بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۳۸-۱۰-۱۰-A

سنجش کیفیت باریکه لیزر نیمه‌هادی ۸۰۸ نانومتر InAlGaAs/AlGaAs

سید پیمان عباسی، هومن گیوکی، فاطمه رازقی

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، خیابان ابطحی، کارگر شمالی، تهران

pabbasi2001@gmail.com, hoomy111@gmail.com, nrazeghi65@gmail.com

چکیده –واگرایی بزرگ، عدم تقارن پروفایل میدان دور و نزدیک و آستیگمات بودن باریکه به کارگیری آن را نسبت به باریکه لیزرهای دیگر دشوار می‌سازد. لذا به‌کارگیری باریکه لیزر نیمه هادی در کاربردهای مختلف مستلزم شکل‌دهی باریکه و یا تزویج باریکه به فیبر نوری است. در این تحقیق با بکارگیری ساختار نامتقارن و افزایش ضخامت لایه موجبر با کنترل مدهای عرضی بدون کاهش کیفیت باریکه، واگرایی کاهش پیدا کرده است. همچنین در این نوشتار چیدمانی برای اندازه‌گیری کیفیت باریکه معرفی شده است که با تقریب بسیار مناسبی قابلیت به کارگیری را داراست.

کلید واژه- لیزر نیمه‌هادی ، ساختار نامتقارن ، کیفیت باریکه ، واگرایی محور تند

Measurement of 808nm InAlGaAs/AlGaAs Diode Lasers Beam Quality

SeyedPeymanAbbasi, HoomanGivkey, FatemehRazeghi

Iranian National Center for Laser Science and Technology, Tehran

pabbasi2001@gmail.com, hoomy111@gmail.com, nrazeghi65@gmail.com

Abstract- Large divergence, asymmetry of the near and far field profiles, and astigmatism of the laser diode beam are reason of make it more difficult to apply than other beam lasers. The use of semiconductor laser beams in various applications requires the beam shaping and fiber coupling of beam.In this research, divergence was reduced by using asymmetric structure and increasing the thickness of the waveguide layer by controlling the transverse modes without reducing the beam quality. Also in this paper, an arrangement for measuring the beam quality is introduced, which can be used with a very suitable approximation.

Keywords: Semiconductor Laser, Asymmetric structure, Beam quality, Fast axis divergence.

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

مقدمه

باریکه لیزرهای نیمه‌هادی ۸۰۸ نانومتر علاوه بر دمش لیزرهای حالت جامد، بصورت گسترده‌ی دارای کاربردهای مستقیم است. با افزایش کیفیت باریکه و افزایش توان و بازده تزویج به فیبر نوری این کاربردها در حال گسترش روزافزون در حوزه های مختلف پزشکی، صنعتی، نظامی و تحقیقاتی هستند. هستند که از مهم‌ترین کاربردهای صنعتی می‌توان به حوزه فرآوری مواد اشاره نمود[۱].

امروزه در اکثر موارد افزایش کیفیت باریکه همراه با توان بالا مورد نیاز است و به تبع آن پارامتر درخشایی (درخشندگی) مورد سنجش قرار می‌گیرد[۲]. از طرفی کاهش واگرایی لیزرهای نیمه هادی مورد نیاز است تا ازنظر عملی تزویج باریکه به فیبر نوری قابل انجام باشد. این کاهش واگرایی در اکثر موراد باعث کاهش کیفیت باریکه می‌شود. در لیزرهای نیمه هادی پنج لایه اصلی شامل ناحیه فعال که توسط دو لایه موجبر احاطه شده و خود موجبر نیز توسط دو لایه غلاف محاط شده است مورد بررسی قرار می‌گیرد. اختلاف ضریب شکست میان موجبر و غلاف تضمین کننده محصور شدن باریکه در موجبر و نشت ناچیز میدان اپتیکی به داخل غلاف است. در بیشتر موارد ضریب شکست غلاف در بخش nو p با هم برابر و دو بخش موجبر که در دو طرف چاه کوانتمی قرار دارند با هم برابر هستند که به ساختار متقارن موسوم هستند. در این مقاله با به‌کارگیری ساختار نامتقارن ضخامت موجبر به هدف کاهش واگرایی، افزایش داده می‌شود. قابل ذکر است محدودیت افزایش ضخامت لایه موجبر توسط محدود کردن تعداد مدهای منتشر شده در موجبر تعیین می‌شود تا از کاهش کیفیت باریکه اجتناب شود[۱]. البته این افزایش در سمت n موجبر برای کاهش اتلاف داخلی بیشتر از بخش p خواهد بود.

