

تأثیر مواد و ضخامت لایه‌های کلدینگ بر کارایی لیزرهای دیودی چاه کوانتومی مبتنی بر گالیوم نیترات

مریم امیرحسینی

دانشگاه فنی بوئین زهرا، بوئین زهرا، قزوین، ایران

قاسم اله یاری زاد

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۲۶ - پذیرش مقاله: ۹۷/۰۷/۳۰)

چکیده

مشخصات کارایی لیزر دیودهای چاه کوانتومی دوتایی $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ تابش کننده در ناحیه بنفش دور با استفاده از نرم افزار ISE-TCAD بطور عددی مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه نقش میزان آلومینیوم در ماده تشکیل دهنده و ضخامت لایه های کلدینگ AlGaIn بر روی مشخصات کارایی مختلف از قبیل توان خروجی، جریان آستانه، شیب کارایی، کارایی کوانتومی خارجی (DQE)، و شدت اپتیکی این لیزر دیودها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه سازی دلالت بر این دارد که افزایش میزان آلومینیوم در ترکیب AlGaIn لایه های کلدینگ موجب افزایش DQE و شیب کارایی و کاهش جریان آستانه این لیزر دیودها می شود، در حالی که توان خروجی کاهش می یابد. نتایج شبیه سازی همچنین دلالت بر این دارد که افزایش ضخامت لایه های کلدینگ AlGaIn موجب افزایش توان خروجی می شود. افزایش توان خروجی نتیجه افزایش چگالی های حامل های الکترون و حفره ها در چاه های کوانتومی و در نتیجه افزایش بازترکیب تابشی آنها می باشد. **واژه‌های کلیدی:** لیزر دیود چاه کوانتومی، اندیوم گالیوم نیترات، لایه کلدینگ، مشخصات کارایی، شبیه سازی عددی.

The Effect of Material and Thickness of Cladding Layers on the Efficiency of GaN Based Quantum Well Laser Diodes

Maryam Amirhoseiny

Buein Zahra technical University, Buein Zahra, Gazvin, Iran

Ghasem Alahyarizadeh

Engineering Department, Shahid Beheshti University, G.C., P.O. Box 1983969411, Tehran, Iran

(Received 16 March 2017, accepted 22 October 2018)

Abstract

The performance characteristics of the deep violet $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ double quantum well (DQW) laser diodes (LDs) has been numerically investigated by using ISE TCAD software. The role of thickness and Al composition of AlGaIn Cladding layers on the different performance characteristics including output power, threshold current, and slope efficiency, DQE, and optical intensity has been studied. Simulation results indicated that DQE and slope efficiency increase, while output power and threshold current decrease on the average by increasing AlGaIn composition of cladding layers. Output power increases with increasing AlGaIn cladding thickness because of increasing electron and hole carrier densities in Quantum wells and consequently, increasing radiative recombination. The slight increase were observed in QW electron and hole carrier densities of deep violet $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ DQW LDs with increasing cladding layer thickness.

Keywords: *InGaIn DQW laser diode, quantum well, Cladding Layer, numerical simulation.*

E-mail of Corresponding author: *amirhoseiny_m@yahoo.com.*

مقدمه

ویژگی‌های خاص مواد تشکیل شده از گروه سوم جدول تناوبی و نیترا‌تها (III-Nitride) از قبیل انرژی شکاف باندی پهن، پوشش بخش وسیعی از طیف الکترومغناطیسی، و پایداری حرارتی بالا، این مواد را در زمره مواد مورد توجه در صنعت اپتوالکترونیک قرار داده است [۱-۶]. یکی از زمینه‌های مهم در حوزه اپتوالکترونیک مواد و افزاره‌های III-Nitride لیزر دیودهای مبتنی بر InGaN می‌باشد. این لیزر دیودها قادر به پوشش گستره وسیعی از طیف نوری می‌باشند و دارای کاربردهای وسیع و ایمنی برای سیستم لوح فشرده نوری چگالی بالا از قبیل دیسک‌های فشرده اشعه آبی (BD) و HD-DVD و دیگر کاربردها هستند [۷ و ۸]. اگرچه این نوع لیزر دیودهای بطور وسیعی مورد مطالعه قرار گرفته شده اند، با این حال کارایی بالاتر و دستیابی به طول موج‌های گسیلی کوتاه تر هنوز به عنوان چالش اساسی برای کار بر روی این افزاره ها و دستیابی به نسل جدید منابع لیزری به شمار می آید.

