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 : ۱-۲۵۷۱-۱۰-A

دیودهای نورگسیل ابرلیانی بر پایه نقاط کوانتومی نیتریدی

مژگان مهدی زاده رخی، اصغر عسگری

دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز

m.mahdizadeh@tabrizu.ac.ir

asgari@tabrizu.ac.ir

چکیده- نقاط کوانتومی نیتریدی به شکل هرم‌های سه بعدی سربریده و با توزیع ناهمگن در اندازه آنها به عنوان ناحیه فعال دیود نورگسیل ابرلیانی در نظر گرفته شده‌اند. حل عددی معادله شرودینگر سه بعدی به روش حجم محدود برای بدست آوردن ترازهای انرژی و توابع ویژه این ساختار انجام شده است. دیود ابرلیانی با شکل ساختاری موجبر برآمده خمیده و شیاردار در نظر گرفته شده است. اثر ناهمگنی اندازه نقاط کوانتومی در افزایش پهنای طیف گسیلی و در نتیجه افزایش توان خروجی دیود ابرلیانی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه- دیود ابرلیانی، توان خروجی، نقاط کوانتومی نیتریدی

SuperluminscentLightEmittingDiodesBasedOnGaNQuantumDots

MozhganMahdizadehRokhi, AsgharAsgari

Faculty of physics, university of Tabriz, Tabriz

m.mahdizadeh@tabrizu.ac.ir

asgari@tabrizu.ac.ir

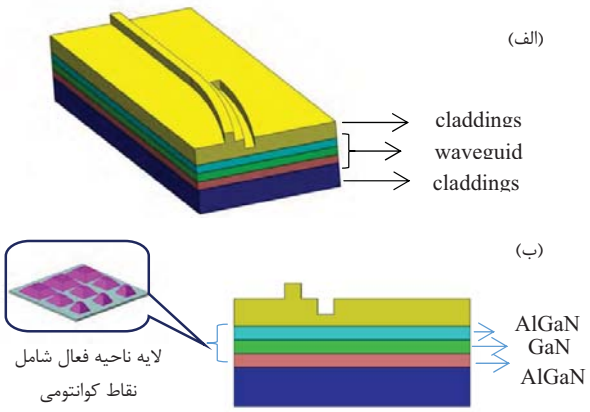
Abstract- Nitride quantum dots in the form of 3D truncated pyramids and with non-uniform size distribution of the QDs have been considered as active region of the superluminscent light emitting diodes. The 3DSchrodinger equation has been solved numerically by finite volume method,eigen values and eigen functions have been obtained for this structure. The structure of superluminscent diode has been considered as bent waveguide with embedded trench. The effect of size inhomogeneity in the width of emission spectrum and output power has been surveyed.

Keywords:Superluminscent light emitting diode, Output power, GaN quantum dots.

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

مقدمه

دیود نورگسیل ابرلیانی (SLED) یک چشمه پهن باند نوری می‌باشد که بر اساس عملکرد یک پیوندگاه p-n با بایاس مستقیم کار می‌کند. این قطعه به طور همزمان ویژگی طیف گسیلی پهن یک دیود نورگسیل (LED) و توان خروجی بالای یک دیود لیزری (LD) را دارا می‌باشد. در این نیمرسانا نور گسیلی به طور خودبه‌خودی ایجاد شده و توسط گسیل القایی در یک محیط بهره تقویت می‌شود. گستره وسیعی از کاربردها از قبیل سیستم‌های توموگرافی همدوس نوری (OCT) که در تشخیص‌های چشم‌پزشکی و قلب استفاده می‌شوند و نیز حسگرهای فیبر نوری و ژیروسکوپ‌های فیبر نوری را شامل می‌شود[۱و۲].یک آنسامبل از نقاط کوانتومی در شکل واقعی آنها به صورت هرم‌های سربریده به عنوان ناحیه فعال دیود ابرلیانی در نظر گرفته شده است. ساختار دیود ابرلیانی یک موجبر برآمده[۱] خمیده شیاردار در نظر گرفته شده است، که به منظور از بین بردن انعکاسهای داخل کاواک و کاهش اثرات اتلاف در قسمت خمیدگی می‌باشد. ساختار نمادین دیود ابرلیانی در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱: تصویر شماتیک از ساختار دیود ابرلیانی به صورت موجبر خمیده (الف) و نمایی از سطح مقطع (ب).

