اثر طول RW و زاویه قسمت مخروطی بر کیفیت پرتو و چگالی جریان آستانه در لیزر دیودهای مخروطی شکل پر توان

آرش هدائی[۱و۲]، وحید احمدی[۱] و غلامرضا عباییانی[۳]

[۱]دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۲]مرکز علوم و فنون لیزر ایران، تهران
[۳]پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم وفنون هسته‌ای، انتهای خیابان کارگر شمالی، تهران

چکیده – اثر طول *RW* و زاویه‌های کاواک مخروطی بر کیفیت پرتو و جریان آستانه در لیزر دیود مخروطی شکل تک چاه کوانتومی $Al_{0.07}Ga_{0.93}As$ در طول موج ۸۰۸ نانومتر شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در توان نوری ۱ وات نشان می‌دهد فاکتور *M2* در زاویه °۳ تقریبا برابر ۳ و با افزایش زاویه مخروطی، با شیب ۰٫۲۱، ۰٫۱۸ و ۰٫۰۸ به ترتیب برای لیزرهای با طول *RW* برابر ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ میکرومتر افزایش می‌یابد. همچنین چگالی جریان آستانه با افزایش زاویه مخروطی در لیزرهای با طول *RW* برابر ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ میکرومتر به ترتیب از ۸۵۰ به ۶۳۰(A/cm^2) ، از ۷۳۰ به ۵۷۰(A/cm^2) و از ۵۲۰ به ۳۳۰(A/cm^2) تقریبا به‌صورت خطی و با شیب یکسان کاهش یافته است.

کلید واژه- چگالی جریان آستانه ، کیفیت پرتو، لیزر دیودهای پر توان مخروطی شکل

Effect of RW length and taper angle on beam quality and threshold current density in high power tapered diode lasers

Arash Hodaei[1], Vahid Ahmadi[2], and Gholamreza Abaeiani[3]
[1]Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2]Iranian National Center for Laser Science and Technology, Tehran
[3]Photonics and Quantum Technologies School, Nuclear Science and Technology Research Institute, North Kargar, Tehran

Abstract- The effect of RW length and taper angle on the beam quality and threshold current density of a SQW $Al_{0.07}Ga_{0.93}As$ 808 nm high power tapered laser diode is investigated by simulation. Results in an output optical power of 1 W shows that in taper angle of 3°, M2 factor is about 3 and in wider angles (4,5,6) ,in RW lengths of 500, 750 and 1000 µm, is increased with the slope of 0.21, 0.18 and 0.08 respectively. Threshold current density is linearly decreased in wider taper angles from 850 to 630 (A/cm^2), from 730 to 570 (A/cm^2) and from 520 to 330 (A/cm^2) in laser diodes with RW lengths of 500, 750 and 1000 µm respectively.

Keywords: Beam quality, Threshold current density, High power tapered laser diode

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-05-31]

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

۱- مقدمه

لیزر دیودهای پر توان به دلیل بازده تبدیل الکترو- اپتیکی بالا ، اندازه کوچک و هزینه‌های کم به‌صورت مستقیم، تزویج به فیبر نوری و غیره در صنایع مختلف از جمله مخابرات، پزشکی، خودروسازی و ... به‌کار می‌روند[۱، ۲].

کیفیت پرتو لیزرهای دیودی نواری[1] متداول در راستای جانبی[2] جهت تزویج به فیبر نوری مناسب نیست. جهت سنجش کیفیت پرتو از فاکتور M2[3] استفاده می‌شود که هر چه این فاکتور به یک نزدیک‌تر باشد پرتو گاوسی‌تر است[۳]. یکی از راه‌های افزایش کیفیت پرتو استفاده از ساختار مخروطی شکل است [۳، ۴،۵].

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای مبتنی بر اثر پارامترهای مختلف (طول و عرض کاواک و زاویه کاواک مخروطی و ...) بر کیفیت پرتو خروجی لیزر دیودهای کاواک مخروطی شکل با ساختارهای رونشستی متفاوت صورت گرفته است [۳، ۴،۶].

در این تحقیق علاوه بر اثر طول RW[4] و زاویه قسمت مخروطی شکل(θ) کیفیت پرتو در راستای محور کند، تاثیر پارامترهای مذکور بر جریان آستانه نیز شبیه‌سازی و بررسی شده است. نتایج حاصله می تواند برای ساخت لیزر دیود مخروطی شکل، برای اولین بار در داخل کشور، به کار گرفته شود.

