بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

بررسی ویژگی های اپتیکی رینگ کوانتومی متشکل از چندین چاه کوانتومی با روش تنگ بست

مهدی سلیمانی* ،علیرضا مبینی

[1]دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی قم-قم-ایران.

[2]دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، صنعتی قم-قم-ایران.

* solaimani@qut.ac.ir

چکیده - در این مقاله ویژگی های اپتیکی رینگ کوانتومی مبتنی بر چاه کوانتومی چند گانه با استفاده از روش تنگ بست بررسی شده و اثر تغییر تعداد چاه‌ها و پتانسیل اعمالی روی این ویژگی ها بدست آمده‌است. ترازهای انرژی و توابع موج برای دو رینگ کوانتومی با شعاع یکسان ۶۰ نانومتر و تعداد چاه‌های دو و چهار محاسبه و رسم شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش تعداد چاه ها، انرژی حالت پایه افزایش می یابد و توابع موج در مراکز چاه ها جایگزیده میشوند. همچنین مقدار جذب ساختار با تغییر تعداد چاه‌ها از دو به چهار دارای ۱۳٪ کاهش و بیشینه جذب دارای جابجایی آبی به مقدار ۱۵ میلی الکترون ولت است.

کلید واژه- روش تنگ بست، رینگ کوانتومی، چاه کوانتومی چندگانه، جذب.

Study of Optical Properties of Quantum Ring Based on MQW Using Tight-Binding Method

Mahdi Soleymani*, Alireza Mobini

Department of Physics, Qom University of Technology, Department of Electrical and Computer Engineering, Qom University of Technology

Abstract- In the present work we have studied optical properties of quantum ring based on MQW using tight-binding method considering the effects of well number and confinement potential. For two rings with same circumstance of 60 nm and different number of wells, 2 and 4, wave functions and energy eigenvalues have been calculated. The results shows with increasing well numbers the energy eigenvalues increases and the wave function confined in the well centers. Also with increasing well numbers from two to four wells, the absorption coefficient of structure decrease %13 and the peak of absorption has 15meV blue shift.

Keywords: Tight Binding Method, Quantum Ring, Multiple Quantum Well, Absorption.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-25]

۱- مقدمه

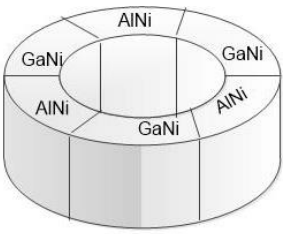
ساختارهای شبه رینگ در مقیاس نانو که با عنوان کلی رینگ های کوانتومی شناخته می‌شوند اخیرا مورد توجه محققان قرارگرفته‌است. این ساختارهای نانومقیاس نمونه شبیه به بنزن هستند [۱]. آنها دارای چگالی الکترون و تقارن خاصی هستند که منجر به حواص منحصر به فردی مانند جریان پایا که بعلت قانون بقای اندازه حرکت زاویه‌ای است، می‌شود. این ساختارها تا کنون بصورت تئوری و تجربی مطالعه شده‌اند [۳-۲].

خواص فیزیکی و اپتیکی این ساختارها بوسیله روش‌های مختلفی مانند روش تابع چگالی حالت، روش هارتر-فوک و روش مونت-کارلو، K.P ، ماتریس انتقال و روش تنگ بست قابل حل است. ویژگی‌های انتقال مانند اثر آهارنوف- بوهم ،جریان پایا، اثرفانو و... ویژگی‌هایی هستند که با این روش‌ها با حضور اثر اسپین - مدار و بدون آن قابل مطالعه هستند. [۶-۴]، تا کنون مطالعاتی روی این ساختار ها با حل مستقیم معاله شرودینگر و محاسبه ترازها و یا روش ماتریس حالت انجام شده است [۷-۵]. قبلا ساختارهایی با طول موثر ثابت شبیه‌سازی شده‌است [۹-۸]. اما در این مقاله با استفاده از روش تنگ بست ترازهای انرژی، تابع موج و جذب رینگ‌های کوانتومی مبتنی بر چاه کوانتومی چند گانه محاسبه شده و اثر تغییر تعداد چاه‌ها و شعاع رینگ روی این ویژگی ها بدست آمده‌است. بررسی ویژگی اپتیکی این ساختارها نشان می‌دهد این که دارای جذب در ناحیه مادون قرمز هستند که دارای کاربردهای صنعتی و پژوهشی فراوانی است. کاربردهای معمول آنها شامل دیدبانی محیط [۱۰, ۱۱]، تشخیص شیمیایی و بیولوژیکی ترکیبات [۱۲]، تصویربرداری حرارتی، دید درشب، تشخیص ناهنجاری و مخابرات فضای آزاد است [۱۴-۱۲]. از گذشته تا کنون تکنولوژی‌های مختلفی مانند ترکیبات مرکوری-کادمیم-تلوراید[1] (MCT)، ساختارهای مبتنی بر چاه‌کوانتومی[2] و ساختارهای مبتنی بر نقطه‌کوانتومی برای آشکارسازی در این پنجره استفاده شده است [۱۱-۱۰].

