بهینه‌سازی چاه کوانتومی AlGaAs برای لیزرهای نیم‌رسانا ۸۰۰ نانومتر پرتوان

سید پیمان عباسی، میترا گودرزی و محمد حسین مهدیه

دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت ایران، نارمک، تهران

چکیده – در طراحی لیزرهای نیم‌رسانا *AlGaAs* با بکارگیری مقادیر مختلف درصد آلومینیوم و تغییر عرض چاه کوانتومی در ناحیه فعال میتوان عملکرد لیزر را در طول موجهای مختلف فراهم نمود. در عین حال عملکرد لیزر در شرایط بهینه در هر طول موج خاص به درصد معینی از الومینیم و عرض چاه مشخصی وابسته است. در این مقاله ساختار لیزر بهینه برای طول موج ۸۰۰ نانومتر بررسی شد. معیار بهینه سازی بر اساس دست یابی به بالاترین توان و کمترین جریان آستانه تعیین گردید. در این بهینه سازی محدودیتهای رشد عملی مواد نیم‌رسانا و آستانه تخریب اپتیکی لیزر در نظر گرفته شد. برای طول موج ۸۰۰ نانومتر بهترین عرض چاه کوانتمی ۱۰ نانومتر و درصد مولار ۰٫۰۸۵ برای مقدار آلومینیوم تعیین شد. در لیزر پیشنهادی، جریان آستانه ۵۴۵ میلی آمپر و توانی در حدود ۲۴۵۰ میلی وات حاصل شد.

کلید واژه- لیزر نیم‌رسانا، چاه کوانتومی، عرض چاه، مقدار آلومینیوم، جریان آستانه

Optimization of AlGaAs-QWs for high Power Diode lasers at 800nm

Seyed Peyman Abbasi, Mitra Goudarzi, Mohammad Hosien Mahdieh

Physics Faculty Iranian university science and technology, Narmak, Tehran, Iran

Abstract- In designing an AlGaAs diode laser, by selecting different aluminum content and varying quantum well width as active layer. The laser can be operated in optimum condition in any specific wavelength, if optimum values for aluminum content and well width are selected. In this paper, the optimum conditions for laser diode operating at 800nm was investigated. The maximum optical power and minimum threshold current are criterions for optimization process. In our design, the practical semiconductor material growth limitations and optical damage threshold were considered. Finally the optimum quantum well width and aluminum content were found to be 10 nm and 0.085, respectively. In such condition, the threshold current of 545mA and optical power of 2450mW can be achieved.

Keywords: Semiconductor Laser, Quantum Well, Well Thickness, Al Content, Threshold Current.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

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

۱- مقدمه

لیزرهای نیم‌رسانا کاربرد گسترده ای در دمش لیزرهای حالت جامد دارند. همچنین این لیزر ها به عنوان یک منبع نوری مناسب در برخی صنایع نظیر صنعت فرآوری مواد بطور مستقیم مورد استفاده قرار می گیرند. در تمامی این کاربردها دستیابی به توان بالا، بازده بالا و کیفیت پرتوی مناسب مطلوب است [۱].

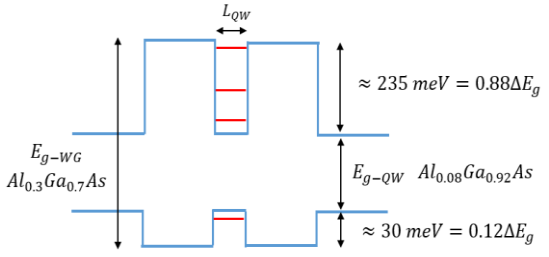
امروزه در اکثر لیزرهای نیم‌رسانا، از ساختار کاواک اپتیکی بزرگ یا ساختار محصورسازی مجزا جهت طراحی لایه های موجبر و غلاف، و همچنین از ساختارهای چاه کوانتومی جهت طراحی لایه فعال استفاده می شود[۲].

