مجله پژوهش و کاربرد در مکانیک دوره ۱۴ شماره ۲ سال ۱۴۰۳ (۲۰۲۴) ۶-۱

شبیه سازی تزویج لیزر دیودی آرایه ای توان بالا به فیبر نوری μm 400 به جهت پردازش مواد

سید حامد قاسمی*[۱]، حسن قلمی باویل علیایی[۱]
[۱]دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، گروه فیزیک, ایران

چکیده

در این مقاله، یک سیستم اپتیکی برای تزویج لیزرهای دیودی توان بالا به درون فیبر نوری طراحی و شبیه‌سازی شده است. این سیستم با هدف بهبود کیفیت پرتو طراحی شده و شامل چندین مرحله مهم است. ابتدا، با استفاده از یک المان چرخاننده، پرتو خروجی از هر گسیلنده چرخانده می‌شود تا توزیع بهتری از نور حاصل شود. سپس، با استفاده از چندین عدسی مناسب، پرتوها به دقت به فیبر نوری تزویج می‌شوند. این فرآیند به گونه‌ای طراحی شده که پرتوهای لیزر با حداقل اتلاف انرژی به فیبر نوری منتقل شوند. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که نور حاصل از یک لیزر دیودی با تعداد ۱۹ گسیلنده را می‌توان با استفاده از این روش به یک فیبر نوری با قطر ۴۰۰ میکرومتر و گشودگی عددی ۰.۲۲ تزویج کرد. بازده تزویج در این سیستم بسیار قابل توجه و در حدود ۹۳ درصد محاسبه شده است، که نشان‌دهنده کارایی بالای سیستم در انتقال نور است. این طراحی کاربردهای گسترده‌ای در سیستم‌های مخابراتی و اپتیکی دارد.

مقدمه

لیزرهای دیودی آرایه‌ای از منابع مهم نوری بشمار می آیند به دلیل حجم کم، طول عمر زیاد و قیمت پایین، این لیزرها،توجه بسیار زیادی را به خود جلب نموده‌اند. در لیزرهای دیودی آرایه‌ای، گسیلنده‌هارا می‌توان با آرایش‌های مختلف در کنار هم قرار داد. یکی از مرسومترین آرایشها، آرایش خطی از ۱۹-۵۰ تک گسیلنده بوده که در امتداد هم قرار گرفته و یک نوار از گسیلنده‌های لیزری تحت عنوان بار را تشکیل می‌دهند. در پیکربندی بار، عموماً نور از یک نوار با ابعاد 1µm×100mm منتشر می‌شود. بعد کوچکتر که در راستای عمود بر پیوند p-n قرار گرفته است، تحت تاثیر پراش نور به دلیل ابعاد کوچک، دارای واگرایی بسیار زیادی است. در این جهت که عموماً جهت تند نامیده می‌شود، واگرایی پرتو از مرتبه ° ۴۰- ° ۲۵می‌باشد. در جهت موازی با پیوند ، p-n ناحیه گسیلنده نور طول بیشتری دارد. این طول از مرتبه 100µmمی باشد، بنابراین واگرایی در این جهت بسیار کمتر است. این جهت، جهت کند نامیده میشود و واگرایی لیزر گسیل شده در این راستا در محدوده° ۵- °۱۲ می باشد [۱]. فاکتور کیفیت پرتو، M2 ، در

جهت محور تند حدود ۱و در جهت کنـــد حدود ۱۷۰۰ می‌باشد[۲].