۲- ساختار و روش شبیه سازی

۲-۱- نمای ساختار

شکل (۱) نمای ساختار شبیه‌سازی‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمای ساختار رینگ کوانتومی مبتنی بر چندین چاه کوانتومی متشکل از GaNi وAlNi.

آنطور که از شکل مشخص است رینگ متشکل از سه چاه کوانتومی است که هرچاه از ساختار GaNi/AlNi تشکیل شده‌است. در این شبیه‌سازی رینگی با محیط ۶۰ نانومتر در نظرگفته‌شده‌است.

۲-۲- فرمول‌بندی

یک رینگ کوانتومی شامل N سایت از اتم‌های مشابه در نظر بگیرید.معادله تنگ بست برای این ساختار به شکل زیر نوشته می‌شود[۵]:

$$\hat{H} = \sum_{n=1}^{N}\left[(2t+V_n)c_n^{\dagger}c_n - tc_{n+1}^{\dagger}c_n - tc_n^{\dagger}c_{n+1}\right] \quad (1)$$

که در آن $t = \mathrm{h}^2/(2m_e a^2)$ المان ماتریس هاپینگ بین نزدیک ترین همسایه‌ها، me جرم الکترون، N تعداد سایت‌ها، a ثابت شبکه و $c_n^{\dagger}$عملگر خلق و c_n عملگر فنا است. پارامتر V_n مقدار پتاسیل مربعی به عمق V_{Conf} را نشان‌می‌دهد که در طول محیط رینگ اعمال می‌شود. با قطری کردن هامیلتونی سیستم در معادله (۱) مقادیر ویژه انرژی سیستم بدست می‌آید. طیف جذبی را میتوان از رابطه زیربدست-آورد[۵] :

1- Mercury-Cadmium-Telluride (MCT)
2 -Quantum Well (QW)

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

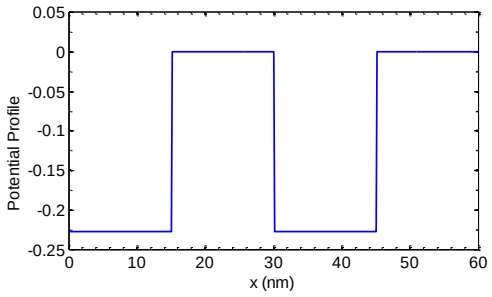
[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-25]

$$A(E)=\frac{1}{N}\sum_{\beta}\delta(E-E_{\beta})F_{\beta} \qquad (۲)$$

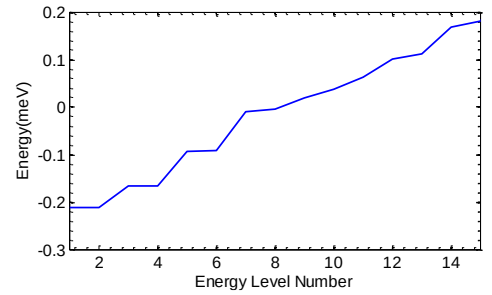
که در آن F_{β} قدرت نوسانگر مرتبط با مقدار ویژه β است.