از مزایای استفاده از چاه کوانتومی در ساختار لیزرهای نیم‌رسانا می‌توان به جریان آستانه کمتر، تغییرات کم جریان آستانه با دما، توان کوک پذیری طول موج خروجی، بهره بالاتر، طیف باریکتر بهره، مصرف توان الکتریکی کمتر و توان خروجی بالاتر اشاره نمود [۳].

تراز های انرژی در چاه کوانتومی به صورت پله ای تغییر میکنند (شکل۱). در نتیجه انرژی گسیل شده حاصل از انتقال الکترون از باند رسانش چاه کوانتومی به باند ظرفیت برابر است با (شکل۱) [۴]:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = E_g + \frac{h^2}{8L^2}\left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h}\right) \qquad (۱)$$

که E و λ به ترتیب انرژی و طول موج پرتو لیزر تولید شده، h ثابت پلانک، c سرعت نور در خلا است. انرژی فوتون شامل انرژی گاف ماده E_{g-QW}، انرژی پایه الکترون و حفره در چاه کوانتومی است که به ترتیب با E_{1n} و E_{1h} نشان داده می‌شود. در رابطه بالا، L عرض چاه کوانتومی(ضخامت ناحیه فعال لیزر)، m_e و m_h به ترتیب جرم موثر الکترون و حفره در ماده چاه است. در شکل ۱، E_{g-WG} انرژی گاف ماده موجبر است.



شکل ۱: ساختار طرحواره از چاه کوانتومی AlGaAs

برای تعیین ساختار لیزر نیم‌رسانا و طراحی لایه‌های اپیتکسی شده با انتخاب عرض چاه و ماده می‌توان به طول موج خروجی مورد نظر دست یافت. انتخاب ماده دارای محدودیتهایی همچون گاف انرژی پایینتر از موجبر ، ضریب شکست بالاتر از موجبر و تنش قابل قبول با لایه موجبر است[۴و۵]. تنش لایه فعال با لایه موجبر حاصل از عدم انطباق شبکه است[۶].

مقدار گاف انرژی $Al_xGa_{1-x}As$ بر حسب مقدار مولار آلومینیوم برای مقادیر کمتر از ۰/۵ برابر است با[۴]:

$$E_g = 1.42 + 1.23x + 0.2x^2\ (eV)\ \ x \le 0.5 \qquad (۲)$$

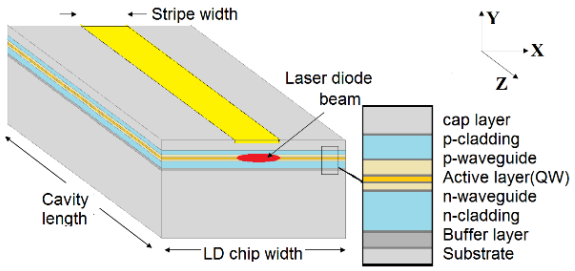
مقدار تنش ایجاد شده در لایه‌های مختلف لیزر نیم‌رسانا از مهمترین مسائل عملی رشد لایه‌های مذکور است. مقدار تنش مابین دو لایه انتخابی از تفاوت ثابت شبکه در دو لایه چاه کوانتومی و موجبر که با a_{QW} و a_{WG} نشان داده می‌شود با رابطه زیر بدست می‌آید[۶و۷]:

$$\epsilon = \frac{a_{QW} - a_{WG}}{a_{QW}} \qquad (۳)$$

در تحقیق حاضر، بازه انتخابی مقدار مولار مجاز آلومینیوم برای انتخاب ماده چاه کوانتومی با توجه به محدودیت رشد لایه‌های اپیتکسی شده از نظر مقدار مجاز برای عدم تطبیق شبکه انتخاب می‌شود. مقدار مجاز برای عدم تطبیق شبکه کمتر از ۰/۰۲ است. سپس در ازای هر مقدار درصد مولار آلومینیوم، مقدار عرض چاه کوانتومی(ضخامت ناحیه فعال) برای طول موج هدف (۸۰۰ نانومتر) تعیین می‌شود. نهایتاً بهینه ترین مقادیر انتخاب شده و توان نهایی لیزر طراحی شده محاسبه می‌گردد.