شکل نامتقارن و کیفیت متفاوت پرتو در دو راستا، سبب می‌شود تا در تمامی کاربردهای لیزرهای دیودی آرایه‌ای، نظیر پمپاژ لیزرهای فیبری پرتوان، پزشکی و پردازش مواد، استفاده از سیستمهای شکل دهی پرتو لیزر الزامی باشد. وظیفه سیستم شکل دهی پرتو، متقارن کردن پرتو لیزر دیودی ، برابر کردن کیفیت پرتو در دو راستا، افزایش درخشندگی و کوچک کردن لکه لیزر می‌باشد. سیستمهای مختلفی برای شکل دهی پرتوی خروجی ازدیودهای بار پیشنهاد شده است[۲-۴]. پیچیدگی برخی از این سیستمها زیاد و ساخت برخی از المانهای میکرو استفاده شده در آن بسیار پیچده و پرهزینه می‌باشد. برخی سیستمهای شکل‌دهی پیشنهاد شده [۳] که از ساختار سادهتری برخوردارند، نیاز به همخط سازی وتنظیم بسیار دقیق دارند. در این مقاله یک سیستم ساده با کارآیی بسیار بالا جهت شکل دهی و تزویج نور لیزر دیودی آرایه‌ای به فیبر نوری پیشنهاد شده است. المان بکار گرفته شده در این سیستم به راحتی قابل تهیه است و سیستم طراحی شده علیرغم طول تزویج کم، کارآیی بسیار زیادی دارد.

اصول عملکرد

لیزر دیودی مورد استفاده، شامل یک دیود ،بار متشکل از ۱۹تک گسیلنده خطی است. در گام اول پرتو در راستای محور تند بوسیله یک میکرو لنز استوانه ای موازی می شود با این عمل، واگرایی پرتوی خروجی از این لنز به کمتر از ۸/۵ mrad کاهش می یابد. همچنین می توان با استفاده از یک میکرو لنز غیراستوانه ،ای واگرایی خروجی در این راستا را به کمتر از ۲mrad رساند. در گام بعد پرتو در راستای محور کند موازی می شود. این موازی سازی را میتوان به دو روش انجام .داد روش اول، استفاده از تعداد ۱۹میکرولنز استوانهای است. در این حالت فاکتورکیفیت پرتوی خروجی در راستای محور کند در حدود ۱۷۰۰، باقی خواهد ماند. روش دوم، استفاده از المانهای چرخاننده پرتو است. در این روش هرکدام از گسیلنده‌های دیودی، با کمک المانهای چرخاننده، به اندازه ۹۰درجه میچرخند. این عمل سبب تغییر کیفیت پرتو در راستای محور کند و تند می شود. بنابراین واگرایی پرتو در راستای دو محور جابجا شده این امر سبب می شود تا فاکتور کیفیت پرتو، M^2 در جهت محور تند،افزایش و در جهت محور کند،کاهش یابد. بنابراین کیفیت پرتو خروجی از دیود در دو راستا، تقریبا به یک مرتبه میرسد. درگام سوم برای اینکه بتوان پرتو حاصله را به فیبر نوری با مغزی کوچکتر از ۶۰۰μm تزویج نمود، به جهت کانونی کردن پرتو بر روی نوک فیبر لازم است تا از تعدادی عدسی غیر استوانه‌ای استفاده شود.

شبیه سازی سیستم

یک لیزر دایودی 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 دایودی تشکیل شده است که هر یک دارای وجه تابشی ۱×۱۰۰ میکرومتر است. گام این پیکربندی ۵۰۰µm~ است که منجر به ضریب پر شدگی ۲۰٪ می‌شود. لیزر دایود بار شبیه سازی شده توسط(JDL-BAB-20-19-976-TE-80-2.0) JENOPTIK Laser GmbH ساخته شده است. واگرایی پرتو خروجی در نیم ماکزیمم جهت محور تند و محور کند به ترتیب ۲۷ درجه و ۶ درجه است. واگرایی پرتو خروجی در محور تند، محور کند و پروفایل پرتو در شکل ۱ نشان داده شده است. در شکل ۱ پرتوهای خروجی از لیزر در دو جهت کندو تند و همچنین نمایه پرتو نمایش داده شده است.