لایه‌های کلدینگ AlGaIn لایه‌های مهم در ساختار لیزر دیودها به شمار می‌آیند، که برای محدود کردن و گیر اندازی فوتون‌های نور اطراف ناحیه فعال لیزر بکار برده می‌شوند. لایه‌های کلدینگ اطراف لایه‌های موجبر و ناحیه فعال را همانند لایه خارجی فیبرهای نوری فرا می‌گیرند و نقش بازگرداندن نور به ناحیه درونی را بازی می‌کنند. بعنوان نتیجه، لایه‌های کلدینگ می‌بایست دارای ضریب شکست پایین‌تر و شکاف انرژی باند بیشتری نسبت به لایه‌های موجبر و ناحیه فعال باشند. امروزه مواد AlGaIn بعلت توانایی در فراهم آوردن اختلاف ضریب شکست لازم میان این لایه‌ها با لایه‌های موجبر (Al, In)GaIn برای دستیابی به محدودسازی اپتیکی بهتر بعنوان مواد اصلی لایه‌های کلدینگ در ساختارهای لیزر دیودی III-Nitride بکار می‌روند. لایه‌های کلدینگ AlGaIn دارای تاثیر قابل توجهی بر روی ویژگی های اپتیکی لیزر دیودهای چاه کوانتومی InGaIn می باشند [۹]. در مقایسه، عدم تطابق

شبکه‌ای حرارتی بالا، و تنش کششی بالای شبکه ای مواد AlGaIn هنگام لایه‌نشانی بر روی لایه‌های GaN موجب محدود کردن ضخامت و میزان آلومینوم لایه‌های کلدینگ AlGaIn مورد استفاده در ساختارهای لیزر دیودی InGaIn شده است.

بهرحال، لایه‌نشانی لایه‌های AlGaIn ضخیم نه تنها وقت گیر، بلکه مستعد ایجاد ترک بخاطر عدم تطابق شبکه ای میان لایه‌های AlGaIn و GaN می‌باشند. این امر موجب نیاز به ولتاژ عملکردی بالاتر می‌شود.

مطالعات قبلی بر روی لایه‌های کلدینگ AlGaIn نشان می‌دهد که افزایش میزان آلومینوم در لایه‌های کلدینگ AlGaIn یکی از راه‌های افزایش فاکتور محدودسازی اپتیکی و کاهش جریان آستانه در لیزر دیودهای InGaIn می باشد [۱۱ و ۱۲]. مطالعات مشابه بر روی لیزر دیودهای III-nitride توان بالا نیز دلالت بر این دارد که کاهش میزان آلومینوم در لایه‌های کلدینگ AlGaIn سبب افزایش در توان خروجی ماکزیمم می‌شود [۱۰ و ۱۲]. این مطالعات همچنین نشان می‌دهند که محدودسازی اپتیکی با افزایش ضخامت لایه‌های کلدینگ AlGaIn کاهش می‌یابد. بر اساس جستجوهای انجام گرفته، مطالعات جامعی در خصوص نقش لایه‌های کلدینگ بر روی بهبود کارایی لیزر دیودهای مبتنی بر InGaIn تابش کننده در ناحیه بنفش و بنفش دور وجود ندارد.

در این مقاله، اثر میزان آلومینوم و ضخامت لایه‌های کلدینگ AlGaIn بر روی مشخصات کارایی از قبیل ویژگی‌های اپتیکی و الکتریکی لیزر دیودهای چاه کوانتومی دوتایی $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ تابش کننده در ناحیه بنفش دور با طول موج گسیلی ۳۹۰ نانومتر مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

ساختار لیزر تحت مطالعه و پارامترهای شبیه سازی

شکل ۱ دیاگرام شماتیک ساختار لیزر دیودی چاه کوانتومی دوتایی $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ تابش کننده در محدوده

پارامترهای فیزیکی آلیاژهای سه تایی و چهارتایی استفاده شده در این شبیه‌سازی از درون یابی پارامترهای آلیاژهای دوتایی بدست آمده است. این پارامترها توسط رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشند [۳].

