

طراحی و شبیه سازی آشکار ساز نوری فرابنفش بلند با ساختارهای نانو کریستالی کوانتومی GaN/AlGaN متفاوت

اصغر ابراهیمی^۱

حسین رعنائی^۲، پیام الیاسی^۳، احمد سلمان اغلی^۴

چکیده

در این مقاله، نانو کریستال نقطه کوانتومی اصلاح شده MQD GaN/AlGaN و نانو کریستال ناهمگون نقطه کوانتومی-چاه کوانتومی QDQW GaN/AlGaN/GaN/AlGaN را با روش آنالیز عددی المان محدود مورد بررسی قرار داده ایم. شبیه سازیها برای تراز $l=0$ و $m=0, n=1$ که اعداد کوانتومی اصلی، اوربیتال و تراز مغناطیسی هستند، انجام شده اند. اثرات تغییر لایه های شعاعی همچون شعاع کل، شعاع هسته GaN، شعاع پوسته و شعاع سدهای AlGaN بر روی طول موج و ضریب گسیل نوری مورد مطالعه قرار گرفته اند. پنجره طول موج ۳۳۰ تا ۴۱۰ نانومتر که توسط ایندو ساختار آشکار سازی شده، امکان آشکار سازی نور لیزرهای حالت جامد فرابنفش بلند (که معمولاً در طول موج های ۳۷۵، ۳۵۵ و ۳۴۹، ۳۵۱) را فراهم می سازد. همچنین ایندو ساختار، دارای کاربردهای فراوانی در تجهیزات پزشکی، ارتباطات راه دور و سیستم های پردازشی (به عنوان ذخیره کننده های نوری) می باشند.

کلید واژه

نقطه کوانتومی اصلاح شده (MQD)، نقطه کوانتومی، چاه کوانتومی (QDQW)، فرابنفش بلند، روش المان محدود (FEM)، شبیه سازی

۱- استادیار مجتمع هوا فضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۲- استادیار دانشکده فیزیک، دانشگاه خلیج فارس

۳- کارشناس ارشد برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر payamelyasi@gmail.com

۴- کارشناس ارشد برق، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۱۰

مقدمه

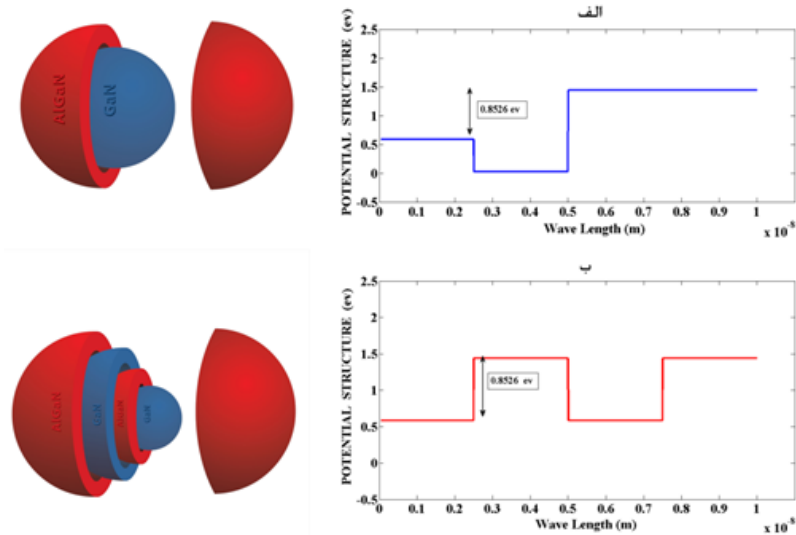
تحقیق توصیف شده در این مقاله بر روی بررسی صفات اختصاصی الکتریکی و خواص نوری نانوکریستال های نیمه هادی MQD GaN/AlGaIn و QDQW GaN/AlGaIn/GaN/AlGaIn، تمرکز دارد. این صفات به اندازه و شکل این ساختارها وابسته هستند [۱]-[۳].

یک جامد وقتی در ۳ بعد فضایی به مقیاس های طولی قابل مقایسه یا کوچکتر از طول موج دوبروی الکترون محدود می شود، در اینصورت ترازهای انرژی الکترون گسسته خواهند شد. در نتیجه این گسسته سازی انرژی ها و در حالت ایده آل، شکل دلنا گونه چگالی حالات انرژی چنین ساختارهایی خواص الکترونیکی و نوری منحصر به فردی از خود نشان می دهند که چنین خواصی در ساختارهای جامد محصور شده در یک بعد (یعنی چاه های کوانتومی) یا محصور شده در دو بعد (سیم های کوانتومی) یافت نمی شود. این ساختارها نقاط کوانتومی نامیده می شوند و کلاس خاصی از نیمه هادیها محسوب می گردند [۴].