به جهت تغییر شکل دادن پرتو و انجام تزویج نور لیزر لازم است ابتدا واگرایی بسیار زیاد نور در جهت محور تند کاهش یابد[۴]. بنابراین، به منظور موازی سازی پرتوها، ابتدا از یک میکرولنز غیر استوانه ای با فاصله کانونی ۰/4mm ساخت شرکت Focuslight استفاده می‌کنیم. واگرایی در راستای محور تند و پروفایل لیزر بعد از عبور از میکرولنز در شکل۲ نمایش داده شده است. همانطور که در نمودار دیده میشود، واگرایی در راستای محور تند پس از موازی سازی به کمتر از ۰/۲درجه می‌رسد. بعد از کاهش واگرایی در راستای محور تند، از یک المان چرخاننده پرتو جهت چرخاندن هریک از تک گسیلنده‌های دیودی بار به اندازه ۹۰ درجه استفاده می‌کنیم. این عمل سبب افزایش کیفیت پرتو در راستای محور کند میشود. ساختار المان چرخاننده، شامل زوج لنزهای استوانه ای است که تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به پرتو هر گسیلنده قرار میگیرد. درشکل ۳ نمایی از المان چرخاننده به همراه اثرآن بر روی نمایه شدت پرتو لیزر،نشان داده شده است.

لنز غیر استوانه‌ای موازی کننده محور تند و المان چرخاننده پرتو به صورت یک تک قطعه ترکیبی ساخت شرکت Focuslight ، در این شبیه سازی با مشخصه BTS(FAC365)-p0.5، مورد استفاده واقع شده است.

با توجه به جابجا شدن محورهای تند و کند، اکنون می توان با یک تک لنز استوانهای محور کند را موازی نمود. بدین منظور، از یک لنز استوانه‌ای با فاصله کانونی ، ۲۰.۶ mm ساخت شـرکت Thorlabs با مشـــخصه LJ1960L1 استفاده می‌کنیم. واگرایی پرتو بعد از فرآیند موازی سازی در راستای محور کند، در شکل ۴ نمایش داده شده است. همانـــطور که مشـاهده می ،شود واگرایی در راستای محور کند کمتر از ۰/۳ درجه است. پس از چرخاندن پرتو و برابر کردن واگرایی پرتو به حد مناسب در دو

راستا، به جهت تزویج به فیبر نوری با مغزی ۴۰۰µm از دو عدسی استوانه‌ای استفاده می‌کنیم. ابتدا از یک عدسی استوانه‌ای با فاصله کانونی ، ۲۰.۶ mm ساخت شـرکت Thorlabs با مشـــخصه LJ1960L1 در جهت تند و یک عدسی استوانه‌ای دیگر با فاصله کانونی ، ۱۳.۲ mm ساخت شـرکت Torlabs با مشـــخصه LJ1942L1 در جهت کند استفاده می‌کنیم. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که اندازه لکه در کانون لنز در حدود ۷۰µm×۳۶۰µm است. لازم به ذکر است که زاویه ورودی پرتو به فیبر نوری ۰/۲ به دست میآید که این مقدار کمتر از گشودگی عددی فیبرهای معمول ۰/۲۲می‌باشد. شکل ۵ چیدمان نهایی و نمایه شدت پرتو در ورود به مقطع فیبر را نشان می‌دهد.

بحث ونتیجه گیری

در بسیاری از کاربردهای لیزرهای دیودی آرایه‌ای، نظیر تزویج لیزر دیودی به فیبر جهت پمپاژ لیزر فیبری، امکان برگشت پرتو لیزری از سر فیبر به ناحیه گسیلنده‌های دیودی وجود دارد. این امر سبب از بین رفتن گسیلنده‌ها و آسیب دیدن لیزر می‌شود. به جهت جلوگیری از وارد شدن پرتو لیزر فیبری به داخل دیود لیزرها، می‌توان از یک تیغه ضد بازتاب در طول موج لیزر فیبری استفاده کرد.