۲- ساختار و روش شبیه‌سازی

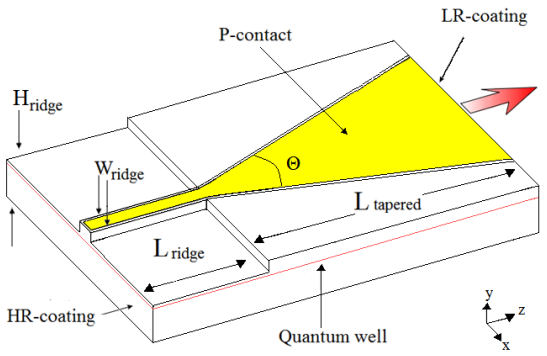
ساختار مخروطی شکل از دو قسمت تشکیل شده است. قسمت RW با عرض ۲-۵ میکرومتر به‌عنوان فیلتر مدهای جانبی مرتبه بالاتر از ۱ و قسمت مخروطی شکل به‌عنوان تقویت کننده توان عمل می‌کند [۳، ۴، ۵].

شبیه سازی لیزر دیودی مخروطی شکل با استفاده از نرم افزار آرسافت (نسخه ۲۰۱۳) انجام شد. توزیع میدان دور و فاکتور M2 با استفاده از استاندارد ISO 11146 با کدنویسی در نرم‌افزار متلب (نسخه ۲۰۱۵) محاسبه شد.

پارامترهای شبیه سازی لیزر دیودهای مخروطی سری نوع A، B و C با توجه به شکل ۱، در جدول ۱ ذکر شده است. طول موج خروجی در هر دو ساختار ۸۰۸ نانومتر است.

جدول ۱: پارامترهای شبیه سازی لیزر دیودی مخروطی

Type	A	B	C
W_{ridge} [μm]	3	3	3
H_{ridge} [μm]	2.2	2.2	2.2
L_{ridge} [μm]	500	750	1000
L_{taper} [μm]	1000	1000	1000
Θ [degree]	3, 4, 5, 6	3, 4, 5, 6	3, 4, 5, 6
R_b	0.95	0.95	0.95
R_f	0.05	0.05	0.05



شکل ۱: نمایی از لیزر دیودی مخروطی شکل شبیه‌سازی شده

جدول ۲: ساختار رونشستی کاواک لیزر

لایه	آلایش [cm^{-3}]	ضخامت [μm]	ماده
اتصال فلزی p			
لایه تماسی P^+	۲×۱۰^۱۹	۰,۲	GaAs
غلاف p	۲×۱۰^۱۸	۱	$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$
موجبر p		۰,۵	$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$
چاه کوانتومی		۰,۰۱	$Al_{0.07}Ga_{0.93}As$
موجبر n		۰,۵	$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$
غلاف n	۲×۱۰^۱۸	۱	$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$
زیرلایه n	۸×۱۰^۱۸	۱۰۰	GaAs
اتصال فلزی n			

مش‌بندی الکتریکی در راستای x و y به‌صورت غیر یکنواخت به ترتیب ۱-۰,۲ و ۰,۴-۰,۰۰۱ میکرمتر و در راستای z به صورت یکنواخت ۰,۱ میکرومتر در نظر گرفته شده است. مواد، ضخامت و مقدار آلایش ساختار رونشستی در شبیه سازی لیزر دیود در جدول ۲ آورده شده است.

۳- نتایج و بحث

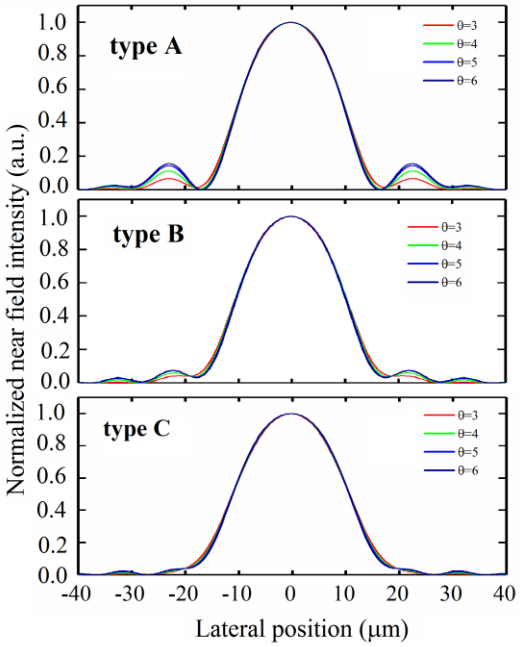
میدان نزدیک و دور سه نوع لیزر A، B و C با عرض

