمان را می‌توان با استفاده از پوشش ضد انعکاس در انتهای فیبر تا ۸۸ درصد افزایش داد.

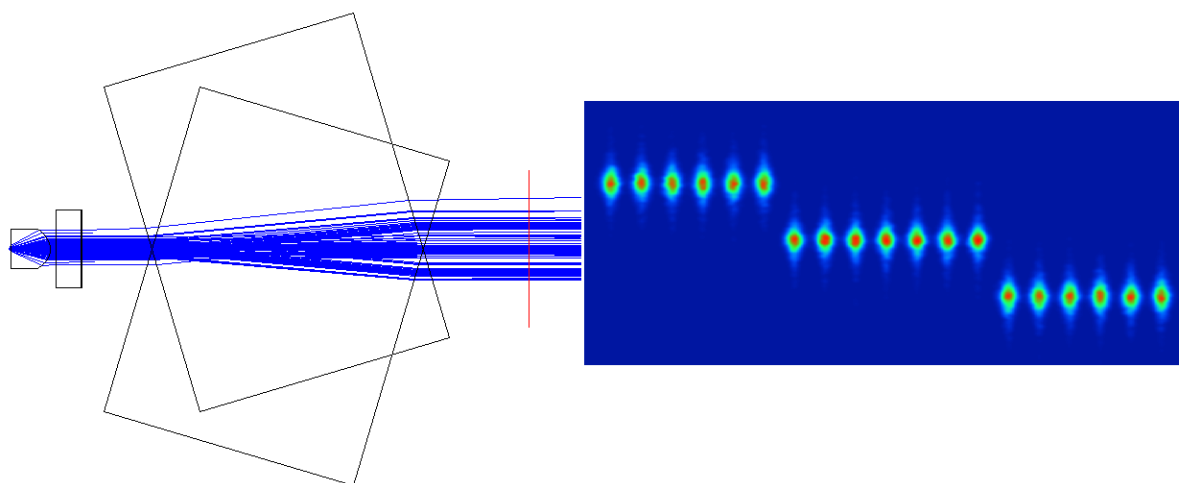
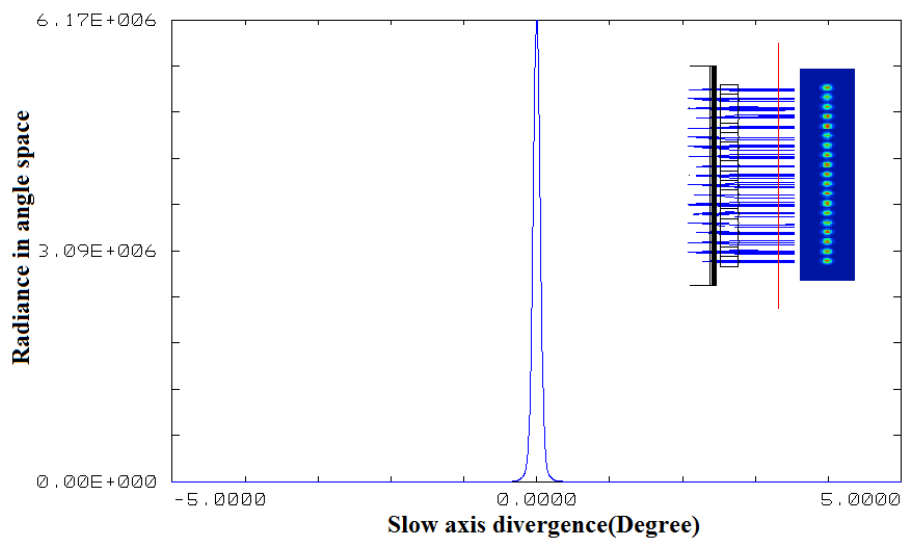
در کاربردهایی از لیزرهای فیبری با توان پمپاژ بالا، گسیلنده‌ها در معرض آسیب‌های ناشی از پرتو برگشت در طول موج‌های متفاوت تولیدی از لیزر فیبری قرار می‌گیرند. در سیستم پیشنهادی، تیغه‌ای از آینه‌ی راه راه به جهت بازتاب و منحرف کردن پرتوهای تولیدی توسط لیزر فیبری قرار داده شده است، که احتمال آسیب به گسیلنده‌های دیودی را به شدت کاهش می‌دهد.