[۱] Ridge waveguide

تئوری

نقاط کوانتومی هرمی شکل GaN با ابعاد مختلف در هر ردیف، در مرکز یک ماتریس مکعب شکل از AlGaN واقع شده‌اند. با توجه به تقریب جرم مؤثر و در نظر گرفتن اختلاف جرم مؤثر GaN و AlGaN معادله شرودینگر تک ذره به صورت زیر بیان می‌شود:

(۱) _

که در این رابطه $\hbar$ ثابت پلانک، E ویژه مقدار انرژی، u(x,y,z) تابع موج مربوطه، m^* جرم مؤثر الکترون، V(x,y,z) پتانسیل مقید کننده می‌باشد که شامل پتانسیل پیزوالکتریک نیز می‌باشد. برای حل معادله شرودینگر با ناپیوستگی در جرم مؤثر شرط Ben Daniel- Duke در فصل مشترک اعمال شده است. با حل عددی معادله شرودینگر سه بعدی ویژه مقادیر و ویژه توابع وابسته بدست آمدند، که اثر توزیع اندازه غیر یکسان نقاط کوانتومی در هامیلتونی لحاظ شده است. ابعاد نقاط کوانتومی هرمی در نظر گرفته شده در این شبیه سازی عبارتست از: سه تا هرم اول با ابعاد ۱۴.۴ ×۱۵ ×۱۲.۴، سه تا هرم دوم ۷ × ۸× ۵ و سه هرم سوم ۳.۱× ۲.۹× ۳.۶ در مقیاس نانومتر می‌باشند. برای بررسی رفتار حامل‌ها در ناحیه فعال مدل اکسیتونی در نظر گرفته شده است و در این مدل تنها دو تا از پایین‌ترین ترازهای انرژی بدست آمده از حل معادله شرودینگر استفاده شده‌اند. از حل معادلات آهنگ موج رونده برای تراز پایه و اولین تراز برانگیخته، بهره مدی محاسبه شده است. یک مدل تئوری شامل مدل ساختاری موجبر برآمده همراه با مدل نقطه کوانتومی فعال برای حل عددی معادلات حاکم بر توان خروجی دیود ابرلیانی استفاده شده است که تغییرات توان

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

خروجی بر حسب جریان تزریق شده را بدست می‌دهد. در این مدل پارامترهای ساختاری و انتشاری موج و نیز ارتباط با بهره و حامل‌ها در نقاط کوانتومی گنجانده شده است. این مدل یک بعدی بر اساس حالت‌های انرژی نقطه کوانتومی، معادلات آهنگ وابسته به مکان برای چگالی حامل و معادله موج رونده برای انتشار موج نوری در هر دو جهت داخل کاواک برای کل گسیل خود به خودی تقویت شده در نظر گرفته شده است، که باید حل شود. معادله موج رونده در حالت پایا به صورت زیر می‌باشد:

$$\pm \qquad (۲)$$

$$(\qquad \gamma$$

که در این رابطه P^{+} و P^{-} به ترتیب توان نوری پیش‌رونده و پس‌رونده داخل کاواک می‌باشند. Γ ضریب محدود-کنندگی مد نوری، g بهره مادی، α_{int} اتلاف نوری داخل کاواک، R_{sp} چگالی طیفی گسیل خودبه خودی، γ ضریب جفت‌شدگی گسیل خودبه خودی، λ طول موج، W و d به ترتیب پهنا و ضخامت ناحیه فعال می‌باشند. معادله توان به واسطه همان حامل‌هایی که در معادله آهنگ حامل توصیف می‌شوند، کوپل می‌شود. در شرایط حالت پایا معادله آهنگ حامل با رابطه (۳) به صورت داده شده در زیر بیان می‌شود[۴]:

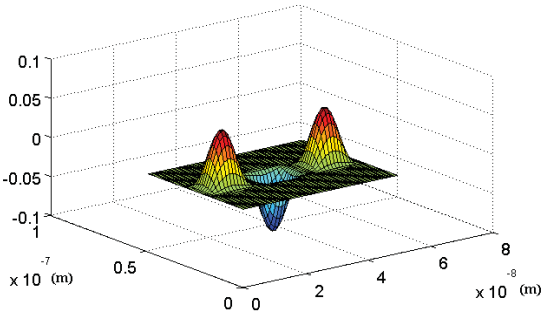
$$\frac{}{e} \qquad (۳)$$

$$[\qquad +$$

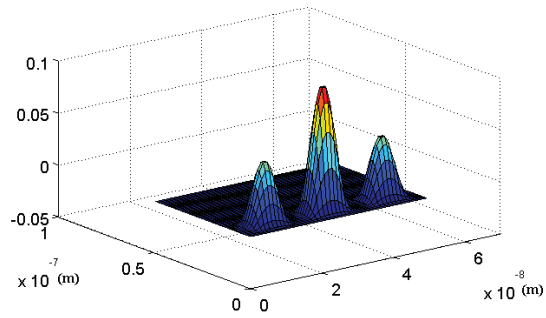
که I(z) جریان بایاس و dLW حجم ناحیه فعال می‌باشد. عبارت داخل براکت در سمت راست معادله (۳) مربوط به آهنگ بازترکیب می‌باشد. ‘a’ ضریب بازترکیب غیرتابشی، ‘b’ ضریب گسیل خودبه خودی و ‘c’ ضریب بازترکیب اوژه هستند. برای محاسبه توان خروجی دیود ابرلیانی بر حسب جریان تزریق شده، معادلات موج رونده (۲) و معادله آهنگ چگالی حامل (۳) باید همزمان حل شوند که به دلیل کوپل بودن این معادلات حل تحلیلی برای آن‌ها وجود ندارد و از رهیافت حل عددی استفاده شده است.