[1] Stripe
[2] Lateral
[3] M2 factor
[4] Ridge waveguide

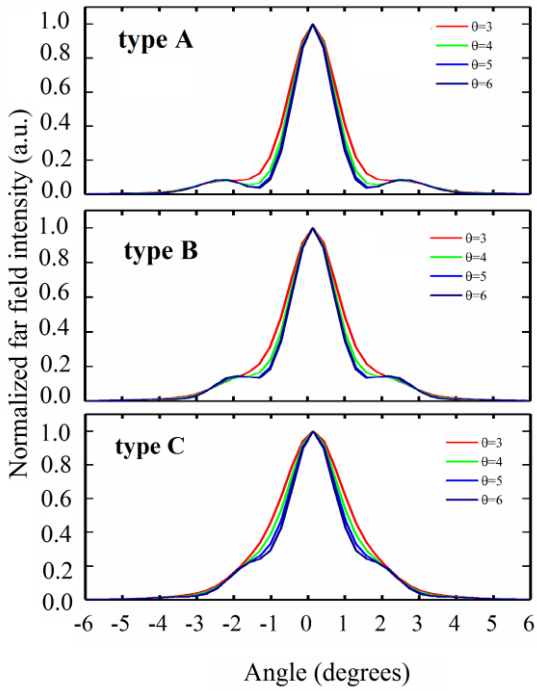
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-05-31]

W_{ridge}=۳μm و R_f=۰٫۰۵ در توان اپتیکی ۱ وات به ترتیب در شکل ۲ و شکل ۳ نشان داده شده‌اند.



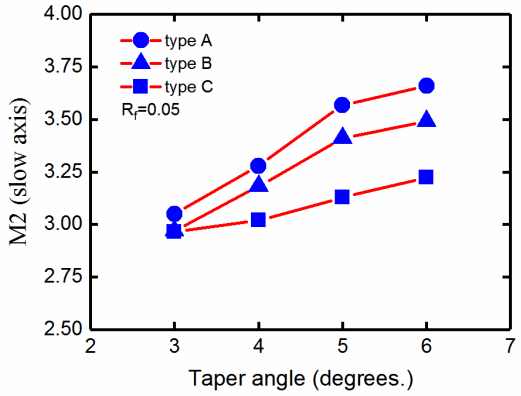
شکل ۲: شدت میدان نزدیک بر حسب مکان در جهت جانبی در لیزر دیودهای مخروطی نوع A (دایره)، نوع B (وسط) و نوع C (پایین) با W_{ridge}= ۳ μm، R_f=۰٫۰۵ و توان خروجی ۱ وات



شکل ۳: شدت میدان دور بر حسب زاویه قسمت مخروطی در لیزر دیودهای مخروطی نوع A (دایره)، نوع B (وسط) و نوع C (پایین) با W_{ridge}= ۳μm، R_f=۰٫۰۵ و توان خروجی ۱ وات

لوب‌های جانبی در میدان نزدیک در هر دو نوع لیزر مشاهده می‌شود ولی شدت آنها با افزایش طول RW کم می‌شود. همچنین با افزایش زاویه قسمت مخروطی شدت لوب‌ها افزایش می‌یابد. هرچه شدت لوب‌های جانبی در میدان نزدیک کمتر باشد توزیع شدت میدان دور گاوسی‌تر می‌شود.

افزایش شدت لوب‌های جانبی در لیزر نوع A و B می‌تواند به این دلیل باشد که با توجه به کوتاه بودن طول کاواک لیزر نوع A نسبت به نوع B، مدهای مرتبه بالاتر که در قسمت مخروطی ظاهر می‌شوند، هنگام انتشار رو به عقب، کاملاً میرا نمی‌شوند و می‌توانند در فست عقبی بازتاب شوند [۶]. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، این امر منجر به افزایش فاکتور M2 می‌شود و کیفیت پرتو در لیزر نوع A و B کاهش می‌یابد. شیب افزایش فاکتور M2 با افزایش زاویه قسمت مخروطی، در لیزرهای نوع A، B و C به ترتیب برابر با ۰٫۲۱، ۰٫۱۸ و ۰٫۰۸ و تقریبا خطی است. افزایش فاکتور M2 در لیزر نوع C، از ۲٫۹۶ در زاویه ۳° به ۳٫۲۲ در زاویه ۶° می رسد که حاکی از کاهش ۸٫۷٪ کیفیت پرتو این زاویه نسبت به زاویه ۳° است.