منابع

- [1] P. Wang, Z. Fan, G. Niu, Z. Shi, J. Cui, J. Zhang, Y. Zhang, B. Pei, P. Wang, "High brightness laser output with single-fiber-coupled laser diode array", Chinese Optics Letters, vol. 5, pp. 53-55, 2007.
- [2] H. Treusch, K. Du, M. Baumann, V. Sturm, B. Ehlers, p. Loosen, "Fiber-coupling technique for high-power diode laser arrays", in Proc. Of SPIE, vol. 3267.
- [3] W. A. Clarkson, "Two-mirror beam shaping technique for high-power diode bars", Optics letters, vol. 21 No. 6, 1996.
- [4] P. Schreiber, B Hoefler, P Dannberg, U D Zeitner, "High brightness fiber-coupling schemes for diode laser bars", in Proc. of SPIE, vol. 5876, 2005.
- [5] R. Göring, P Schreiber, T Poßner, "Microoptical beam transformation system for high-power laser diode bars with efficient brightness conversion", in Proc. of SPIE , vol. 3008,1997.

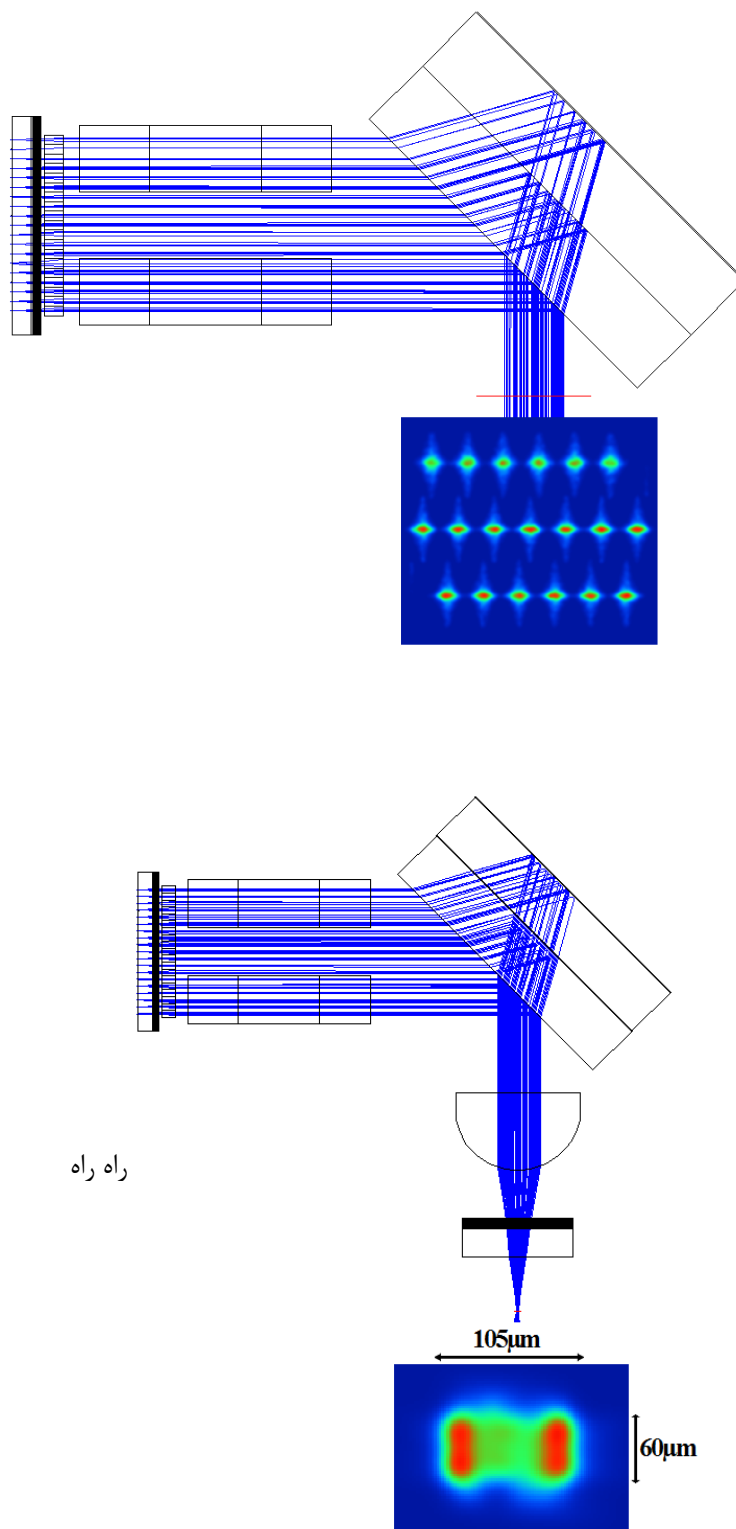
- [6] G. Zheng, C Du, C Zhou, C Zheng, "Micrograting-array beam-shaping technique for asymmetrical laser beams", APPLIED OPTICS, vol. 44 No.17, 2005.





شکل ۳- واگرایی خروجی پرتو بعد از موازی سازی محور کند

شکل ۴- نمایه خروجی پرتو لیزر دیودی بعد از قرار گیری دو تیغه



شکل ۶- سیستم تزویجگر و نمایه و اندازه لکه ورودی به فیبر