نقاط کوانتومی به عنوان کریستال های نیمه هادی در مقیاس نانومتر، از عناصر گروه های II-VI یا III-V تشکیل می شوند [۵] و به عنوان ذراتی با ابعاد فیزیکی کوچکتر از شعاع بوهر اکسایتون مطرح هستند که دارای کاربردهای متنوعی همچون کاربرد های زیستی [۶]-[۱۰] و ارتباطی [۱۱]-[۱۴] می باشند. خواص مواد نانو بوسیله کنترل اندازه فیزیکی آنها قابل تنظیم می باشد. به علت اثر محدودیت کوانتومی، خواص فیزیکی نقطه کوانتومی به شدت به اندازه کریستال وابسته است [۱۳] و [۱۴]. خاصیت بسیار برجسته نقاط کوانتومی نیمه هادی، توانایی آنها به تغییر خواص نوری از طریق کنترل اندازه آنها می باشد. زمانی که اندازه کریستال نیمه هادی حجیم کاهش می یابد، نرخ مساحت سطح به حجم افزایش یافته و ساختار سطح به شدت روی خواص نوری و الکترونیکی تاثیر می گذارد. بعلاوه به علت محدودیت های فضایی، خواص الکترونیکی کریستال رفتار ساختار حجیم را متوقف می کند. این رفتار، یک اثر از تاثیرات کوانتومی است. هنگامیکه به علت جذب نور الکترون از باند ظرفیت به باند هدایت حرکت می کند، اثرات میزان سازی اندازه نقاط کوانتومی روی طول موج گسیل و انرژی در نیمه هادی به خوبی قابل مشاهده می باشد. انرژی مورد نیاز برای برانگیختن الکترون، توسط انرژی گاف باند نشان داده می شود. حرکت الکترون از باند ظرفیت به باند هدایت باعث تولید یک حفره شده و زوج الکترون-حفره، مرز الکترواستاتیکی ای بوجود می آورد که یک اکسایتون را ساخته و توسط فاصله ای که تحت عنوان شعاع بوهر شناخته می شود، تعریف می شوند [۱۵]. زمانی که الکترون بر انگیخته انرژی اضافی خود را در باند هدایت از دست می دهد، به باند ظرفیت بازگشته و دوباره با حفره پدیدار می شود بطوریکه یک اکسایتون در یک فضای محبوس در ناحیه ای کوچکتر از شعاع بوهر شکل می گیرد. در این حالت با توجه به اینکه انرژی بیشتری جهت محبوس سازی اکسایتون لازم است، به گاف باند نقطه کوانتومی افزوده می شود.

فیزیک نقطه کوانتومی یکی از حوزه های فعال تحقیقاتی در زمینه نیمه هادی های با ابعاد کم می باشد [۱۶]-[۱۸]. نقاط کوانتومی، نیمه هادی هایی با محدودیت کوانتومی در ۳ بعد هستند که ترازهای الکترونیکی گسسته ای را تامین می کنند که این ترازها می توانند برای بالا بردن خواص نوری مناسب باشند. دو کلاس مهم از نقاط کوانتومی، MQD [۱۱] و [۱۹] و QDQW [۱۲]، [۱۸] و [۲۰]-[۲۳] نامیده می شوند. در این مقاله، نشر خودبخودی ساختارهای MQD و QDQW در مواد GaN/AlGaIn

هم مقایسه شده است. ساختارهای MQD و QDQW به صورت طرحواره در شکل ۱ (الف و ب) نشان داده شده اند.



شکل ۱. الف) نانو ساختار MQD (ب) نانو ساختار QDQW بر حسب شعاع

برای آنالیز، معادله پواسن-شرودینگر، بوسیله روش المان محدود (FEM) حل شده است. روش FEM، رویه ای از روش های عددی است که برای راه حل های عددی تقریبی مبتنی بر معادلات دیفرانسیل جزئی، مورد استفاده قرار می گیرد و می تواند شرایط بی قاعده را در روشی مشابه با شرایط با قاعده بکار ببرد. در ساختارهای معرفی شده، ما به بررسی خواص الکترونیکی همچون حالت انرژی، اکسایتون، توابع موج، ترازهای شبه فرمی و خواص نوری همچون ضریب گسیل پرداخته ایم.