۳- نتایج شبیه‌سازی

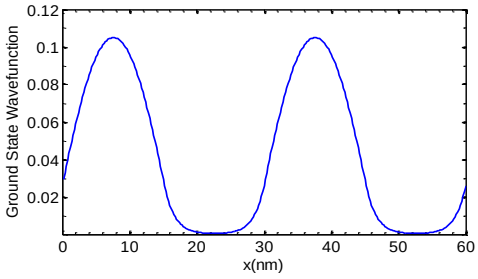
شبیه‌سازی برای رینگی با محیط ۶۰ نانومتر متشکل ازدو چاه کوانتومی با عرض ۱۵ نانومتر انجام شده و نتایج در شکل (۲) نمایش داده‌شده‌است.



الف)



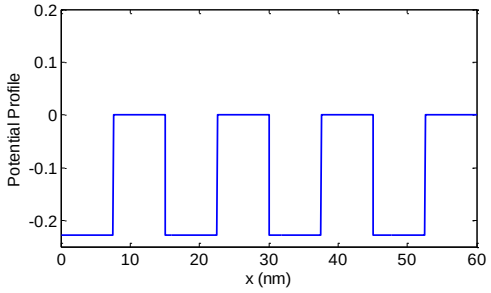
ب)



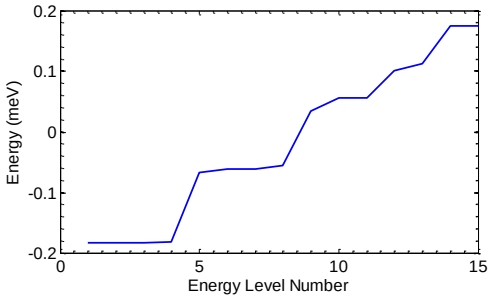
ج)

شکل ۲: الف) تابع پتانسیل رینگ کوانتومی شامل ۲ عدد چاه. ب) ترازهای انرژی رینگ کوانتومی ج)تابع موج پایه .

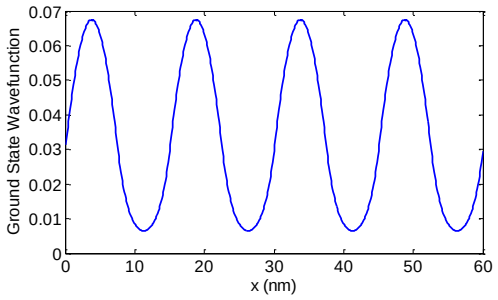
آنطور که شکل (۲) نمایش می‌دهد مقدار تابع موج در محل چاه دارای بیشینه است یعنی الکترون‌ها درون چاه محصور شده‌اند. از طرفی مقدار انرژی در ترازهای پایین بطور تدریجی و منظم افزایش پیدا می کند اما با افزایش مرتبه تراز مقدار پرش در انرژی زیاد می‌شود.در ادامه تعداد چاه‌ها به ۴ عدد افزایش یافته‌است و نتایج در شکل (۳) نمایش داده‌شده است.



الف)



ب)



ج)

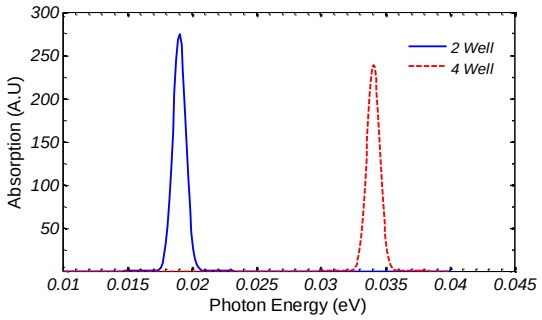
شکل ۳: الف) تابع پتانسیل رینگ کوانتومی شامل ۴عدد چاه. ب) ترازهای انرژی رینگ کوانتومی ج)تابع موج پایه .

آنطور که شکل (۳) نمایش می‌دهد تابع موج دارای چهار بیشینه است که برابر تعداد چاه‌ها است یعنی الکترون‌ها بطور متقارن درون چاه‌ها وجود دارند. با افزایش تعداد چاه‌ها ترازهای هم انرژی افزایش یافته است و از طرفی مقدار پرش انرژی در ترازهای مرتبه ۵ تا ۸ خیلی کم است.

