

تأثیر درصد استوکیومتری بر ترازهای انرژی نقطه کوانتمی هرمی شکل $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ مبتنی بر GaAs

مهدی احمدی برجی، اسفندیار رجایی و کاووه کیهانی
دانشکده فیزیک، دانشگاه گیلان، رشت

چکیده- در این مقاله، لبه نوار و ترازهای انرژی نقاط کوانتمی هرمی شکل $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ روی زیرلایه GaAs بررسی نموده‌ایم. نشان می‌دهیم که با تغییرات درصد استوکیومتری In نسبت به Ga در نقطه کوانتمی مقادیر مجاز انرژی در نقاط افزایش یافته و لبه نوارهای هدایت و رسانش به هم نزدیک‌تر می‌شوند و همچنین طول موج گسیلی نور از ترازها افزایش می‌یابد. نتایج ما بسیار با نتایج تجربی و تئوری‌های پیشین سازگار هستند.

کلیدواژه- کرنش، لبه نوار، نانوالکترونیک، نقاط کوانتمی

Effect of indium percentage on energy levels of pyramidal $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ quantum dots on GaAs substrate

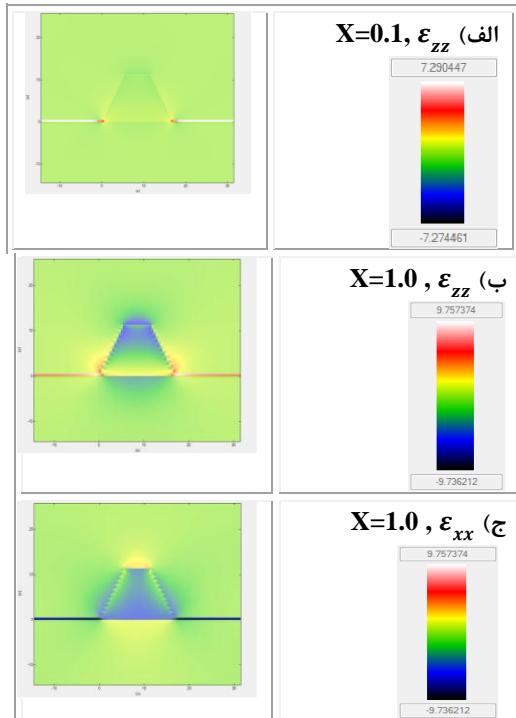
Mahdi Ahmadi Borji, Esfandiar Rajaei and Kaveh Kayhani

University of Guilan, Namjoo street, Rasht, Iran

Abstract- In this paper, we have studied the bandedge and energy levels of pyramidal InGaAs based quantum dots (QDs) surrounded by GaAs . We show that by changing the In ratio rather than Ga in the QD, not only the allowed energy states increase, but also the conduction and valence bandedges get closer to each other. We even show that the radiation wavelength get longer. Our results appear to coincide with former researches.

Keywords: Strain, bandedge, nano-electronics, quantum dots

قطبی می‌شود و بارهای قطبی باعث القای میدان الکتریکی می‌شوند. این میدان باعث می‌شود تا ترازهای انرژی شیب گرفته و الکترون‌ها و حفره‌ها به دو سوی مخالف حرکت کنند.