محاسبات ریاضی و اصل عملکرد

در این بخش، مدل ریاضی و محاسباتی برای توصیف خواص الکترونیکی و نوری نانو ساختارهای MQD و QDQW ارائه شده است. از معادله جرم موثر برای محاسبه مقادیر ویژه، توابع موج و کمیت های وابسته استفاده شده است. برای نقاط کوانتومی، معادله شرودینگر و همیلتونین به صورت زیر می باشد.

$$H\psi = E\psi \quad (1)$$

$$H = \frac{-\hbar^2}{(2 \times m^*(r))} \nabla^2 - \frac{e^2}{\epsilon(r) \times r} + V(r) \quad (2)$$

به طوری که $m^*(r)$ و $\epsilon(r)$ به ترتیب جرم موثر الکترونیکی و ضریب دی الکتریک مواد MQD و QDQW می باشند [۹]. در اصل، تعامل میان الکترونها و حفره ها در MQD و QDQW باید حاوی

الکترونها و حفره های صفحه ای، جاذبه کولنی و تعامل با بار قطبش در سطح دی الکتریک باشد. از اینرو برای سادگی، ما از پتانسیل کولنی به همراه میانگین ضریب دی الکتریک استفاده کردیم. پتانسیل حبس ($V(r)$) و جرم موثر ($m^*(r)$) در این عملیات، برای تقارن کروی در نظر گرفته شده اند.

$$V(r)_{QD} = \begin{cases} V_0(r) & 0 < r < R_C \\ V_1(r) & R_C < r < R_{C1} \end{cases} \quad (۳)$$

$$V(r)_{QDQW} = \begin{cases} V_0(r) & 0 < r < R_C \\ V_1(r) & R_C < r < R_{C1} \\ V_2(r) & R_{C1} < r < R_{C2} \\ V_3(r) & R_{C2} < r < R_{C3} \end{cases} \quad (۴)$$

$$m^*(r)_{QD} = \begin{cases} m_{GaN} & 0 < r < R_C \\ m_{AlGaN} & R_C < r < R_{C1} \end{cases} \quad (۵)$$

$$m^*(r)_{QDQW} = \begin{cases} m_{GaN} & 0 < r < R_C \\ m_{AlGaN} & R_C < r < R_{C1} \\ m_{GaN} & R_{C1} < r < R_{C2} \\ m_{AlGaN} & R_{C2} < r < R_{C3} \end{cases} \quad (۶)$$

به طوریکه R_C ، R_{C1} ، R_{C2} ، $V_0(r)$ ، $V_1(r)$ ، $V_2(r)$ ، $V_3(r)$ ، m_{GaN} و m_{AlGaN} به ترتیب شعاع هسته GaAs، شعاع سد AlGaN، شعاع پوسته GaN، شعاع لایه سدی دوم AlGaN، پتانسیل های متناظر و جرم موثر برای هر ناحیه از MQD و QDQW می باشند. برای ترازهای ویژه همیلتونین، تابع موج به این فرم نوشته می شود:

$$\psi(r, \theta, \varphi) = R(r) \times Y_{lm}(\theta, \varphi) \quad (۷)$$

به طوریکه $R(r)$ و $Y_{lm}(\theta, \varphi)$ به ترتیب شعاع و توابع موج هارمونیک کروی می باشند. با دست آورد فوق، معادله ویژه همیلتونین به اینصورت می باشد:

$$H(R(r) \times Y_{lm}(\theta, \varphi)) = E(n, l) \times (R(r) \times Y_{lm}(\theta, \varphi)) \quad (۸)$$

معادله شرودینگر در مختصات کروی که بوسیله $R(r)$ ارضا شده، به اینصورت نوشته می شود:

$$r^2 \frac{d^2 R(r)}{dr^2} + 2r \frac{dR(r)}{dr} + [(E(n, l) - V(r))Ar^2 + Br - l(l+1)] \times R(r) = 0 \quad (۹)$$

به طوریکه $A = 2m^* / \hbar^2$ و $B = 2e^2 / \epsilon(r)$ بوده و n ، e ، l و E به ترتیب مقادیر ویژه انرژی، بار الکترون، عدد کوانتومی اصلی و عدد کوانتومی زاویه ای اوربیتال می باشند. باید حل تابع موج وابسته، شرط پیوستگی را در تمام مرزهای لایه های کریستال ناهمگون معرفی شده در معادلات ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ارضا کند. نظر به اینکه به ترتیب یک و سه ناپیوستگی در ساختارهای MQD و QDQW وجود دارد، به منظور

تعیین انرژی های ویژه، چنین شرایط مرزی قابل استفاده می باشد:

For $r = R_C$:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{0 < r < R_C}(R_C) = R_{R_C < r < R_{C1}}(R_C) \quad \text{and} \\ \left. \frac{1}{m_{GaN}^*} \frac{dR_{0 < r < R_C}}{dr} \right|_{r=R_C} = \left. \frac{1}{m_{ALGaN}^*} \frac{dR_{R_C < r < R_{C1}}}{dr} \right|_{r=R_C} \end{array} \right. \quad (10)$$