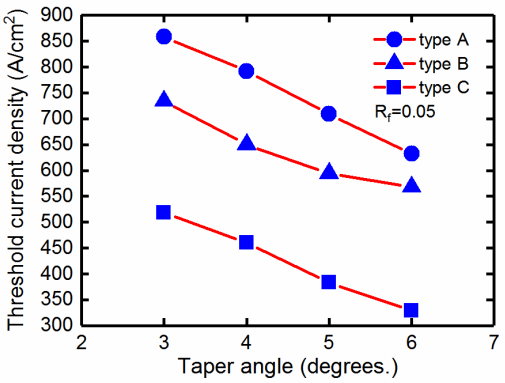


شکل ۴: فاکتور M2 بر حسب زاویه قسمت مخروطی در لیزر دیودهای مخروطی نوع A (دایره)، نوع B (مثلث) و نوع C (مربع) با W_{ridge}= ۳μm، R_f=۰٫۰۵ و توان خروجی ۱ وات

شکل ۵ چگالی جریان آستانه (J_{th}) نسبت به افزایش زاویه قسمت مخروطی را نشان می‌دهد که از ۸۵۰ به ۶۳۰ (A/cm^2) در لیزر نوع A ، از ۷۳۰ به ۵۷۰ (A/cm^2) در لیزر نوع B و از ۵۲۰ به ۳۳۰ (A/cm^2) در لیزر نوع C تقریبا به‌صورت خطی کاهش یافته است و در مجموع J_{th} در لیزر نوع C کمتر از نوع A و B است که به دلیل رابطه معکوس تلفات آینه با طول کاواک است. جریان آستانه زاویه ۶° در لیزر نوع C نسبت به زاویه ۳°، ۴۲٪ کاهش یافته است.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-05-31]



شکل ۵: چگالی جریان آستانه بر حسب زاویه قسمت مخروطی در لیزر دیودهای مخروطی نوع A (دایره)، نوع B (مثلث) و نوع C (مربع) با W_{ridge}=۳μm، Rf=۰,۰۵

۴- نتیجه‌گیری

مقایسه سه نوع لیزر مذکور نشان می‌دهد که طول کاواک در لیزر دیود مخروطی بر کیفیت پرتو خروجی و چگالی جریان آستانه اثر می‌گذارد. افزایش فاکتور M2 نسبت به افزایش زاویه قسمت مخروطی نسبتا خطی است ولی شیب آن در لیزر نوع C برابر با ۰,۰۸ است. کیفیت پرتو در لیزر نوع C در زاویه °۶، بهتر از نوع A و B و جریان آستانه در آن نسبت به زاویه °۳، ٪۴۲ کاهش یافته است. نهایتا با توجه کاهش جریان آستانه در زاویه °۶ نسبت به زوایای دیگر و بهبود کیفیت در لیزرهای با طول RW برابر با μm ۱۰۰۰، لیزر دیود مخروطی نوع C با زاویه مخروطی ۶ درجه جهت ساخت مناسب به‌نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

در انتها از کارشناسان مرکز ملی علوم و فنون ایران که در طی مراحل این پژوهش ما را یاری کردند قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] J. J. Lim, T. M. Benson, and E. C. Larkins, “Design of Wide-Emitter Single-Mode Laser Diodes” IEEE J. OF QUANT. ELECTRON., VOL. 41, NO. 4, APRIL 2005.

[2] A. Seyedfaraji, V. Ahmadi, M. Noshiravani, " Stable high optical power in quantum well lasers with profiled reflection and tapered structures", Opt Quant Electron, 45:401–410, 2013.

[3] B. Sumpf, K.-H. Hasler, P. Adamiec, F. Bugge, F. Dittmar, J. Fricke, H. Wenzel,M. Zorn, G. Erbert, and G. Trankle, "High-Brightness Quantum Well Tapered Lasers” IEEE J. SEL. TOPICS IN QUANTUM ELECTRON., VOL. 15, NO. 3, 2009.

[4] K. nyrenda, S. Bull, J. J. Lim, K. Hasler, J. Fricke, E. Larkins, "Factors influencing brightness and beam quality of conventional and distributed Bragg reflector tapered laser diodes in absence of self-heating" IET Optoelectron., Vol. 8, Iss. 2, pp. 99-107, 2014.

[5] A. Muller, J. Fricke, F. Bugge, O. Brox, G. Erbert, “DBR tapered diode laser with 12.7 W output power and nearly diffraction-limited, narrowband emission at 1030 nm” Appl. Phys. B, 122:87, 2016

[6] H. Wenzel, B. Sumpf, G. Erbert, “ High brightness diode lasers” C. R. Physique 4, pp. 694-661, 2003.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-05-31]