



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 : ۳۸-۲-۱۰-۱۰-A

تولید پالس کوتاه در لیزر دیودهای لبه گسیل ۹۸۰ نانومتر به روش سویچ بهره

سید پیمان عباسی، آرش هدایی

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

Pabbasi2001@gmail.com, ahodaei@gmail.com,

چکیده -مدولاسیون لیزر نیمه هادی توان بالا دارای اهمیت کاربردی گسترده است. تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تولید پالس‌های کوتاه با انرژی بالا در حال انجام است. در این مقاله با به‌کارگیری ساختار نامتقارن، میدان اپتیکی به سمت بخش n جابجا شده و اتلاف داخلی لیزر کاهش یافته است. این کاهش اتلاف همراه با به‌کارگیری لایه‌های با ضریب شکست بالا در موجبر بخش n و افزایش طول عمر فوتون، امکان استفاده از روش سویچ بهره برای تولید پالس‌های با پهنای چند صد پیکوثانیه در لیزرهای دیودی لبه گسیل را فراهم می‌آورد. در این مقاله با بررسی تابع پالس مناسب، محدودیت اعمال جریان بیشینه مورد تحقیق قرار گرفته و نهایتاً پالس کوتاه ۸۰ پیکوثانیه (FWHM) و توان ۳/۲ وات فراهم شده است.

کلید واژه- مدولاسیون، لیزر دیود لبه گسیل، پالس کوتاه، موجبر نامتقارن

Short Pulse Generations in 980nm Edge Emitting Diode Laser with Gain Switching Method

SeyedPeymanAbbasi, ArashHodaei

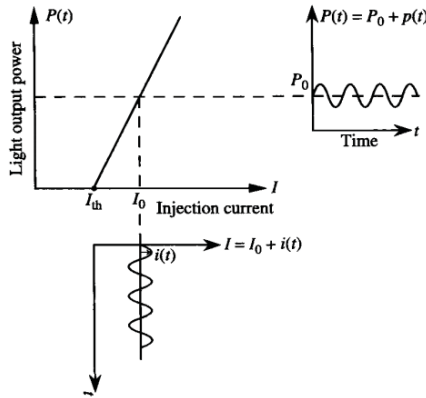
Iranian National Center for Laser Science and Technology, Tehran

Pabbasi2001@gmail.com, ahodaei@gmail.com,

Abstract- High power semiconductor laser modulation is of great practical importance. Extensive research has been done to produce high energy short pulses. In this study by using an asymmetric structure, the optical field is shifted to n-section and the internal loss of the laser is reduced. This reduction in loss, and also applying high refractive index layers in n-section and increasing photon lifetime, makes it possible to use the gain switching method to generate several picoseconds optical pulses in edge emitting lasers. In this study, by investigating the appropriate pulse function, the maximum current limit is investigated and finally a short pulse of 80 ps (FWHM) and optical power of 3.2 W is created.

Keywords: Modulation, Edge emitting lasers, Short pulses, Asymmetric waveguide.

مربوطه روابط مربوط به حل جریان مستقیم و جریان متناوب را جهت مشخصه‌یابی دینامیکی لیزر انجام داده‌اند [۲ و ۳ و ۴].



شکل ۱: ساختار ضریب شکست در لایه‌های لیزر نیمه هادی

در این جا دو فرض مدولاسیون سرعت بالا و در نظر گرفتن اشباع غیر خطی بهره مدنظر قرار گرفته است بصورتی که در محاسبات مدل غیر خطی بهره به صورت تشریح شده در مرجع [۱] به کار گرفته شده است. طول عمر فوتون به مشخصات کاواک و مقدار اتلاف داخلی مرتبط است که با رابطه (۲) محاسبه می‌شود [۲].

$$\frac{1}{\tau_p} = v_g (\alpha_i + \alpha_m) = v_g \left(\alpha_i + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R_B R_F} \right) \quad (2)$$