For $r = R_{C1}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{R_C < r < R_{C1}}(R_{C1}) = R_{R_{C1} < r < R_{C2}}(R_{C1}) \quad \text{and} \\ \left. \frac{1}{m_{ALGaN}^*} \frac{dR_{R_C < r < R_{C1}}}{dr} \right|_{r=R_{C1}} = \left. \frac{1}{m_{GaN}^*} \frac{dR_{R_{C1} < r < R_{C2}}}{dr} \right|_{r=R_{C1}} \end{array} \right. \quad (11)$$

For $r = R_{C2}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{R_{C1} < r < R_{C2}}(R_{C2}) = R_{R_{C2} < r < R_{C3}}(R_{C2}) \quad \text{and} \\ \left. \frac{1}{m_{GaN}^*} \frac{dR_{R_{C1} < r < R_{C2}}}{dr} \right|_{r=R_{C2}} = \left. \frac{1}{m_{ALGaN}^*} \frac{dR_{R_{C2} < r < R_{C3}}}{dr} \right|_{r=R_{C2}} \end{array} \right. \quad (12)$$

برای تعیین مقادیر ویژه روش Galerkin برای مسائل FEM، ما به حالتی از یک مقطع گرد یکنواخت رسیدگی می کنیم. معادلات دیفرانسیل و شرایط مرزی مورد نیاز برای تعیین وجوه شکل و فرکانس های طبیعی، در معادلات ۹ و ۱۰ برای MQD و معادلات ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ برای QDQW نشان داده شده اند. برای بکارگیری روش Galerkin، ما معادله ۹ را در تابع تست ضرب کرده و قسمت قسمت از آن انتگرال می گیریم.

$$\int_0^l \left\{ (r^2 \frac{d^2 R(r)}{dr^2} + 2r \frac{dR(r)}{dr}) + [(E(n, l) - V(r))Ar^2 + Br - l(l+1)]R(r) \right\} \times \phi dr = 0 \quad (13)$$

از اینرو، با توجه به شرایط اولیه و مرزی، ما شکل اصلاح شده روش Galerkin را بدست می آوریم.

$$-\int_0^l r^2 \frac{d\phi}{dr} \cdot \frac{dR(r)}{dr} dr - \int_0^l 2rR(r) \frac{d\phi}{dr} dr + \int_0^l [(E - V(r))Ar^2 + Br - l(l+1)]R(r)\phi dr = 0 \quad (14)$$

در این معادله، l طول المان FEM می باشد. قدم بعدی، اجرای تقریب FEM با استفاده از مجموعه ای از توابع ابتدایی Ni می باشد.

$$\psi = \sum_{i=1} \psi_i N_i = N \bar{\psi}, \quad \phi = \sum_{i=1} \phi_i N_i = N \bar{\phi}, \quad R = N \bar{R} \quad (15)$$

به طوریکه عملگر پایه N ، در یک بعد، به اینصورت تعیین می شود:

$$N = [N_1, N_2] \rightarrow N_1 = \frac{1-\xi}{2}, \quad N_2 = \frac{1+\xi}{2} \quad (16)$$

سپس، به سادگی تغییر شکل مختصاتی به اینصورت تعیین می شود:

$$r = \sum_{i=1} r_i N_i \quad (17)$$

بعلاوه، ما می توانیم تبدیلات مشتق را به صورت زیر بنویسیم:

$$\frac{dr}{d\xi} = \frac{r_2 - r_1}{\xi_2 - \xi_1} = \frac{r_2 - r_1}{2} = \frac{l_e}{2} \quad \rightarrow r = \frac{l_e}{2} \xi \quad (18)$$

$$\frac{d\psi}{d\xi} = \frac{d\psi}{dr} \cdot \frac{dr}{d\xi} = \frac{l_e}{2} \cdot \frac{d\psi}{dr} \quad (19)$$

$$\frac{d}{dr} = \frac{2}{l_e} \cdot \frac{d}{d\xi} \quad (20)$$

برای تبدیل به فرم ماتریسی می توانیم بنویسیم:

$$\frac{d\psi}{d\xi} = \frac{1}{2} \cdot [-1 \quad 1] \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\frac{d}{d\xi} = \frac{1}{2} \cdot [-1 \quad 1] \quad (22)$$

با ترکیب معادلات ۲۰، ۲۱ و ۲۲ خواهیم داشت:

$$\frac{d}{dr} = \frac{1}{l_e} \times [-1 \quad 1] = C \quad (23)$$

اپراتور C، تقریب FEM مشتق تابع را در اختیار قرار می دهد.