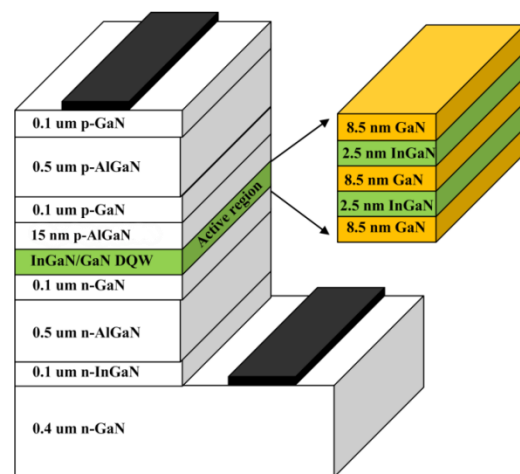
$$Q_{Al_xIn_yGa_{1-x-y}N} = x \cdot Q_{AlN} + y \cdot Q_{InN} + (1-x-y) \cdot Q_{GaN}, \quad (1)$$

که Q_{AlN} ، Q_{GaN} ، Q_{InN} پارامترهای فیزیکی آلیاژهای GaN، InN و AlN از قبیل جرم‌های موثر، ضریب شکست و دیگر پارامترهای ذکر شده در جدول ۱ می‌باشند.

جدول ۱. مشخصات مواد مرکب از گروه سوم و پنجم (نیتراژها) در دمای اتاق

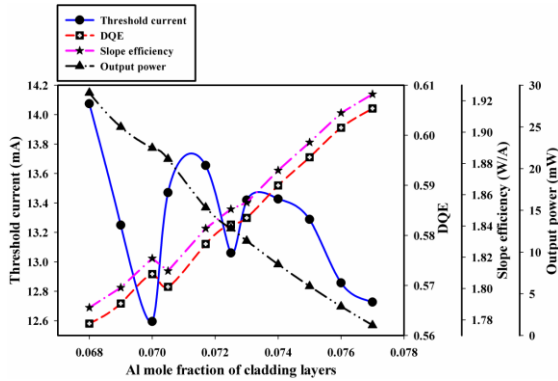
Parameters	GaN	AlN	InN
Bandgap energy E_g (eV)	۳/۴۷	۶/۲۸	۰/۸
Electron affinity (eV)	۴/۱	۱/۹	۵/۸
Lattice constant a_0 (Å)	۳/۱۸۹	۳/۱۱۲	۳/۵۴۵
Spontaneous polarization P_{sp}	-	- ۰/۰۹	- ۰/۰۴۲
Refractive index near E_g	۲/۵۰۶	۲/۰۳۵	۲/۹
Electron effective mass m_e	۰/۲۲	۰/۴	۰/۱۱
Heavy hole effective mass m_e	۱/۵۹۵	۲/۶۸	۱/۴۴۹
Light hole effective mass m_e	۰/۲۶۱	۰/۲۶۱	۰/۱۵۷
Elastic stiffness constant C_{13} (GPa)	۱۰۶	۱۰۸	۹۲
Elastic stiffness constant C_{33} (GPa)	۳۹۸	۳۷۳	۲۲۴

بنفش دور مورد بررسی در این مطالعه را نمایش می‌دهد. ساختار مذکور، یک ساختار اصلاح شده از ساختار لیزر دیودی اولیه ساخته شده توسط ناکامورا و همکاران می‌باشد. این ساختار تشکیل شده است از لایه زمینه گالیوم نیتراژ با داپینگ نوع n (n-GaN) به ضخامت ۰/۴ میکرون، لایه تطبیقی n-In_{0.05}Ga_{0.95}N با ضخامت ۰/۱ میکرون، لایه کلدینگ n-Al_xGa_{1-x}N با ضخامت‌های مختلف ۰/۴۸ تا ۰/۵ میکرون، لایه موجبر n-GaN با ضخامت ۰/۱ میکرون، منطقه فعال متشکل از دو چاه کوانتومی و سه دیواره In_{0.082}Ga_{0.918}N/GaN با ضخامت‌های ۲/۵ و ۸/۵ نانومتر، لایه مانع فرار الکترونی (EBL) Al_{0.22}Ga_{0.78}N با ضخامت ۱۵ نانومتر، لایه موجبر p-GaN با ضخامت ۰/۱ میکرون، لایه کلدینگ p-Al_xGa_{1-x}N با ضخامت‌های مختلف ۰/۴۸ تا ۰/۵ میکرون، و لایه تماس بالایی p-GaN با ضخامت ۰/۱ میکرون [۱۳-۱۵]. میزان افزودنی یا داپینگ در ناحیه‌های نوع n و p به ترتیب برابر $5.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ و $1.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ می‌باشد. سطح لیزر برابر ۱ میکرون در ۳۰۰ میکرون بوده و ضرایب انعکاس آینه‌های جلویی و پشتی لیزر ۵۰٪ در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. دیگرام شماتیک ساختارهای لیزری چاه کوانتومی دوتایی InGa نتابش کننده در بنفش دور.