فیزیک

پارامترهای عمومی تحلیل مود در موجبر لیزر نیمه هادی با توجه به ضریب شکست لایه‌های غلاف n وp و موجبر بصورت پارامتر ناتقارنی و پارامتر عدد V به صورت زیر تعریف می‌شود[۳]:

$$a = \frac{n_{ncladd}^2 - n_{pcladd}^2}{n_{WG}^2 - n_{ncladd}^2} \quad (۱)$$

$$V = k d_{WG} \sqrt{n_{WG}^2 - n_{ncladd}^2} \quad (۲)$$

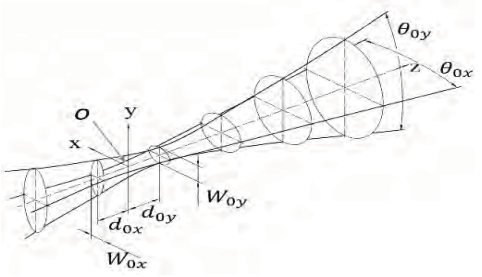
تعداد مودهای انتشاری را می‌توان از روابط بالا بدست آورد. تعداد m مد منتشر خواهد شد هنگامی که عدد V بین دو مقدار $m\pi + tan^{-1}\sqrt{a}$ و $(m+1)\pi +$ $tan^{-1}\sqrt{a}$ قرار گیرد. افزایش تعداد مودها باعث کاهش کیفیت باریکه لیزر دیود خواهد شد. پارامتر درخشایی لیزر به‌صورت زیر تعریف می‌شود[۲]:

$$B = \frac{P}{\lambda_0^2 M_L^2 M_T^2} \quad (۳)$$

که پارامترهای ${M_L}^2$ و ${M_T}^2$ بعنوان شاخص کیفیت باریکه به ترتیب در راستاهای جانبی و عرضی و λ_0 طول موج باریکه هستند. کیفیت باریکه به صورت زیر تعریف می‌شود[۲].

$$M^2 = \frac{\pi w_0 \theta_0}{\lambda_0} \quad (۴)$$

که w_0 و θ_0 مطابق شکل ۱ به ترتیب شعاع باریکه و واگرایی میدان دور است که اندیس x و y به ترتیب نشان‌دهنده محور کند و تند است.



شکل ۱: پروفایل باریکه لیزر نیمه هادی و پارامترهای مربوطه[۴].

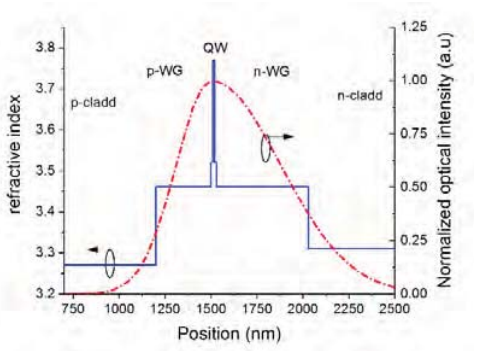
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