$$\frac{d\psi}{dr} = \frac{1}{l_e} \times [-1 \quad 1] \bar{\psi} = C \bar{\psi} \quad (24)$$

$$\frac{dR}{dr} = C \bar{R} \quad (25)$$

به طوریکه، بردار تقریب FE تابع پیوسته می باشد. حال، با استفاده از معادلات ۱۵، ۱۸، ۲۴ و ۲۵ در معادله ۱۴ خواهیم داشت:

$$-\int_{-1}^{+1} \bar{\phi} \left(\frac{l_e}{2} \xi \right)^2 (\bar{C} \quad \bar{C}^T) \bar{R} \frac{l_e}{2} d\xi - \int_{-1}^{+1} \bar{\phi} 2 \left(\frac{l_e}{2} \right) (\bar{C} \bar{N}^T) \bar{R} \frac{l_e}{2} d\xi \quad (26)$$

$$+ \int_{-1}^{+1} \bar{\phi} [(E - \nu(r)) A \left(\frac{l_e}{2} \xi \right)^2 + B \left(\frac{l_e}{2} \xi \right) - l(l+1)(\bar{N} \bar{N}^T)] \bar{R} \frac{l_e}{2} d\xi = 0$$

$$\rightarrow \int_{-1}^{+1} \bar{\phi} \underbrace{[-\left\{ \left(\frac{l_e}{2} \xi \right)^2 (\bar{C} \bar{C}^T) \frac{l_e}{2} \right\}}_{A_1} - \underbrace{\left\{ 2 \left(\frac{l_e}{2} \xi \right) (\bar{C} \bar{N}^T) \frac{l_e}{2} \right\}}_{A_2} + \underbrace{\left\{ E A \left(\frac{l_e}{2} \xi \right)^2 \bar{N} \bar{N}^T \frac{l_e}{2} \right\}}_B \quad (27)$$

$$+ \underbrace{\left\{ (-\nu(r) A \left(\frac{l_e}{2} \xi \right)^2 + B \left(\frac{l_e}{2} \xi \right) - l(l+1) \bar{N} \bar{N}^T \frac{l_e}{2} \right\}}_{A_3} \bar{R} d\xi = 0$$

$$\rightarrow \int_{-1}^{+1} \bar{\phi} \{A_1(\xi) + A_2(\xi) + ED(\xi) + A_3(\xi)\} \bar{Rd} \xi = 0 \quad (28)$$

تقریب FEM معادله شرودینگر را بدین صورت بدست می آوریم:

$$\sum_{i=1}^{N_{element}} \{[A] - \lambda[D]\} \bar{\psi} = 0 \quad (29)$$

با استفاده از شرایط مرزی یک پتانسیل معین، درمی یابیم که تقریب های گره ای در لبه ها، با توصیف $\Psi = r \times \psi$ صفر هستند: $\Psi_1 = r \times \psi_1|_{r=0} = 0$ و $\Psi_{n+1} = r \times \psi_{n+1} = 0$ (به طوریکه N تعداد المان ها می باشد). از اینرو با فراهم آوری N المان، خواهیم داشت:

$$\left\{ \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} - \lambda \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nn} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \Psi_1 \\ \vdots \\ \Psi_N \end{bmatrix} \right\} = 0 \quad (30)$$

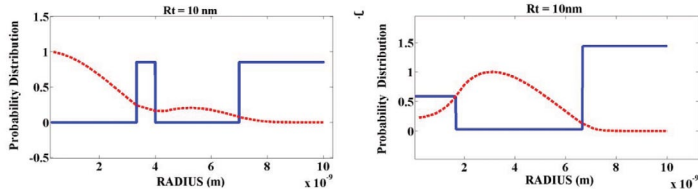
به طوریکه λ مقدار ویژه تقریب FE می باشد. از اینرو، با ساخت ماتریس ها در معادلات ۲۹ و ۳۰ برای N المان شبکه، میتوان با حل معادله ۳۰ به مقادیر ویژه و تراز های ویژه دست یافت. قابل توجه است که روش FE می تواند در آنالیز نقاط کوانتومی کریستال ناهمگون با اندازه بسیار کوچک مورد استفاده قرار گیرد. پارامترهای مواد در ساختارهای MQD و QDQW در جدول ۱ خلاصه شده اند [۱۹]:

Al _x Ga _{1-x} N parameters	Value
$m_e^*(M_0)$	0.252x+0.228
Barrier density of carriers (N _b) (m ⁻³)	10 ²⁴
Energy band gap (ev)	6.13x+3.42(1-x)-x(1-x)
Relative dielectric constant $\epsilon(r)$	8.5x+10.4(1-x)