افزایش میزان آلومینیوم لایه‌های کلدینگ AlGaIn می‌تواند ناشی از افزایش محدود سازی اپتیکی متناسب با میزان آلومینیوم باشد. فاکتور محدودسازی اپتیکی (OCF) لیزر دیودهای چاه کوانتومی دوتایی In_{0.082}Ga_{0.918}N/GaN تابش کننده در بنفش دور بعنوان تابعی از (الف) میزان آلومینیوم ترکیب AlGaIn لایه‌های کلدینگ، و (ب) ضخامت های مختلف لایه های کلدینگ در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲. جریان آستانه، شیب کارایی، توان خروجی، و DQE لیزر دیودهای چاه کوانتومی دوتایی In_{0.082}Ga_{0.918}N/GaN تابش کننده در بنفش دور با میزان آلومینیوم مختلف در لایه های کلدینگ AlGaIn

همانطور که در این شکل دیده می‌شود، OCF با افزایش میزان آلومینیوم لایه کلدینگ AlGaIn افزایش می‌یابد. این نتیجه معقول به نظر می‌رسد زیرا OCF یا Γ تابعی از طول موج تابشی، و توزیع ضرایب شکست لایه‌های مختلف می‌باشد. با در نظر گرفتن یک موجبر با هندسه تیغه‌ای سه لایه‌ای متقارن، فاکتور محدودسازی آن (Γ_{slab}) بوسیله معادله زیر تخمین زده می‌شود [۱۴].

$$\Gamma_{slab} \approx 2\pi^2 \frac{n_1^2 - n_2^2}{\lambda^2} d^2, \quad (۷)$$

که n_1 و n_2 ضرایب شکست موجبر و لایه‌های کلدینگ، λ طول موج هدایت شونده توسط موجبر، و d ضخامت لایه موجبر می‌باشد. برای ساختارهای لیزر دیود مورد بحث در این مقاله، از شکل ۲ می‌توان دریافت که اختلاف درجه

معادله بالا برای تمامی پارامترهای فیزیک بجز انرژی شکاف باند اعمال می‌شود. انرژی شکاف باند بوسیله رابطه زیر بدست خواهد آمد.

$$E_g(AlInGaN) = \frac{xyE_g^u(AlInN) + yzE_g^v(InGaN) + xzE_g^w(AlGaN)}{xy + yz + zx}, \quad (۲)$$

$$E_g^u(AlInN) = u \cdot E_g(InN) + (1-u) \cdot E_g(AlN) - u \cdot (1-u)b(AlInN), \quad (۳)$$

$$E_g^v(InGaN) = v \cdot E_g(GaN) + (1-v) \cdot E_g(InN) - v \cdot (1-v)b(InGaN), \quad (۴)$$

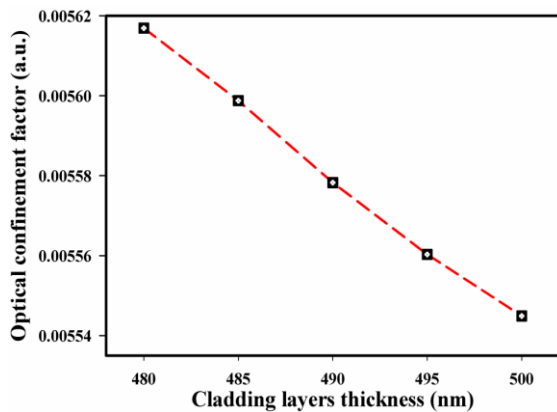
$$E_g^w(AlGaN) = w \cdot E_g(GaN) + (1-w) \cdot E_g(AlN) - w \cdot (1-w)b(AlGaN), \quad (۵)$$

$$u = \frac{1-x+y}{2}, \quad v = \frac{1-y+z}{2}, \quad w = \frac{1-x+z}{2}, \quad (۶)$$