ساختار لیزر

با توجه به رابطه ۲ برای به کارگیری موجبرهای با ضخامت بالاتر و کنترل مقدار پارامتر V باید از اختلاف کمتر در ضریب شکست موجبر و غلاف بهره برد. برای کاهش واگرایی میدان دور تا مقدار ۳۰ درجه حداقل ضخامت موجبر در حدود ۸۰۰ نانومتر است. این افزایش ضخامت به گونه ای اعمال می‌شود که مانع افزایش اتلاف داخلی و افزایش چشمگیر جریان آستانه شود. به همین دلیل برای کاهش اتلاف داخلی ضخامت بخش n موجبر بیشتر از بخش p افزایش داده شده و مولار آلومینیوم در لایه‌های موجبر و غلاف بخش n به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۵۳ انتخاب شدند تا شرط تک مود عرضی را ارضا نماید. لایه‌های رشد داده شده در جدول ۱ و پروفایل ضریب شکست لیزر و پروفایل عرضی میدان اپتیکی در شکل ۲ نشان داده شده است. با به‌کارگیری ساختار نامتقارن مقدار اتلاف حامل آزاد از ۲/۲ cm^{-1} به ۱/۶ cm^{-1} کاهش یافت. شبیه سازی لیزر با نرم افزار PICS3D انجام می‌شود.

جدول ۱: لایه‌های لیزر نیمه‌هادی در ساختار متقارن

Layers	Material	Thickness (nm)
P- cladding	$Al_{0.55}Ga_{0.45}As$	1000
P- waveguide	$Al_{0.35}Ga_{0.65}As$	300
Active	InAlGaAs	10
N- waveguide	$Al_{0.35}Ga_{0.65}As$	500
N- cladding	$Al_{0.53}Ga_{0.47}As$	1000

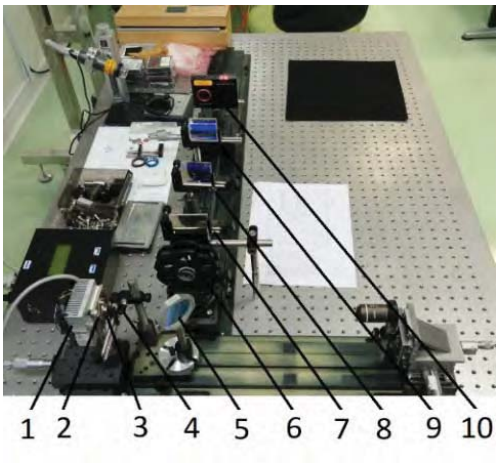


شکل ۲: پروفایل عرضی ضریب شکست و میدان اپتیکی

سامانه اندازه گیری M^2

سامانه اندازه گیری M^2 و واگرایی در شکل ۳ نشان داده شده است. این سامانه شامل میکرولنز ، لنزهای شکل‌دهی باریکه، کاهش‌دهنده‌ها و ادوات اپتیکی لازم است که براساس استاندارد ISO11146 چیدمان شده است.

جهت اجتناب از خطاهای رایج در اندازه‌گیری نکات کلیدی زیر با دقت فراوان رعایت شده است. برای اندازه‌گیری شعاع باریکه از روش ممنتوم دوم و از CCD استفاده می‌شود که برای اندازه فوکوس حدود ۱۰۰ میکرونی مناسب است. در انتخاب نقاط اندازه‌گیری فاصله ۸ الی ۱۲ سانتیمتری انتخاب شده که شرط دو برابر طول رایلی را به‌راحتی ارضا می‌کند. استفاده از لنزهای با ابیراهی بسیار کم و موازی سازی اولیه دارای اهمیت عملیاتی زیادی در دقت سنجش است. اندازه گیری قطر باریکه در مکانهای مختلف حول نقطه کانونی شده به تعداد حداقل ۱۰ نقطه در این سنجش الزمی است.



شکل ۳: سامانه سنجش پارامتر M2. ۱- سامانه کنترل دما و خنک کاری ۲- لیزر دیود ۳- لنز محورتند ۴-فیلتر ۵- آینه ۶- کاهش دهنده شدت ۷- لنز استوانه‌ای ۸- لنز استوانه‌ای-تخت ۹-لنز ورودی باریکه به آشکارساز ۱۰-آشکارساز متصل به کامپیوتر

پروفایل باریکه بر اساس برنامه کامپیوتری نشان داده شده و تحلیل‌ها بر اساس دیتاهای ذخیره شده توسط برنامه‌ای