جدول ۱. پارامترهای Al_x Ga_{1-x} N

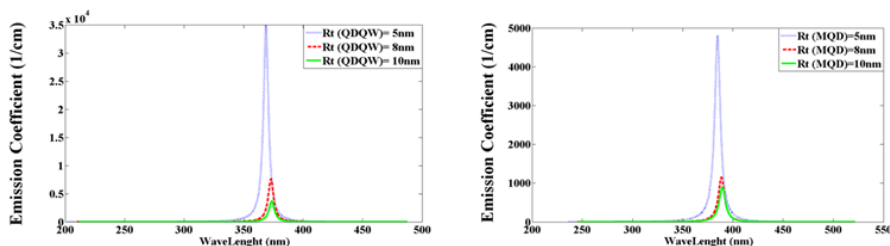
نتایج

در این بخش، نتایج شبیه سازی شده که دربردارنده خواص نوری و الکترونیکی هستند ارائه شده و مورد بحث قرار گرفته اند. شکل های ۲ (الف و ب)، به ترتیب احتمال یافتن حامل در لایه های ساختار MQD و QDQW را نشان می دهند. مشاهده می کنیم با تغییر شعاع هسته GaN، شعاع پوسته و سد AlGaN، تمرکز حامل می تواند دارای نمایه های متفاوتی در هر لایه باشد. این نتایج می توانند شدیداً بر روی کارایی کوانتومی و ضریب گسیل تاثیر گذارند.



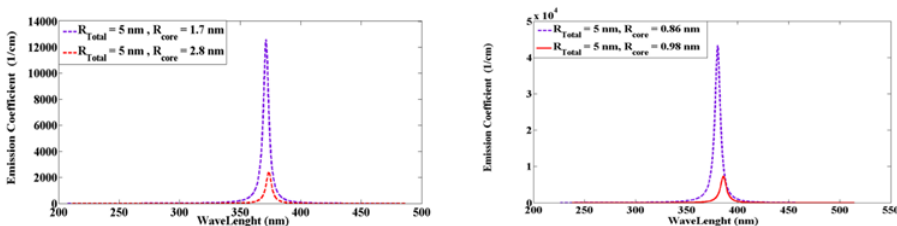
شکل ۲. منحنی ضخیم الف) پتانسیل MQD ب) پتانسیل QDQW. منحنی نقطه چین: تمرکز حامل نرمالیزه شده الکترون ($m = 0$ و $n = 1, l = 0$)

شکل ۳ نشان می دهد که شعاع کل و نوع ساختار MQD یا QDQW به طور قابل توجهی بر روی ضریب گسیل و بازدهی کوانتومی تاثیر می گذارد. نشان داده شده است که قله ضریب گسیل، با افزایش اندازه کل نقطه کوانتومی کاهش می یابد. این امر به علت کاهش اثر محدودیت نقطه کوانتومی می باشد. بعلاوه، به علت فشردگی سطوح انرژی به پائین و کاهش تفاضل میان ترازها، یک شیفت به سمت قرمز رخ می دهد. برای مقایسه میان دو ساختار، فرض کرده ایم که شعاع کل هر دو مورد، ۵، ۸ و ۱۰ نانومتر باشد. از این گذشته، قله های ضریب گسیل در MQD در طول موج های بلندتر رخ می دهند. این امر به سبب آنست که تفاضل میان ترازها در MQD پایینتر از QDQW است.



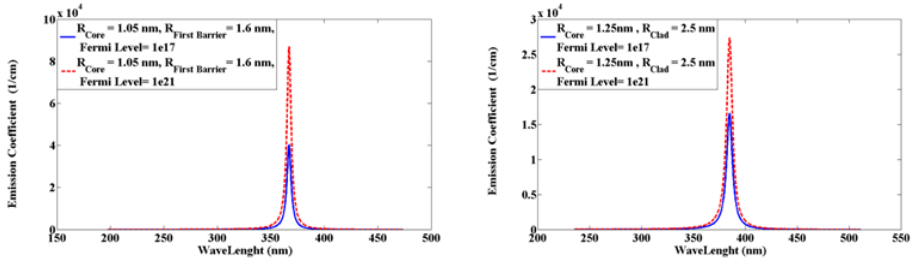
شکل ۳. ضریب گسیل (cm/۱) بر حسب طول موج (nm) با شعاع کل متفاوت. شکل سمت راست، نقطه کوانتومی اصلاح شده. شکل سمت چپ، نقطه کوانتومی - چاه کوانتومی

شکل ۴ نشان می دهد که قله ضریب گسیل، با افزایش شعاع هسته کاهش می یابد. همچنین به علت فشردگی سطوح انرژی به سمت پایین و کاهش تفاضل میان ترازها، یک شیفت به سمت قرمز رخ می دهد. قابل توجه است با توجه به اینکه تفاضل میان ترازها در MQD کمتر از QDQW می باشد، می توانیم مشاهده کنیم قله های ضریب گسیل در MQD در طول موج بلندتر رخ می دهند. افزایش شعاع هسته، بر روی تمرکز حامل تاثیر می گذارد. به عبارت دیگر، با کاهش اندازه سد AlGaIn، تمرکز حامل الکترون در ناحیه هسته کاهش یافته و حامل ها به سمت ناحیه پوسته GaIn مهاجرت می کنند و این عامل باعث کاهش بازدهی کوانتومی و ضریب گسیل می شود.