در این روش، بازده تزویج پرتو لیزر به فیبر بیشتر از ٪۸۵ است که این بازده با لایه نشانی بر سر فیبر تا ٪۹۳ قابل افزایش است. طول چیدمان تزویج نیز در این روش کمتر از ۵۰.۴ mm است که در این نوع چیدمان فضای تزویج به حداقل مقدار ممکن کاهش یافته است.

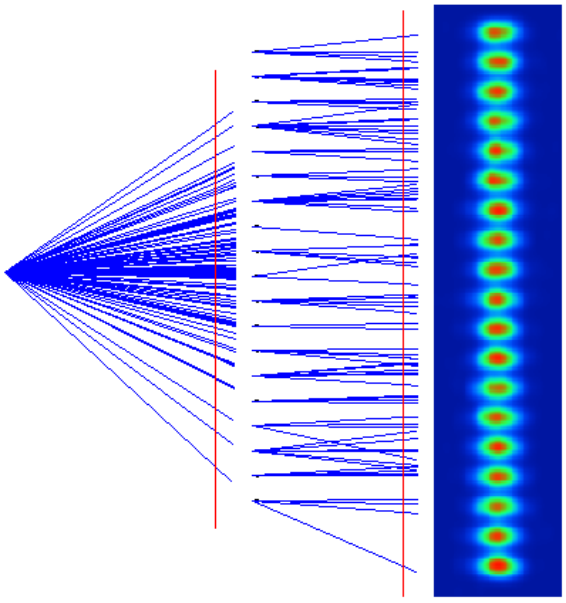
مراجع

[1] Wang P, Fan Z, Niu G, Shi Z, Cui J, Zhang J, Zhang Y, Pei B, P. Wang, "*High brightness laser output with single-fibercoupled laser diode array"*, **Chinese optics letters**, Vol. 5 (2007).

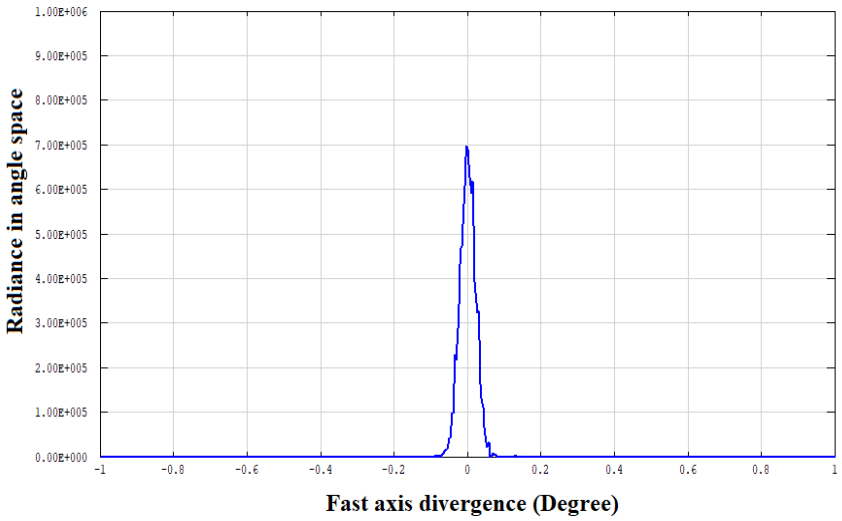
[2] Göring R, Schreiber P, Poßner T, "*Microoptical beam transformation system for high power laser diode bars with efficient brightness conversion*", **SPIE**, Vol. 3008 (1997).

[3] Clarkson W. A, Hanna D. C, "*Two-mirror beam-shaping technique for high-power diode bars"*, **Optics letters**, Vol. 21 No.6, (1996).