جدول ۱: پارامترهای به کار برده شده در محاسبات

پارامتر	نشان	واحد	مقدار
ثابت پلانک	h	$\text{Kgm}^2\text{s}^{-1}$	6.62×10^{-34}
جریان آستانه	I_{th}	mA	۲۸۰
بازده داخلی	η_i		۰/۹۲
طول موج خلا	λ	nm	۹۷۶
بار الکترون	q	C	1.6×10^{-19}
طول کاواک	L	mm	۱
سرعت گروه	v_g	m/s	1.4×10^7
اتلاف داخلی	α_i	m-1	۱۵۱
بازتاب آینه جلو	R_F		۰/۰۵
بازتاب آینه عقب	R_B		۰/۹۵

مقدمه

توسعه لیزرهای نیمه‌هادی و فیبرهای اپتیکی به واسطه ایجاد ارتباطات نوری سریع، مطمئن و ظرفیت بالا، تغییرات بزرگی در جهان ایجاد کرده است که بخشی از آن با سرعت مدولاسیون لیزر نیمه‌هادی مرتبط است. با استفاده از چاه‌های کوانتومی در ناحیه فعال لیزرها و همچنین به کارگیری لیزر دیودهای کاواک عمودی (VCSEL) و لیزر دیودهای بازخورد توزیع شده (DFB) توانایی‌های بیشتری در این عرصه نمایان شده است [۱ و ۲]. اغلب لیزرهای مورد نیاز در این حوزه دارای طول موج‌های ۱۳۰۰ تا ۱۵۵۰ نانومتر هستند [۲ و ۳]. علاوه بر کاربردهایی که در ارتباطات مخابراتی بیان شد، تولید پالس‌های کوتاه در لیزرهای نیمه‌هادی در طول موج‌های مختلف، دریچه‌های نوینی را در زمینه‌های مختلف تحقیقات گشوده است [۲].

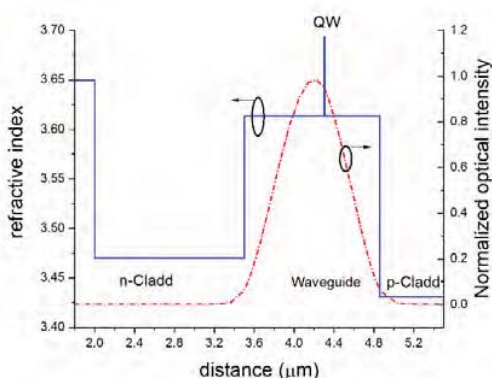
در این تحقیق با معرفی ساختار نامتقارن در لیزر نیمه‌هادی ۹۸۰ نانومتر و کاهش اتلاف داخلی، کوتاه‌ترین پالس زمانی قابل تولید در این لیزر به روش سویچ بهره مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فیزیک

مدولاسیون مستقیم لیزر نیمه‌هادی با مدولاسیون جریان تزریقی، I_{Op} ، انجام می‌شود. توان خروجی لیزر نیمه‌هادی را می‌توان از رابطه (۱) حاصل نمود [۲].

$$P_{Opt} = \eta_i \frac{hc}{\lambda q} \frac{\alpha_m}{\alpha_i + \alpha_m} (I_{Op} - I_{th}) \quad (1)$$

که پارامترهای به کار رفته شده و مقادیر آنها در جدول ۱ معرفی شده‌اند. لذا با اعمال جریان مدوله شده آن چنان که در شکل ۱ نشان داده شده است می‌توان توان خروجی لیزر را مدوله نمود. مراجع زیادی با حل معادلات نرخ



شکل ۲: ساختار ضریب شکست در لایه‌های لیزر نیمه هادی

شبیه‌سازی و نتایج

در این تحقیق شبیه‌سازی با حل معادلات تزویج شده نرخ حامل و فوتون با استفاده از نرم‌افزار متلبدر لیزر دیود با ساختار نامتقارن که در بخش قبل ذکر شد، انجام شد. جریان اعمالی در معادلات نرخ به صورت پالسی مطابق با رابطه (۳) است که تولید پالس کوتاهی نماید [۲].