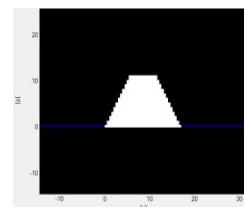
شکل ۲. نمودار کرنش در صفحه xz برای مقادیر مختلف درصد استوکیومتری. در آیش کم عنصر In ، کرنش در اکثر نقاط نمونه مقناری کوچک دارد و تنها در گرمهای روی لایه ترکننده قبلاً توجه است (شکل ۲-الف). با افزایش نسبت In بر مقادیر مطلق کرنش افزوده شده و همچنین کرنش‌های مثبت و منفی نیز به خوبی خود را نشان داده‌اند (شکل ۲-ب). همچنین کرنش ϵ_{xx} را نیز در شکل ۲-ج نشان داده‌ایم علاوه بر این، شکل ۳ عناصر مختلف تئسور ϵ_{ij} را در آیش‌های مختلف در جهت رشد Z نمایش می‌دهد در این شکل مقادیر ϵ_{11} و ϵ_{22} روی هم افتاده‌اند و ϵ_{13} نیز روی هم افتاده‌اند مشاهده می‌شود که با افزایش آیش In مقادیر ϵ_{23} نیز روی هم افتاده‌اند مشاهده می‌شود که با افزایش آیش In کرنش افزایش یافته است در شکل ۴ ساختار لبه نوارهای هدایت و ظرفیت را در صفحه xz در دمای $300K$ و درصد استوکیومتری $In_{0.1}Ga_{0.9}As/GaAs$ با درصد استوکیومتری $In_{1.0}Ga_{0.0}As/GaAs$ مقایسه کردۀایم رنگ قرمز نشان-دهنده مقادیر انرژی بیشتر و رنگ بنفش نشان-دهنده مقادیر انرژی کمتر است در شکل ۵-الف ساختار لبه نوارهای هدایت و ظرفیت را در جهت رشد و همچنین سه و بیهوده مقادیر اولیه لبری برای الکترون‌ها و اولین، دهمین و پانزدهمین و بیهوده مقادیر لبری برای $In_{0.1}Ga_{0.9}As/GaAs$ خود را در دمای $300K$ و درصد استوکیومتری $In_{0.1}Ga_{0.9}As/GaAs$ نشان داده‌ایم همان‌گونه که از شکل پیدلسته، هیچ یک از بیهوده مقادیر مجاز

۱- مقدمه

دولت نوری ناوساختار نیمرسانلا به علت مزایای بسیاری که نسبت به دولت نوری پیشین دارند بسیار مورد توجه هستند روشهای تجربی مختلفی برای ساخت ناحیه فعل این دولت به کار می‌روند که در این میان روش خودسلمانی یک روش پیشینه در ساخت نقاط کوانتومی به شمار می‌آید مدل‌های تئوری به کار رفته برای مدل کردن این روش نشان می‌دهند که می‌توان نقطه به وجود آمده را که اندازه و شکل تصلیفی دارند به شکل‌های هرمی، عدسی گونه استوانه‌ای و - مورد مطالعه قرار داد [۱]. به ویژه لیزرهای نقطه کوانتومی در صنعت امروز کاربرد فراوان دارند طول موج سطع شده از نقاط کوانتومی به اختلاف ویژه مقادیر مجاز لبری برای الکترون‌ها و حفره‌ها بستگی دارد بنابراین برای مطالعه بیشتر لیزرهای این دولت به بررسی ترازهای لبری آنها پرداخته‌ایم در صورتی که بتوان راهی برای کوچکتر کردن نقطه کوانتومی در نتیجه دست یافتن به چگالی بالاتری از آنها پیدا کرده کارایی لیزر نقطه کوانتومی بیشتر می‌شود لذا سعی کردایم تا حالت‌های مجاز الکترونی در نقاط را با درصدهای استوکیومتری مختلف بررسی نموده و در نهایت یک اندازه درصد استوکیومتری پیشنهاد دهیم در این تحقیق، نوارهای لبری هدایت و ظرفیت نقطه کوانتومی هرمی شکل $InGaAs$ بر مبنای $GaAs$ را به همراه ویژه مقادیر لبری آن به دست آورده‌ایم این کار با حل معادله شرودینگر و استفاده از [۲] Nextnano⁺ نتایج داده‌ایم [۳].