۲- ساختار لیزر

لیزر در نظر گرفته شده با ابعاد هندسی: طول کاواک ۱۰۰۰ میکرون، عرض تراشه ۵۰۰ میکرون، ضخامت تراشه ۱۲۰ میکرون و عرض نوار تزریق جریان ۱۰۰ میکرون مطابق شکل۲ در نظر گرفته شده و مشخصات لایه های رشد داده شده در جدول ۱ آمده است.



شکل ۲: لیزر نیم‌رسانا (راستای خروجی پرتو محور X است.)

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

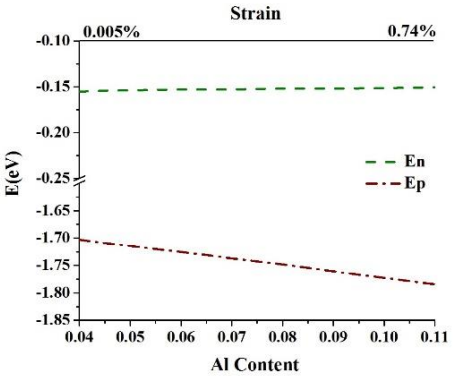
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

جدول ۱: لایه‌های رشد داده شده لیزر نیم‌رسانا

Cap layer: p-GaAs 200nm
p-cladding layer: p-$Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 500nm
p-waveguide: p-$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 500nm
Active layer QW: $Al_xGa_{1-x}As$ L(nm)
n-waveguide: n-$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 500nm
n-cladding layer: n-$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 500nm
Substrate: GaAs

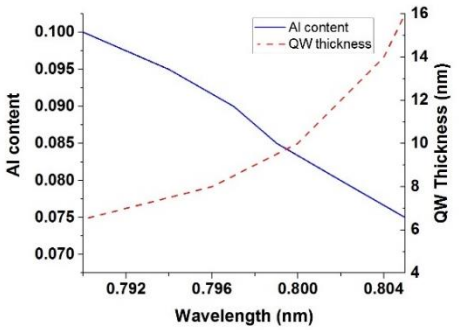
۳- بهینه سازی چاه کوانتومی

در چاه کوانتومی، فاصله دو لبه باند انرژی الکترون و حفره، تعیین کننده طول موج است. فاصله لبه باند وابسته به ماده ناحیه فعال است که محدوده مجاز تغییرات ماده جهت رشد اپیتکسی با توجه به ماده موجبر و مقدار تنش دو ماده و عرض چاه تعیین میگردد. فاصله لبه باند انرژی الکترون و حفره در شکل۳ نشان داده شده است.



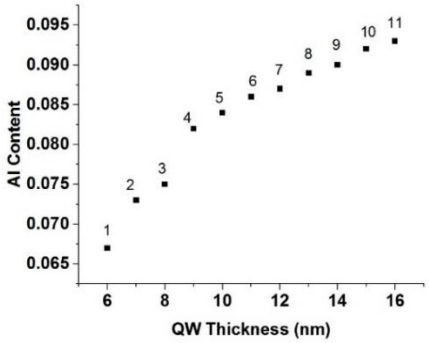
شکل ۳: لبه باند الکترون و حفره در مولارهای مختلف آلومینیوم در برای چاه کوانتومی۱۰ نانومتر در محدوده مجاز تنش عدم انطباق $Al_xGa_{1-x}As$

همانطور که از شکل ۳ پیداست در بازه نشان داده شده مقدار عدم تطبیق شبکه (محور افقی بالای نمودار) در حد مجاز است و تغییرات باند حفره در حدود ۶٪ است که بازه مناسبی را برای انتخاب طول موج از ۷۹۰ تا ۸۱۰ نانومتر را فراهم می‌کند. تغییرات طول موج بر حسب عرض چاه و مقدار مولار در شکل ۴ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش عرض چاه و کاهش مولار آلومینیوم طول موج افزایش یافته است. لذا با موازنه بین عرض چاه و مولار آلومینیوم در مقادیر مختلف می توان طول موج مورد نظر را بدست آورد بطوریکه با کاهش عرض چاه، تراز انرژی پایه افزایش یافته برای ثابت ماندن فاصله دو لبه باند انرژی الکترون و حفره، انرژی گاف ماده می بایستی کاهش یابد و این به معنای کاهش درصد مولار آلومینیوم در ماده $Al_xGa_{1-x}As$ مربوط به چاه کوانتومی خواهد بود