$$I_{Op} = i_0 [\tanh(1.4t - 2) - \tanh(1.4t - 4.7)] \quad (3)$$

در این جا با اعمال پالس جریان الکتریکی با مقادیر i_0 برابر با ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ شبیه‌سازی انجام شد. با افزایش جریان به مقداری بیش از آستانه تولید فوتون شروع شده و با مصرف بهره چگالی الکترون در ناحیه فعال به صورت ناگهانی کاهش یافته و پس از مصرف بهره و کاهش الکترون‌ها توسط فرآیندهای نوری به زیر مقدار آستانه، تولید فوتون قطع شده و دوباره افزایش الکترون‌ها تداوم می‌یابد تا به مقدار آستانه برسد. این فرآیند زمانی در شکل ۳ برای مقدار $i_0 = 0.6A$ نشان داده شده است. همان‌گونه که از شکل پیداست افزایش دوباره الکترون‌ها باعث ایجاد پالس نامطلوب دوم می‌شود. لذا با توجه به مقدار چگالی الکترون‌ها از افزایش دومین قله به بالای آستانه باید جلوگیری کرد.

بهبود پالس پرتوان با استفاده از موجبر نامتقارن

مطابق با روابطی که در بالا ذکر شد سه محدودیت اساسی دینامیکی جهت ایجاد تک پالس به روش سویچ بهره وجود دارد که عبارتند از محدودیت در توان به دلیل محدودیت در جریان اعمال شده، محدودیت فنی در افزایش طول کاواک و محدودیت در کاهش اتلاف حامل‌های آزاد است که منشا اصلی اتلاف داخلی است.

جهت ایجاد کوتاه‌ترین پالس با توان قله مناسب استفاده از موجبر نامتقارن در لیزر ۹۷۶ نانومتر با مشخصات ذکر شده در جدول ۲ پیشنهاد می‌شود. سه دلیل اصلی استفاده از این موجبر را می‌توان به صورت زیر تبیین کرد. افزایش ضخامت و مولار آلومینیوم در ماده آلومینیوم گالیم آرسناید به کار گرفته شده در موجبر بخش n، که افزایش سرعت گروه به مقدار ۱۵٪ و کاهش اتلاف داخلی به مقدار ۳۰٪ را امکانپذیر می‌نماید.

افزایش ضخامت در موجبر مقدار ضریب محصورسازی را کاهش می‌دهد که به نوبه خود افزایش جریان آستانه لیزر را به همراه خواهد داشت. جهت ثابت نگه داشتن جریان آستانه ضخامت ناحیه فعال را به مقدار ۳۰٪ افزایش داده و به همین تناسب به جای ۲۰ درصد مولار ایندیم در InGaAs، مقدار ۱۷ درصد مولار ایندیم در نظر گرفته می‌شود. این کار وابستگی مقدار بهره به حامل را نیز کاهش می‌دهد. تا شرط تک مود عرضی را ارضا نماید. لایه‌های رشد داده شده در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: لایه‌های لیزر نیمه‌هادی در ساختار متقارن

Layers	Material	Thickness (nm)
p- cladding	$Al_{0.35}Ga_{0.45}As$	1000
p- waveguide	$Al_{0.15}Ga_{0.90}As$	500
Active	InGaAs	8
n- waveguide	$Al_{0.10}Ga_{0.90}As$	800
n- cladding	$Al_{0.35}Ga_{0.65}As$	1000