۲- نتایج و بحث و بررسی

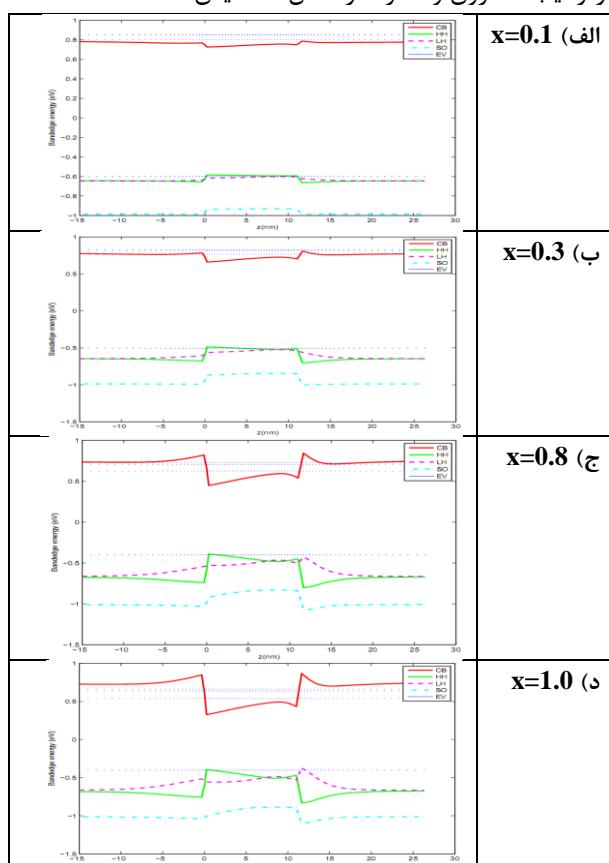
شکل ۱ نمای جانبی ساختار نقطه کوانتومی هرمی شکل $InGaAs$ با قاعده مربعی به مساحت $17nm \times 17nm$ و ارتفاع $\frac{2}{3}$ برابر پهنانی قاعده را در روی لایه $GaAs$ - $InGaAs$ با لایه ترکننده به ضخامت $0.5nm$ نشان می‌دهد. این ساختار با شاخص (001) از زیرلایه $GaAs$ رشد داده شده است.



شکل ۱. ساختار هرمی نقطه کوانتومی $InGaAs/GaAs$ همراه با لایه ترکننده

شکل ۲ الف و ب نمودارهای عنصر ϵ_{zz} در تانسور کرنش را در صفحه xy در دو مقدار آیش χ نمونه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به علت عدم تطابق ثابت شبکه بین $GaAs$ و $InGaAs$ ، نقطه کوانتومی دچار کرنش تراکمی می‌شود تا ثابت‌های شبکه در سطح مشترک بر هم منطبق شوند [۴] و لذا جایگزینی مراکز بارهای مثبت و منفی باعث شکل‌گیری بارهای

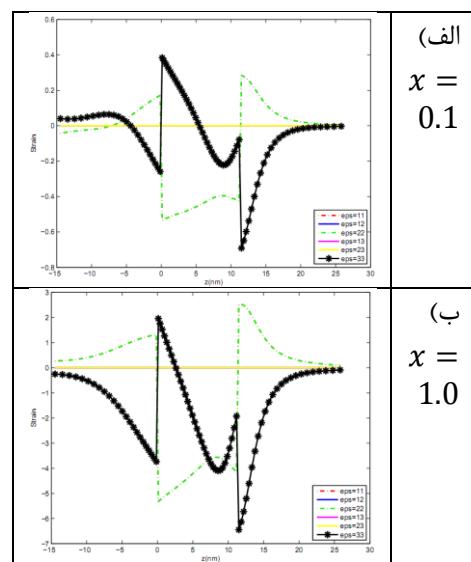
با افزایش درصد ایندیم و به موازات آن کاهش مقدار گالیم می‌بینیم که تعداد ترازهای بیشتری در داخل QD قرار می‌گیرند که بنابراین در این حالت شامل تراز ES نیز خواهد بود. لذا در این حالت انتظار داریم که طول موج‌های بازترکیب مختلفی از QD دریافت کنیم. نه تنها افزایش تعداد حالت‌ها، جابجایی ترازهای انرژی نیز در این روند افزایش ایندیم قابل توجه و بسیار جالب است. به خوبی دیده می‌شود که کاهش مقدار گالیم در QD، موجب کاهش گاف نوار انرژی می‌شود. گذارهای مختلف در بازترکیب الکترون و حفره در شکل ۶ نمایش داده شده‌اند.