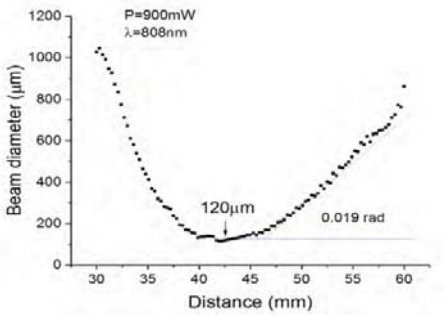
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

که به همین منظور تهیه شده است انجام می‌شود. در تمامی بخشهای این تحقیق برای سنجش واگرایی و پارامتر M^2 از مقیاس FWHM استفاده می‌شود. جهت کالیبراسیون از سنجش کیفیت در کمر باریکه استفاده می‌شود که شکل باریکه در شکل ۴ نشان داده شده است. با محاسبه فاکتور M^2 در این حالت عدد ۱/۰۱۱ حاصل می‌شود که خطایی کمی بیش از ۱٪ را نشان می‌دهد. تصویر باریکه در کمر باریکه در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۴: تصویر کمر باریکه در توان ۴۰۰ وات

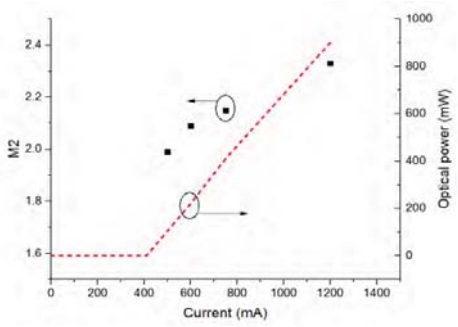
نتایج سنجش

لیزر ساخته شده بر اساس موجبر نامتقارن که بر روی پایه خنک کننده و کنترل دما جهت پایداری عملکرد قرار گرفته و در جریان تزریقی ۱۲۰۰ میلی آمپر (برابر با توان اپتیکی ۹۰۰ میلی‌وات) مورد سنجش قرار می‌گیرد. شکل ۵ قطر باریکه بر اساس فاصله را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل پیداست، قطر کمره باریکه ۱۲۰میکرومتر و واگرایی محور تند ۰/۰۱۹ رادیان است. لذا مقدار پارامتر M^2 لیزر دیود در این توان برابر با ۲/۳۳ است.



شکل ۵: قطر باریکه حول کمر باریکه لیزر دیود در توان ۹۰۰ میلی وات.

جهت بررسی مقدار تغییرات پارامتر M^2 در توان‌های مختلف این سنجش در توان‌های مختلف تکرار شده است که نتایج در شکل ۶نشان داده شده‌است. همانگونه که از شکل نیز پیداست با افزایش توان از ۱۰۰ میلی وات به ۹۰۰ میلی وات مقدار پارامتر M^2 از ۱/۹۹ به ۲/۳۳ افزایش یافته است که تغییر قابل قبولی در به کارگیری لیزر است.



شکل ۶: مقادیر M2 در توان‌های مختلف

نتیجه‌گیری

در این مقاله ساختار لیزر دیود با موجبر نامتقارن برای کاهش واگرایی بدون افزایش مد و افت کیفیت باریکه معرفی شده است. اندازه‌گیری کیفیت باریکه در راستای محور تند نتایج مطلوبی را برای این ساختار نشان می‌دهد. نهایتاً لیزر در توان ۹۰۰ میلی‌وات، دارای واگرایی و پارامتر M^2 در راستای محور تند به ترتیب ۳۰ درجه و ۲/۳۳ مورد سنجش قرار گرفت.

مرجع‌ها:

[1] A.Malag, E. Dabrowska, "Asymmetric heterostructurewith reduced distance from active region to heatsink for 810-nm range high-power Laser Diodes", IEEE Journal Of Quantum Electronics, Vol. 48, No. 4, pp. 465-471, 2012

[2] R.Deihl, *High Power Diode Lasers*, p.178 Springer 2001

[3] Chin-Lin Chen, *Foundations for guided-wave optics*, p.25, John Wiley & Sons, 2007

[4] ISO 11146, Lasers and laser-related equipment test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios, part I, International standard, 2005.

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