که x, y و $z=1-x-y$ به ترتیب برابر با میزان آلومینیوم، اندیوم و گالیوم در ترکیب چهار تایی AlInGaIn می‌باشند. $E_g(AlN)$ ، $E_g(GaN)$ و $E_g(InN)$ نیز به ترتیب انرژی‌های شکاف باند آلیاژهای InN، GaN و AlN می‌باشند. همچنین ثابت‌های $b(AlInN)$ ، $b(InGaN)$ و $b(AlGaN)$ پارامترهای تصحیح انرژی شکاف باند آلیاژهای سه تایی AlInN، InGaN و AlGaIn می‌باشند که به ترتیب برابر ۲/۵، ۱/۴ و ۰/۷ هستند [۴].

نتایج شبیه‌سازی و بحث

جریان آستانه، شیب کارایی، توان خروجی و DQE لیزر دیود چاه کوانتومی دوتایی In_{0.082}Ga_{0.918}N/GaN تابش کننده در بنفش دور با لایه‌های کلدینگ به ضخامت ۰/۵ میکرون و میزان مختلف آلومینیوم ترکیب AlGaIn در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، با افزایش میزان آلومینیوم ترکیب AlGaIn لایه‌های کلدینگ، DQE و شیب کارایی افزایش و جریان آستانه کاهش پیدا می‌کند، در حالی که توان خروجی نیز کاهش پیدا می‌کند. کاهش جریان آستانه با



شکل ۳. فاکتور محدود کننده اپتیکی (OCF) لیزر دیویدهای چاه کوانتومی دوتایی $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ تابش کننده در بنفش بعنوان تابعی از (الف) میزان آلومینیوم و (ب) ضخامت لایه های کلدینگ AlGaIn .

میدان‌های الکتریکی ایجاد شده مرتبط با پلاریزاسیون های پیزو الکتریک و خودبخودی نقش بسیار مهمی در افزاره‌های مبتنی بر نیترا ت بازی می‌کنند. پلاریزاسیون خودبخودی آلیاژهای نیترا ت سه تایی می‌توانند بوسیله رابطه زیر توصیف شوند [۳].

$$P_{sp}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}) = -0.090x - 0.034(1-x) + 0.019x(1-x),$$

پلاریزاسیون پیزوالکتریک آلیاژهای چهارتایی و سه تایی مبتنی بر نیترا ت AlInGaIn ، AlGaIn و InGaIn نیز بوسیله رابطه زیر تخمین زده می‌شوند.

$$P_{pz}(\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}) = P_{pz}(\text{AlN})x + P_{pz}(\text{InN})y + P_{pz}(\text{GaN})(1-x-y), \quad (8)$$

$$P_{pz}(\text{AlN}) = -1.808\varepsilon + 5.624\varepsilon^2 \text{ for } \varepsilon < 0,$$

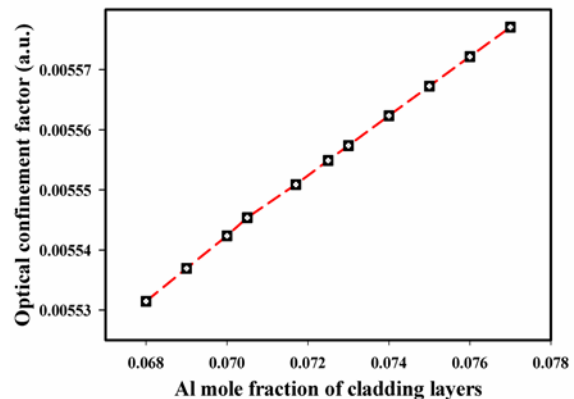
$$P_{pz}(\text{AlN}) = -1.808\varepsilon - 7.888\varepsilon^2 \text{ for } \varepsilon > 0,$$

$$P_{pz}(\text{GaN}) = -0.918\varepsilon + 9.541\varepsilon^2,$$

$$P_{pz}(\text{InN}) = -1.373\varepsilon + 7.559\varepsilon^2,$$

در اینجا، ε عدم تطابق شبکه ای میان لایه‌های زمینه و لایه‌های همبافته یا اپیتکسی بعدی می‌باشد. پلاریزاسیون ایجاد شده کل مجموع پلاریزاسیون‌های خودبخودی و پیزوالکتریک می‌باشد. با افزایش ضخامت لایه کلدینگ، میدان الکتریکی ایجاد شده بخاطر کشش یا استرین بالاتر افزایش می‌یابد. بنابراین، فاکتور محدود کننده اپتیکی