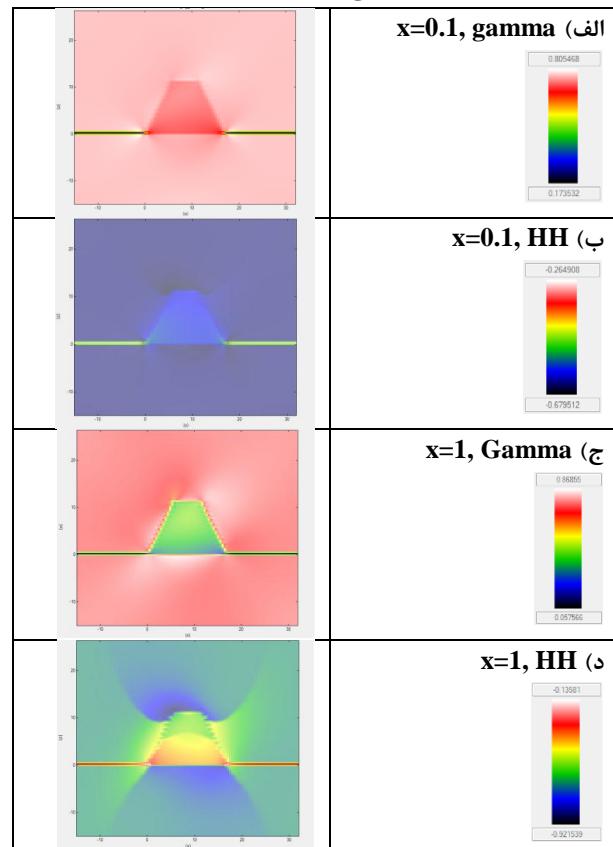
شکل ۵. ساختار لبه نوارهای انرژی هدایت و طرفیت و ترازهای انرژی نوار هدایت و طرفیت در دمای 300K.

در شکل ۷ همچنین اختلاف اولین ویژه‌مقادیر مجاز انرژی را برای الکترون و حفره بر حسب تغییرات درصد χ نمایش داده‌ایم. این مقدار که نشان دهنده انرژی تابش شده از لیزر نقطه کوانتومی است با افزایش مقدار χ کاهش یافته و لذا طول موج فوتون‌های لیزر افزایش می‌یابد.

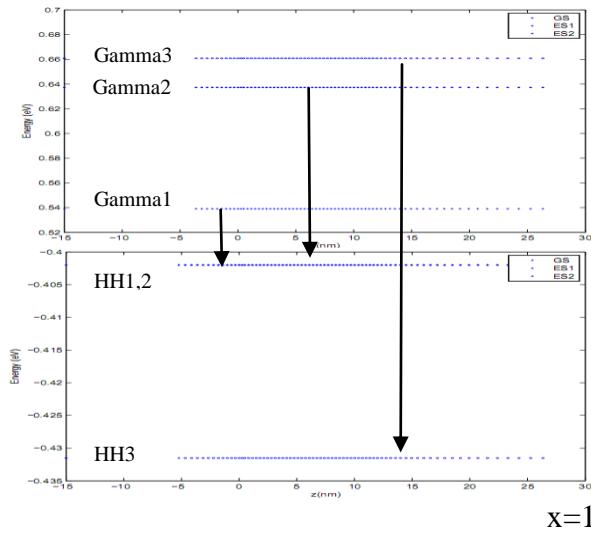
لوژی در داخل نقطه کوانتومی قرار نگرفته‌اند در شکل ۵-ب مقدار درصد آلایش ایندیم را به $\chi = 0.3$ افزایش داده‌ایم مشاهده می‌شود که یکی از ترازها در داخل نقطه کوانتومی افتد این تراز همان تراز حالت پایه GS است و در این حالت تراز پرانگیخته (ES) خارج از نقطه است.



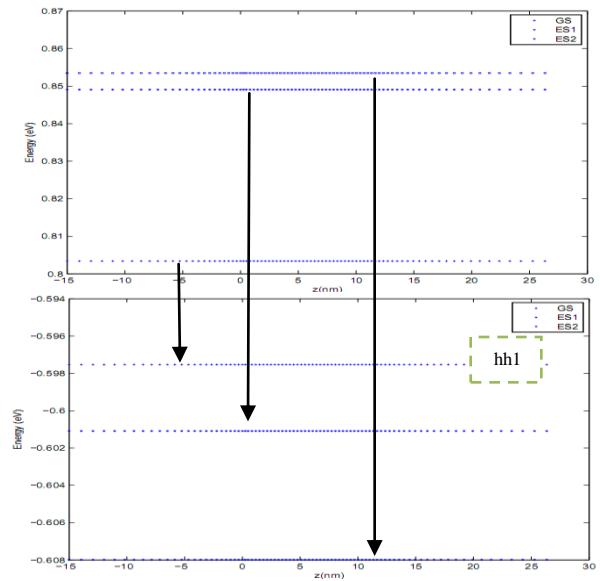
شکل ۳. عناصر ماتریسی تانسور کرنش بر حسب تغییرات Z