نتایج و بحث

تابع موج بدست آمده از حل معادله شرودینگر ۳ بعدی به روش حجم محدود[۳] برای حالت پایه و برانگیخته الکترون در شکل۲ و شکل ۳ به ترتیب نشان داده شده است.



شکل ۲: تابع موج الکترون برای حالت پایه

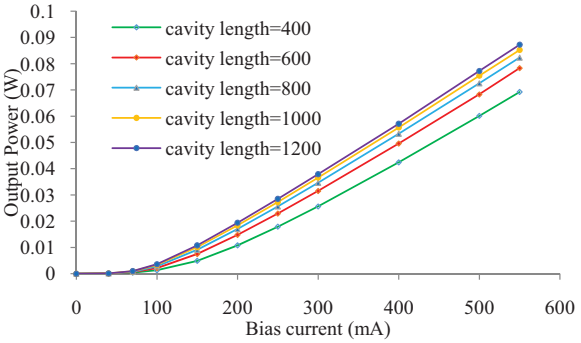


شکل ۳: تابع موج الکترون برای حالت برانگیخته

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

از مشاهدات مربوط به توابع موج دریافت می‌شود که ترازهای انرژی به اندازه نقاط کوانتومی وابسته هستند و با دور شدن نقاط کوانتومی از همدیگر، ترازهای انرژی و توابع موج حالت‌های پایین‌تر مانند توابع موج و ترازهای انرژی تک نقطه کوانتومی رفتار می‌کنند.

طیف توان خروجی دیود ابرلیانی به صورت تابعی از جریان ورودی برای طول‌های مختلف کاواک در شکل ۴ ترسیم شده است.



شکل ۴: نمودار توان خروجی به صورت تابعی از جریان اعمال شده برای طول‌های مختلف کاواک

همانطور که از نمودار دیده می‌شود مقدار جریان آستانه تقریبا ۶۰ میلی‌آمپر می‌باشد. ماکزیمم توان خروجی بدست آمده، بیش از ۰.۰۸ وات است که مقدار قابل توجهی می‌باشد. این روند افزایشی در توان خروجی را به مسیر طولانی تقویت کننده نور خروجی نسبت می‌دهیم که حاصل از طیف بهره یکنواخت در سراسر موجبر می‌باشد. با اضافه کردن اثر شیار به نتایج به منظور کاهش اتلاف در قسمت خمیده موجبر، مطابق با نتایج ارائه شده در[۵]توان خروجی چند برابر بیشتر از توان ساختار در حالت بدون شیار خواهد بود. که مقداری ارزنده و قابل قبول می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به طور خلاصه، در این مقاله یک دیود ابرلیانی با ساختار موجبر برآمده خمیده شیاردار بر اساس نقاط کوانتومی نیتریدی هرمی شکل ارائه شده است. آنسامبل نقاط کوانتومی با توزیع اندازه غیر یکسانبه منظور ایجاد اثر پهن شدگی ناهمگن و در نتیجه افزایش پهنای طیفی با هدف بهبود توان خروجی، در نظر گرفته شدند. بررسی اثر پارامتر ساختاری طول کاواک در توان خروجی نشان دهنده افزایش توان خروجی با افزایش طول کاواک در نتیجه افزایش مسیر تقویت کننده می‌باشد.

مرجع‌ها

[1] Anna Kafar, Szymon Stanczyk, Dario Schiavon, Tadeusz Suski, Piotr Perlin, “Review on Optimization and Current Status of (Al,In)GaNSuperluminescent Diodes”, ECS Journal of Solid State Science and Technology, Vol. 12, No.9, 015010, 2020.

[2] Purnima D. L. Greenwood, David T. D. Childs, Kristian M. Groom, Benjamin J. Stevens, Mark Hopkinson, Richard A. Hogg, “Tuning superluminescent diode characteristics for optical coherence tomography systems by utilizing a multicontact device incorporating wavelength-modulated quantum dots”, IEEE Journal of selected topics in quantum electronics, Vol. 15, NO. 3, pp. 757- 763, 2009.

[3] W. Wang, T-Min Hwang, J-Chuan Jang, “A second-order finite volume scheme for three dimensional truncated pyramidal quantum dot”, Computer Physics Communications, Vol. 174, No. 5,pp. 371–385, 2006.

[4] .Michael J. Connelly, “Wideband Semiconductor Optical Amplifier Steady-State Numerical Model”, IEEE Journal of selected topics in quantum electronics, VOL. 37, NO. 3, pp. 439-447, 2001.

[5] Young ChaeYoo, Lee-Hyun Kim, Ki Han, “InAs quantum dot super-luminescent diodes with trench structure”, J Mater Sci: Mater Electron, Vol. 21, No. 5, pp. 445-449, 2010.

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