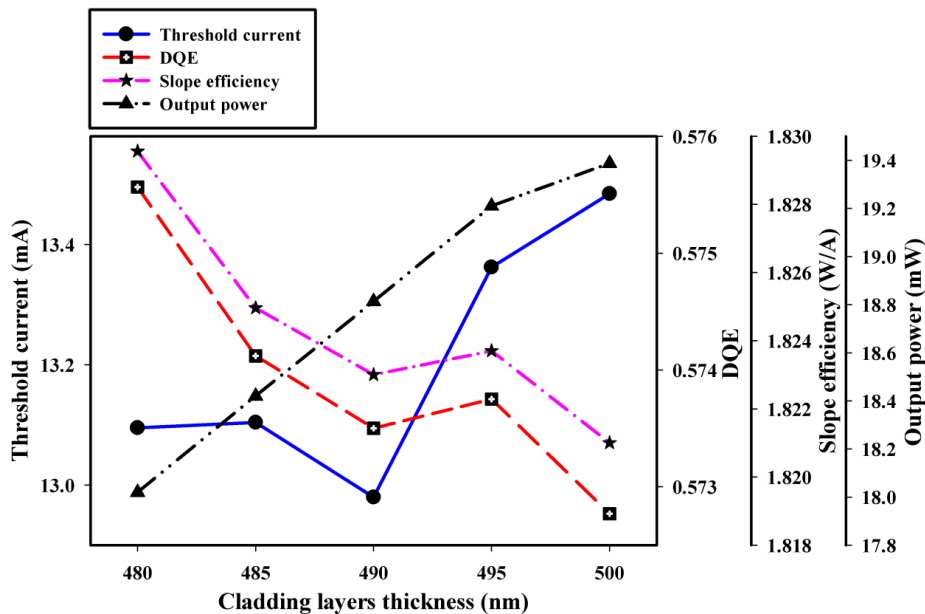
دومی در ضریب شکست میان لایه‌های کلدینگ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ و لایه‌های موجبر GaN با افزایش کسر مولی آلومینیوم در لایه‌های کلدینگ افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان دید که Γ با افزایش اختلاف ضریب شکست میان لایه کلدینگ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ و لایه موجبر GaN کاهش می‌یابد. در مرجع ۱۵، ضریب شکست وابسته به ترکیب $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ بوسیله طیف سنجی تعیین شده و با استفاده روابط کرامرز-کرونینگ مورد تحلیل قرار گرفته است. بر مبنای این معادلات، ضریب شکست با افزایش کسر مولی آلومینیوم در لایه‌های کلدینگ کاهش می‌یابد. لذا لایه‌های کلدینگ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ با کسر مولی آلومینیوم بالاتر دارای ضریب شکست پایین‌تری هستند، از این رو، Δn میان لایه‌های موجبر و کلدینگ افزایش می‌یابد. بنابراین، همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، محدودسازی اپتیکی لیزر دیویدا افزایش می‌یابد. افزایش OCF لیزر دیود همچنین منجر به افزایش مشخصات کارایی لیزر دیود از قبیل شیب کارایی و DQE می‌شود. این نتایج در توافق خوبی با نتایج بدست آمده توسط Zhang et al و Lee et al هستند [۱۰ و ۱۱]. شکل ۳ (ب) OCF لیزر دیویدهای چاه کوانتومی دوتایی $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ تابش کننده در بنفش دور با ضخامت‌های مختلف لایه‌های کلدینگ AlGaIn را نشان می‌دهد.



آستانه بطور معکوس با فاکتور محدودسازی اپتیکی مرتبط می‌باشد. کاهش ضخامت لایه کلدینگ موجب افزایش فاکتور محدودسازی اپتیکی می‌شود، بنابراین جریان آستانه کاهش می‌یابد. افزایش فاکتور محدودسازی اپتیکی با کاهش ضخامت لایه‌های کلدینگ AlGaIn همچنین موجب بهبود مشخصات کارایی لیزر دیود از قبیل شیب کارایی و DQE می‌شود.