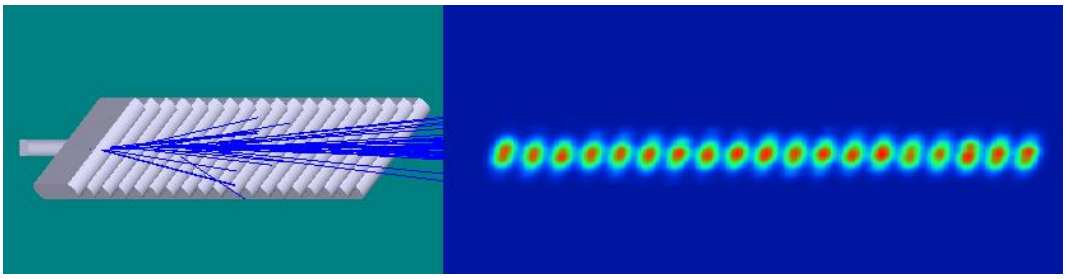
[4] Treusch H. G, Du K, Baumann M, Sturm V, Ehlers B, Loosen P, "*Fiber-coupling technique for high-power diode laser arrays"*, **SPIE**, Vol. 3267 (1998).



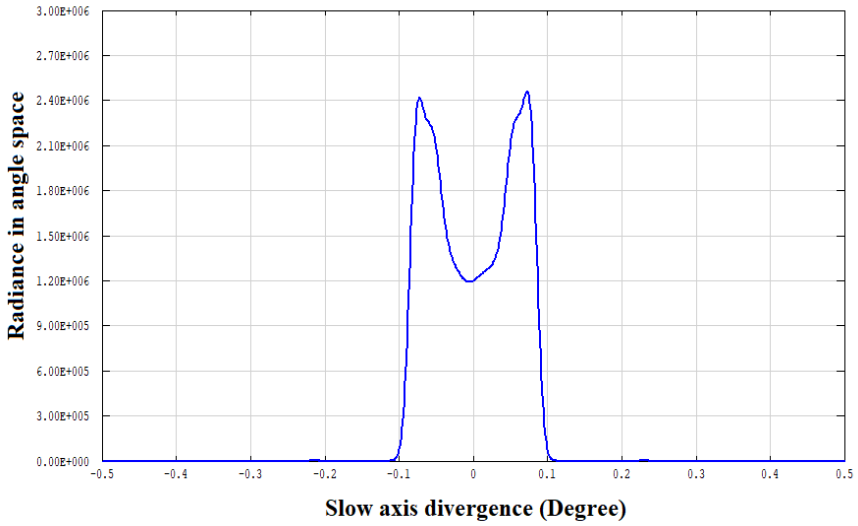
شکل ۱- پرتوخروجی از لیزر دایودی بار. به ترتیب از چپ به راست، پرتو خروجی در راستای تند، پرتو خروجی در راستای کن و در آخر نمایه خروجی لیزر دایودی بار



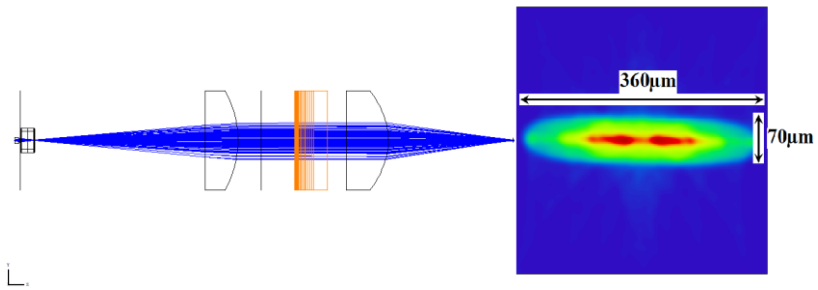
شکل ۲- واگرایی خروجی پرتو بعد از عدسی تند



شکل ۳- نمایی از المان چرخاننده پرتو و نمایه شدت خروجی از آن



شکل ۴- واگرایی پرتو بعد از عدسی موازی ساز محور تند



شکل ۵- نمایی از چیدمان شبیه سازی شده و نمایه شدت پرتو در مقطع فیبر