شکل ۴: تغییرات طول موج گسیل شده از ناحیه فعال برای درصد متغیر آلومینیوم برای چاه کوانتومی۱۰ نانومتر(خط ممتد آبی $Al_xGa_{1-x}As$ در ماده فعال رنگ) و تغییرات طول موج گسیل شده از ناحیه فعال برای عرض چاه کوانتومی متغیر در درصد آلومینیوم ۰٫۰۸۵ (خط منقطع قرمز رنگ) در محدوده مجاز تنش عدم انطباق.

شکل ۵ مقادیر متناظر مولار آلومینیوم و عرض چاه هایی است که طول موج ۸۰۰ نانومتر را نتیجه می‌دهند. همانگونه که مشاهده می‌شود نرخ افزایش مولار الومینیوم به نرخ افزایش عرض چاه برای چاههای بزرگتر از ۱۰ نانومتر کاهش می یابد. برای بهینه سازی مقادیر مولار آلومینیوم برای ماده و عرض چاه کوانتومی زوجهای حاصل از نمودار شکل ۵ در شرایط لیزر ذکر شده دو پارامتر توان اپتیکی نهایی در جریان کاری ۱ آمپر و جریان آستانه در شبیه سازی مورد توجه قرار گرفتند. شبیه سازی به روش انتشار موج با نرم افزار RSoft انجام شد[۸].



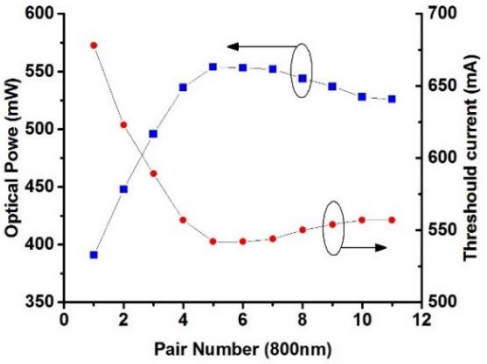
شکل ۵: زوج مقادیر متناظر مولارهای مختلف آلومینیوم در ماده فعال $Al_xGa_{1-x}As$ و عرض چاه کوانتومی که پرتو ۸۰۰ نانومتر گسیل می‌کنند. این زوجها شماره گذاری شده‌اند بطور مثال برای زوج شماره ۱۰ مقدار آلومینیوم و عرض چاه به ترتیب ۹% و ۱۵ نانومتر است.

توان اپتیکی و جریان آستانه (برای هر مقدار متناظر ارائه شده در شکل ۵) در شکل ۶ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود در مقدار ۸٫۵٪ برای مقدار آلومینیوم و ۱۰ نانومتر برای عرض چاه مقدار توان بیشینه و مقدار

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

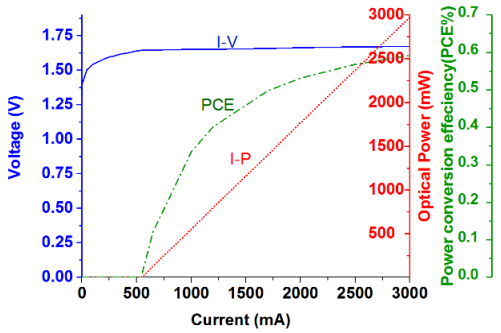
جریان آستانه کمینه شده است. بنابراین می توان برای ساختار لایه های ذکر شده، مقادیر فوق را بعنوان بهینه ترین مقادیر در نظر گرفت.



شکل ۶: توان اپتیکی بهینه در جریان ۱آمپر(رنگ ابی) و جریان استانه (رنگ قرمز) برای مقادیر متناظر مولار آلومینیوم و عرض چاه برای طول موج ۸۰۰ نانومتر.