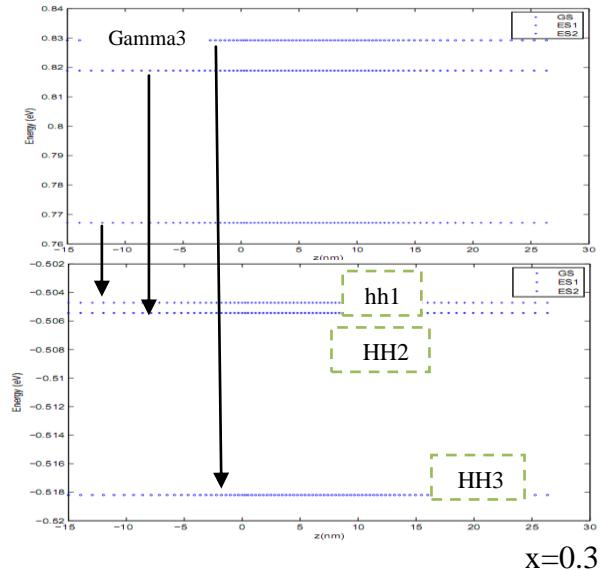
شکل ۴. ساختار لبه نوارهای هدایت و طرفیت در صفحه XZ متقاطع با مرکز نقطه کوانتومی در دمای 300K



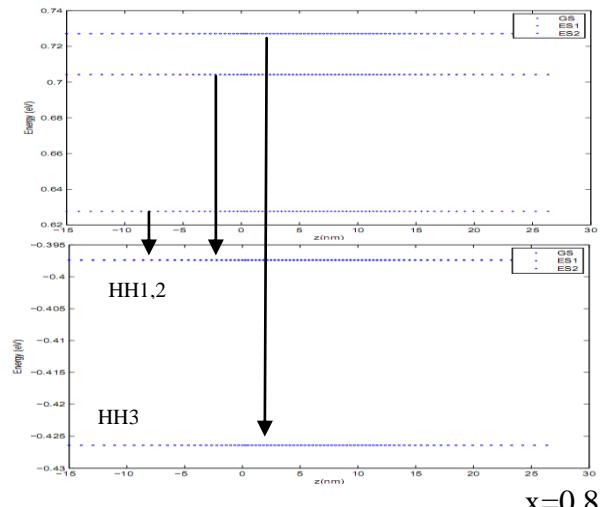
شکل ۶. بازترکیب‌های مختلف الکترون و حفره



x=0.1



x=0.3



x=0.8

مرجع‌ها

- [1] Self-assembled quantum dots, Zhiming M. Wang, Springer, 2008
- [2] <http://www.nextnanocom/nextranoplus>
- [3] Trellakis, A. et al. Te 3D nanometer device project nextnano: Concepts, methods, results. J. Comput. Electronics 5, 285– 289 (2006).
- [4] Biner, S. et al. nextnano: General purpose 3-D simulations. IEEE T. Electron Dev. 54, 2137– 2142 (2007).
- [5] S. Pereira, M.R. Correia, E. Pereira, C. Trager-Cowan, Phys. Lett. Vol. 81, No. 7(2002).
- [5] IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 42, NO. 3, MARCH (2006).
- [4] Band-edge diagrams for strained III-V semiconductor quantum wells, wires, and dots, C.E. Pryor, M. E. Pistol (2008)
- [5] Numerical Simulation of Quantum Dots, Marta Matkiewicz
- [6] Self-organization in strained heteroepitaxial nanostructures: multi-scale modeling, simulation and experiment, A. F. Bower, E. Chason, L. B. Freund and V. B. Shenoy
- [7] Strain distribution and electronic spectra of In/As/GaAs self-assembled dots: An eight-band study, Phys. Rev. B, VOLUME 56, NUMBER 8 (1997).
- [10] Bernhard Groz, Moritz V. Hauf, Markus Dankel, Boris Nedyonov, Sébastien Pezzagna, Jan meijer, Fedor Jelezko, Jörg Wrachtrup, Martin Stützmann, Friedemann Reinhard & José A. Garrido, ‘Charge state manipulation of qubits in diamond’, Nature Communications, Vol. 10, 1038 (2012).