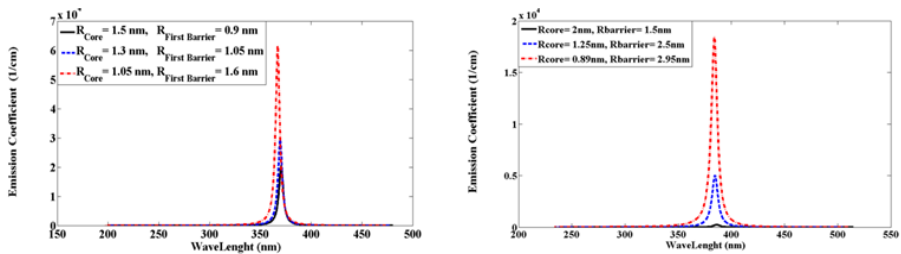
شکل ۴. ضریب گسیل (cm/۱) بر حسب طول موج (nm) با شعاع هسته متفاوت. شکل سمت راست، نقطه کوانتومی اصلاح شده. شکل سمت چپ، نقطه کوانتومی - چاه کوانتومی

تاثیر تراز فرمی بر روی قله ضریب گسیل، در شکل ۵ به نمایش در آمده است. نشان داده شده است به علت کاهش تابع کار نیمه هادی با افزایش تراز فرمی از ۱۰۱۷ به ۱۰۲۱، قله ضریب گسیل افزایش می یابد.



شکل ۵. ضریب گسیل (cm/۱) بر حسب طول موج (nm) با تراز فرمی متفاوت. شکل سمت راست، نقطه کوانتومی اصلاح شده. شکل سمت چپ، نقطه کوانتومی - چاه کوانتومی

در نهایت در شکل ۶، تاثیر افزایش شعاع سد برای MQD و سد اول برای QDQW بر روی ضریب گسیل و شیفت طول موج گسیل، مورد ارزیابی قرار گرفته است. ما مشخص کردیم با افزایش شعاع سد، به علت اثر محبوس سازی قوی QD، ضریب گسیل افزایش می یابد. همچنین، این دگرگونی در شعاع سد باعث شیفت به سمت آبی در طول موج گسیل می شود که دلیل این امر هل دادن تراز های انرژی به سمت بالا و افزایش تفاضل میان تراز ها می باشد. از اینرو می توانیم استنباط کنیم که شعاع سد AlGaIn، یک کلید بسیار مهم برای کنترل مهاجرت تمرکز حامل، ضریب گسیل و شیفت طول موج گسیل می باشد.



شکل ۶. ضریب گسیل (cm/۱) بر حسب طول موج (nm) با شعاع های سد متفاوت. شکل سمت راست، نقطه کوانتومی اصلاح شده. شکل سمت چپ، نقطه کوانتومی - چاه کوانتومی

نتیجه

ما در این مقاله، خواص نوری و الکترونیکی نانو کریستال های ناهمگون GaN/ و GaN/AlGaIn MQD و GaN/AlGaIn QDQW را به ترتیب در چند لایه های هسته/سد و هسته/سد/پوسته/سد، مورد بررسی قرار دادیم. با تغییر در شعاع هسته، شعاع سد و شعاع کل ایندو ساختار، می توان بازه طول موج ۳۵۰ تا ۴۱۰ نانومتر را توسط MQD و بازه طول موج ۳۳۰ تا ۳۹۰ نانومتر را توسط QDQW آشکارسازی نمود. این بازه از طول موج برای کاربردهای مخابراتی، تولید لیزرهای فرابنفش بلند نقطه کوانتومی و آشکارسازی فرابنفش بلند نقطه کوانتومی در تجهیزات پزشکی و ماهواره ای مفید می باشد. علاوه می توان با افزایش شعاع هسته و شعاع کل، و همچنین کاهش شعاع چاه و شعاع سدهای اول و دوم در QDQW، امکان شیفت طول موج گسیل به سمت قرمز را فراهم نمود. این خواص مهم در این ساختارها، به ما اجازه تمرکز بر روی بازه کوچکی از طول موج فرابنفش بلند را می دهند.