با اعداد بدست آمده ناحیه فعال لیزر چاه کوانتومی ۱۰ نانومتری از $Al_{0.085}Ga_{0.915}As$ تعیین می‌گردد که مابین موجبری از $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ ساندویچ شده است. تراشه فوق در شرایط ذکر شده در بخش ساختار لیزر با دو آینه عقب و جلو ۹۵٪ و ۵٪ ، با خنک کاری توسط هیت سینک مسی با ضریب هدایت حرارتی ۳W/Kcm و در دمای محیط ۳۰۰ کلوین شبیه سازی شده است. محدودیت افزایش توان اپتیکی بوسیله آستانه تخریب اپتیکی آینه‌ها (COMD) در طول موج گسیلی لیزر تعیین می‌گردد. این آستانه با توجه به طول موج ۸۰۰ نانومتر برای ماده $Al_xGa_{1-x}As$ در حدود ۸-۶MW/cm^2 گزارش شده است[۹].

مشخصات الکترواپتیکی حاصل از شبیه سازی لیزر طراحی شده در شکل ۷ نشان داده شده است. در لیزر طراحی شده جریان آستانه ۵۴۵mA ، بازده لیزر ۵۸٪ و نسبت بازده توان به جریان برابر با ۱٫۱۲W/A است. با توجه به محدودیت آستانه تخریب اپتیکی آینه‌ها، توان نهایی برابر با ۲۴۵۰mW در جریان کاری ۲۵۰۰mA قابل حصول است.



شکل ۷: مشخصات الکترواپتیکی لیزر طراحی شده شامل نمودار توان-جریان(نقطه چین قرمز)، جریان-ولتاژ (خط ممتد آبی) و جریان-بازده (خط نقطه سبز)

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق چاه کوانتومی AlGaAs برای گسیل پرتو ۸۰۰ نانومتر از لیزر نیم‌رسانا با موجبر پهن بهینه شد. نشان داده شد که بیشترین توان اپتیکی و کمترین جریان آستانه با چاه کوانتمی $Al_{0.085}Ga_{0.915}As$ با عرض ۱۰ nm حاصل می‌شود. در این لیزر می‌توان با توجه به محدودیت آستانه تخریب ماده AlGaAs توان ۲۴۵۰mW را بدست آورد.

مراجع

[1] A. Malag, E. Dabrowska, M. Teodorczyk, G. Sobczak, A. Kozłowska, and J. Kalbarczyk, “Asymmetric Heterostructure With 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] B. S. Ryvkin and E. A. Avrutin, “Asymmetric, nonbroadened large optical cavity waveguide structures for high-power long-wavelength semiconductor lasers”, Journal Of Applied Physics, Vol. 97, No. 6, pp. 123103-6, 2005.

[3] Peter. S. Zory, *Quantum Well Lasers*, Academic Press, 1993

[4] Mroziewicz, B., Bugajski, M. and Nakwaski, W., *Physics of Semiconductor Lasers*, North Holland Publication, 1991

[5] H. Wenzel1, G. Erbert, F. Bugge, A. Knauer, J. Maege, J. Sebastian, R. Staske, K. Vogel, G. Tränkle, “Optimization of GaAsP-QWs for High Power Diode Lasers at 800 nm” SPIE Vol. 3947, 2000.

[6] Gotz Erbert, F.Bugge, A. Knauer, J. Sebastian, A. Thies, Hans Wenzel, M. Weyers, and G. Trankle, “High-Power Tensile-Strained GaAsP–AlGaAs Quantum-Well Lasers Emitting Between 715 and 790 nm”, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol5, 1999

[7] S. Adachi, *Properties of Aluminum Gallium Arsenide*, S. Adachi, p. 87, INSPEC Press, 1993.

[8] Synopsys, Inc, [RSoft LaserMOD v2013.12 User Guide], optics.synopsys.com, (2013).

[9] D. Botez, “High-Power Al-free Coherent and Incoherent Diode Lasers “ , IEEE Journal Of Quantum Electronics, 1998

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]