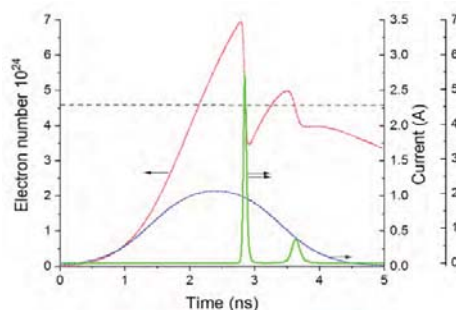
انرژی پالس نوری تولید شده با این جریان در حدود 250° پیکوژول و عرض پالس در حدود 80° پیکوثانیه محاسبه شده است. توان نوری این پالس برابر با $3/2$ وات است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پس از حل معادلات نرخ و اعمال جریان الکتریکی پالسی مناسب، پروفایل‌های زمانی تعداد الکترون‌ها و توان لیزر در جریان‌های بیشینه در یک لیزر دیودی با ساختار نامتقارن برای طول موج 976 نانومتر بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با اعمال جریان بیشتر، پالس نامطلوب دوم ایجاد می‌شود که در این تحقیق بیشترین مقدار مجاز i_0 که پالس نامطلوب دوم ایجاد نشود، در حدود 0.54 تعیین شد. با این جریان، پالس کوتاه با عرض 80° پیکو ثانیه و توان $3/2$ وات و انرژی در حدود 250° پیکوژول فراهم می‌شود.

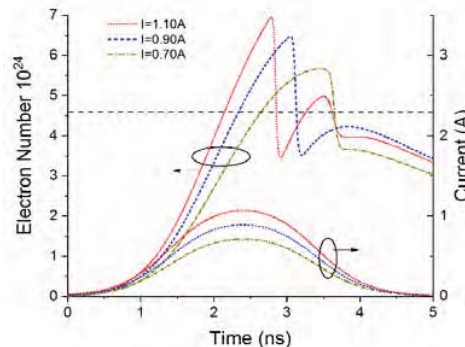
مرجع‌ها

- [1] S. L. Chuang, *Physics of Photonic Devices*, p. 605, JOHN WILEY & SONS, INC., 2009.
- [2] A. C. Barone, *Short pulse generation from semiconductor lasers: characterization, modeling and applications*, PhD thesis, Departamento de Tecnología Fotónica, Universidad Politécnica de Madrid, Spain, 2011.
- [3] B. Ryvkin, A. Eugene and et. al., "Asymmetric-Waveguide Laser Diode for High-Power Optical Pulse Generation by Gain Switching", *J. Light. Technol.*, VOL. 27, NO. 12, pp. 2125-2131, 2009.
- [4] S. Mieda, N. Yokota, R. Isshiki, W. Kobayashi and H. Yasaka, "Frequency response control of semiconductor laser by using hybrid modulation scheme", *Opt. Express.*, Vol. 24, No. 22, pp. 25824-25831, 2016.
- [5] R. Tucker, D. Pope, "Circuit Modeling of the Effect of Diffusion on Damping in a Narrow-Stripe Semiconductor Laser", *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol. 19, No. 7, pp. 1179-1183, 1983.



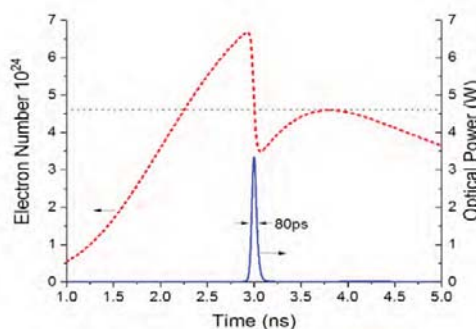
شکل ۳: پروفایل زمانی پالس الکتریکی و تعداد الکترون‌ها در جریان $i_0=0.6A$ و پالس اپتیکی خروجی لیزر در حالت

نمودار مقادیر الکترون‌ها و جریان در مقادیر مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: پروفایل زمانی پالس و تعداد الکترون‌ها در جریان‌های مختلف تزریقی

با تغییر مقدار i_0 در تابع پالس بیشترین مقدار مجاز در حدود 0.54 تعیین گردید. نمودار پالس الکتریکی تزریقی به لیزر و پالس اپتیکی در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: پروفایل زمانی پالس خروجی لیزر و تعداد الکترون‌ها در بیشینه جریان مجاز تزریقی $i_0=0.54A$