- [1] V. Biju et al., “Semiconductor quantum dots and metal nanoparticles: syntheses, optical properties, and biological applications”. Springer J. Anal Bioanal Chem. 2008, pp. 2469–2495.
- [2] A.M. Smith et al., “Engineering luminescent quantum dots for in vivo molecular and cellular imaging”. Springer J. Ann Biomed Eng. 2006, pp. 3–14.
- [3] E. E. Lees et al., “Experimental determination of quantum dot size distributions, ligand packing densities, and bioconjugation using analytical ultracentrifugation”. Nano Letter. 2008, pp. 2883–2890.
- [4] T. Steiner., “Semiconductor Nanostructures for Optoelectronic Applications”, 1st ed. Cambridge, 2004, pp. 45109-.
- [5] S.V. Kershaw et al., “Development of IR-emitting colloidal II–VI quantum-dot materials”. IEEE J. Sel Top Quantum Electron. 2000, pp. 534–543.
- [6] Y. Guo et al., “In vivo imaging and drug storage by quantum-dot-conjugated carbon nanotubes”. Elsevier J. 2008, pp. 1–9.
- [7] I. L. Medintzi et al., “Quantum dot bioconjugates for imaging, labelling and sensing”. Elsevier J. 2005, pp. 435–446.
- [8] I. L. Medintzi et al., “Water-soluble quantum dots for biomedical applications”. Elsevier J. Biochemical Biophysics Research Commun. 2006, pp. 781–786.
- [9] A. SalmanOgli and A. Rostami., “Investigation of electronic and optical properties of CdSe/ZnS/CdSe/ZnS quantum dot-quantum well heteronanocrystal”. Springer J. Journal of Nanoparticle Research. 2010, pp. 11971205-.
- [10] X. Yu et al., “Immunofluorescence detection with quantum dot bioconjugates for hepatoma in vivo”. Elsevier J. Biomedical Optoelectronic, 2007, pp. 14008–14013.
- [11] A. Rostami et al., “Defect induced enhancement of absorption coefficient and electroabsorption properties in GaN/AlGaN centered defect quantum box nanocrystal”. Elsevier J. Physica B. 2008, pp. 2789–2796.
- [12] A. Rostami and A. SalmanOgli., “Investigation of light amplification in Si nanocrystal Er doped fiber amplifier”. Elsevier J. 2008, pp. 27–51.
- [13] A. SalmanOgli and A. Rostami., “Study of effects of inhomogeneous

- distribution of cooperative up-conversion coefficient on the optical amplification process in the Si–Nc and Er doped optical fiber”. Elsevier J. Prog Electromagn Res. 2008, pp. 139–155.
- [14] A. SalmanOgli and A. Rostami., “Chromatics dispersion behavior of Si–Nc–Er doped optical fiber”. IEEE J. pp. 4530–4535.
- [15] T. Takagahara and K. Takeda., “Theory of quantum confinement effect on excitons in quantum dots of indirect-gap materials”. Elsevier J. Physica B. 1992, pp. 15578–15581.
- [16] A. M. Alcalde and G. E. Marques., “Electron-optical-phonon scattering rates in spherical CdSe quantum dots in an external field”. Elsevier J. Physica B. 2002, pp. 113301–113304.
- [17] S. A. McCarthy et al. “Electronic structure calculation for N-electron quantum dots”. Comput Phys Commun. 2001, pp. 175–204.
- [18] S. M. Reimann and M. Manninen., “Electronics structure of quantum dots”. Rev Mod Phys. 2002, pp. 1284–1336
- [19] H. Rasooli Saghai et al., “Ultra-high detectivity room temperature THZ-IR photodetector based on resonant tunneling spherical centered defect quantum dot (RT-SCDQD)”. Elsevier J. Optics Communications. 2009, pp. 3499–3508
- [20] R. Kostic and D. Stojanovic., “Multi-color emission in quantum dot-quantum well semiconductor heteronanocrystals”. In: Proceedings of the international school and conference on photonics. PHOTONICA09. 2009, pp. 598–602.
- [21] S. Nizamoglu and H. V. Demir., “Onion-like (CdSe) ZnS/CdSe/ZnS quantum-dot-quantum-well heteronanocrystals for investigation of multi-color emission”. Elsevier J. Optoelectronic. 2008, pp. 3515–3526.
- [22] A. Rostami and H. Rasooli Saghai., “A novel proposal for ultra-high optical nonlinearity in GaN/AlGaIn spherical centered defect quantum dot”. Elsevier. Microelectronic J. 2007, pp. 342–351.
- [23] S. Seidl et al. “Absorption and photoluminescence spectroscopy on a single self-assembled charge-tunable quantum dot”. Elsevier. Physica B J. 2005, pp. 195339–195345.