ساختار لیزر دیود با افزایش ضخامت لایه کلدینگ کاهش می‌یابد.

شکل ۴ جریان آستانه، شیب کارایی، توان خروجی و DQE لیزر دیود چاه کوانتومی دوتایی $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ تابش کننده در بنفش دور با مقادیر مختلف ضخامت لایه‌های کلدینگ از ۰/۴۸ تا ۰/۵ میکرون را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، با کاهش ضخامت لایه کلدینگ، DQE و شیب کارایی افزایش و جریان آستانه کاهش پیدا می‌کند، در حالی که توان خروجی نیز کاهش پیدا می‌کند. جریان



شکل ۴: جریان آستانه، شیب کارایی، توان خروجی، و DQE لیزر دیودهای چاه کوانتومی دوتایی $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ تابش کننده در بنفش دور بعنوان تابعی از ضخامت لایه‌های کلدینگ AlGaIn.

با افزایش ضخامت لایه‌های کلدینگ در شکل ۵ الف و ب نمایش داده شده است.

افزایش توان خروجی لیزر دیود چاه کوانتومی دوتایی $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ تابش کننده در بنفش دور با افزایش ضخامت لایه کلدینگ AlGaIn می‌تواند ناشی از افزایش چگالی حامل‌های الکترون و حفره در چاه‌های کوانتومی و متعاقب آن افزایش بازترکیب تابشی الکترون و حفره باشد. افزایش نسبتاً کم چگالی حامل‌های الکترون و حفره در چاه‌های کوانتومی ساختار لیزر دیود چاه کوانتومی دوتایی $\text{In}_{0.082}\text{Ga}_{0.918}\text{N}/\text{GaN}$ تابش کننده در بنفش دور

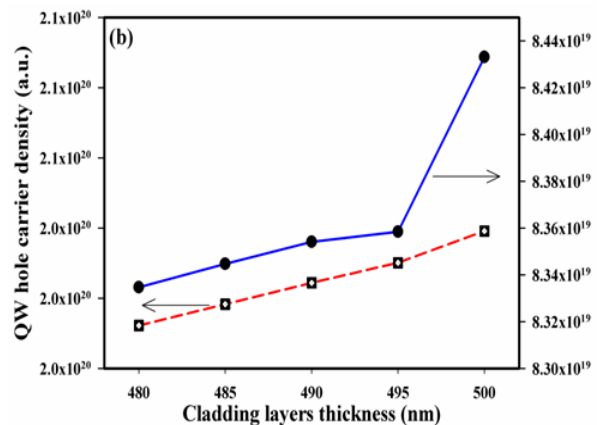
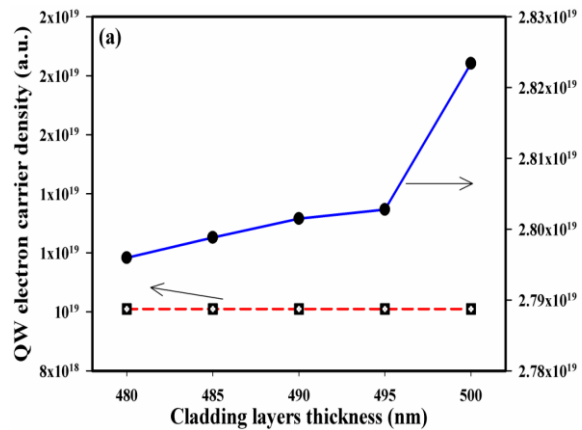
محدودسازی اپتیکی (OCF)، و بنابراین افزایش چگالی‌های حامل‌های الکترون و حفره در چاه‌های کوانتومی و متعاقب آن افزایش بازترکیب تابشی الکترون و حفره می‌شود. نتایج شبیه‌سازی این مطالعه در توافق خوبی با نتایج بدست آمده توسط گروه لی و همکاران و همچنین گروه ژنگ و همکاران هستند [۱۰، ۱۱].

قدردانی

حمایت دانشگاه شهید بهشتی تهران و دانشگاه فنی مهندسی بوئین زهرا مورد قدردانی قرار می‌گیرد.