در ادامه مقدار جذب طبق رابطه (۲) برای این ساختار محاسبه شده و در شکل (۴) نشان داده‌شده‌است.

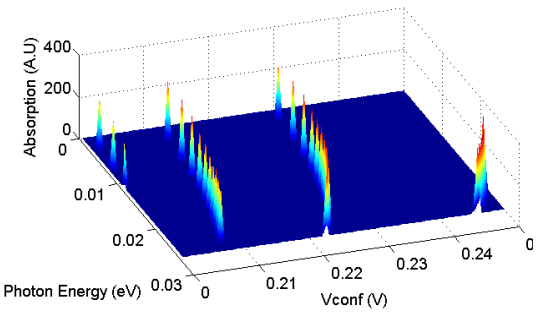
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-25]



شکل۴: جذب رینگ کوانتومی با محیط ۶۰ نانو متر شامل ۲و ۴ عدد چاه کوانتومی.

آنطور که شکل (۴) نمایش می‌دهد با افزایش تعداد چاه از دو به چهار ،مقدار جذب۱۳٪ کاهش یافته است و مقدار قله جذب نیز دارای جابجایی آبی ۱۵ میلی الکترون ولت است. در ادامه مقدار جذب برای رینگ کوانتومی شامل ۴ چاه کوانتومی با تغییر پتاسیل محاسبه و در شکل (۵) نشان‌داده شده‌است.



شکل۵: شکل جذب برای رینگ کوانتومی شامل ۴ چاه به ازای مقادیر متفاوت پتانسل اعمالی مختلف.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از روش تنگ بست مقادیر ویژه، توابع موج و پارامتر جذب برای یک رینگ کوانتومی شامل چاه کوانتومی چندگانه بدست آمد. آنطور که نتایج نشان می‌دهد ساختار جذب بیشینه‌ای در محدوده مادون قرمز دور دارد که از نظرفناوری دارای کاربرد زیادی است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش تعداد چاه‌ها یک جایجایی آبی در بیشینه جذب صورت می‌گیرد که با این روش می‌توان محل بیشینه جذبی را بطور دلخواه تنظیم کرد.

مراجع

[1] M. Büttiker, Y. Imry, R. Landauer, Phys. Lett. A 96, 365 (1969).
[2] N. T. Bagraev ,N. G. Galkin ,W. Gehlhoff ,L. E. Klyachkin and A. M. Malyarenko, J. Phys.: Condens. 20, 164202 (2008).
[3] M. Solaimani, Chin. Phys. Lett. 32, 117304 (2015).
[4] S. Jana , N. Bhattacharya , A. Chakrabarti, Physica B 406, 4387 (2011).
[5] M. Wang and K. Chang, Phys. Rev. B 77, 125330 (2008).
[6] J. Schelter, P. Recher ,B. Trauzettel, Solid State Commun. 152, 1411 (2012).
[7] Y.-C. Zhou, X.-E Yang, H.-Z. Li, Phys. Lett. A 190, 123 (1990).
[8] M. Solaimani, Solid State Commun. 200, 66 (2014).
[9] M. Solaimani, J. Nonlinear Opt. Phys. Mater. 23, 1450050 (2014).
[10] S. Pal, K. B. Ozanyan, and H. McCann, A spectroscopic study for detection of carbon-monoxide using mid-infrared techniques for single-pass measurement, in Journal of Physics: Conference Series, pp. 012020, 2007
[11] U. Willer, M. Saraji, A. Khorsandi, P. Geiser, and W. Schade, *Near-and mid-infrared laser monitoring of industrial processes, environment and security applications*, Optics and lasers in engineering, vol. 44, pp. 699-710, 2006.
[12] C. Balaras and A. Argiriou, *Infrared thermography for building diagnostics*, J. of Energy and buildings, vol. 34, pp. 171-183, 2002.
[13] D. Manolakis and G. Shaw, *Detection algorithms for hyperspectral imaging applications*, Signal Processing Magazine, IEEE, vol. 19, pp. 29-43, 2002.
[14] P. Norton, *Third-generation sensors for night vision*, in Congress on Optics and Optoelectronics, pp. 59571Z-59571Z-15, 2005.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-09-25]