مراجع

1. Ohta, H., S.P. DenBaars, and S. Nakamura, *Future of group-III nitride semiconductor green laser diodes [Invited]*. JOSA B, 2010. 27(11): p. B45-B49.
2. Amirhoseiny, M., Z. Hassan, and S. Ng, *Fabrication of InN based photodetector using porous silicon buffer layer*. Surface Engineering, 29(10)(2013)772-777.
3. Amirhoseiny, M., et al., *Effect of annealing temperature on IR-detectors based on InN nanostructures*, Vacuum, 106(2014)46-48.
4. Alahyarizadeh, G., et al., *Performance enhancement of deep violet indium gallium nitride double quantum well lasers using delta barrier close to electron blocking layer*, Journal of Nanophotonics, 6(1)(2012) 063514-1.
5. Alahyarizadeh, G., Z. Hassan, and F.K. Yam, *Improvement of the performance characteristics of deep violet InGaN multi-quantum-well laser diodes using step-graded electron blocking layers and a delta barrier*, Journal of Applied Physics, 113(2013) 123108
6. Amirhoseiny, M., et al., *InN Photoconductors on Different Orientations of Si Substrates*, International Journal of Modern Physics B, 26(31)(2012).
7. Chen, J.R., et al., *Numerical study of optical properties of InGaN multi-quantum-well laser diodes with polarization-matched AlInGaN barrier layers*, Applied Physics B: Lasers and Optics, 95(1)(2009)145-153.
8. Alahyarizadeh, G., et al., *Improvement of performance characteristics of deep violet*



شکل ۵: چگالی حامل‌های (الف) الکترون و (ب) حفره در چاه‌های کوانتومی لیزر دیودهای چاه کوانتومی دوتایی In_{0.082}Ga_{0.918}N/GaN تابش کننده در بنفش دور بعنوان تابعی از ضخامت لایه‌های کلدینگ AlGaIn.

نتیجه‌گیری

اثرات ضخامت و میزان آلومینیوم در لایه‌های کلدینگ AlGaIn بر روی کارایی لیزر دیود چاه کوانتومی دوتایی In_{0.082}Ga_{0.918}N/GaN تابش کننده در بنفش دور با استفاده از نرم افزار شبیه‌سازی ISE TCAD مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد با افزایش میزان آلومینیوم ترکیب AlGaIn لایه‌های کلدینگ، DQE و شیب کارایی افزایش و جریان آستانه کاهش پیدا می‌کند، در حالی که توان خروجی نیز کاهش پیدا می‌کند. کاهش ضخامت لایه‌های کلدینگ موجب افزایش فاکتور

InGaN DQW lasers using a strip DQW active region, *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 125(17)(2014) 4911-4915.

9. Dorsaz, J., et al., *AlGaIn-Free Blue III-Nitride Laser Diodes Grown on c-Plane GaN Substrates*, *Appl. Phys. Express*, 3(9)(2010) 092102.

10. Kelchner, K.M., et al., *Continuous-Wave Operation of Pure Blue AlGaIn-Cladding-Free Nonpolar InGaIn/GaN Laser Diodes*, *Appl. Phys. Express* 3(2010) 092103 (3 pages).

11. Lee, S.-N., et al., *Micro-crack-free high power blue-violet GaN-based laser diodes grown on maskless epitaxial lateral overgrown GaN/sapphire*, *Journal of Crystal Growth*, 298(0)(2007) 695-698.

12. Zhang, L.Q., et al., *Confinement factor and absorption loss of AlInGaIn based laser diodes emitting from ultraviolet to green*, *Journal of Applied Physics*, 105(2)(2009)023104-8.

13. Nakamura, S., et al., *Room-temperature continuous-wave operation of InGaIn multi-quantum-well structure laser diodes*. *Applied Physics Letters*, 69(26)(1996) 4056-4058.

14. Nakamura, S., et al., *Room-temperature continuous-wave operation of InGaIn multi-quantum-well-structure laser diodes with a long lifetime*, *Applied Physics Letters*, 70(7)(1997) 868-870.

15. Nakamura, S., et al., *Room-temperature continuous-wave operation of InGaIn multi-quantum-well structure laser diodes with a lifetime of 27 hours*. *Applied Physics Letters*, 70(11)(1997) 1417-1419.