بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بررسی اثر استتار ثابت دی الکتریک بر ضریب جذب اپتیکی چاه کوانتومی

فرناز جعفری[۱و۲] و مجتبی ثروت خواه*[۱و۲]

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت،دانشکده علوم، گروه فیزیک، مرودشت، ایران

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، دانشکده علوم، گروه فیزیک، فارس، ایران

* servatkhah@miau.ac.ir

گروه فیزیک، دانشکده علوم، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، فارس، ایران

چکیده: در این مقاله اثر استتار ثابت دی الکتریک بر ضریب جذب اپتیکی خطی و مرتبه سوم غیر خطی یک چاه کوانتمی درحضورناخالصی هیدروژنی بررسی شده است. به این منظور بر اساس روش ماتریس چگالی ضریب جذب خطی و مرتبه سوم غیر خطی به روش عددی محاسبه شده اند. نتایج نشان میدهد که حضور ناخالصی هیدروژنی باعث انتقال طیف جذبی به سمت انرژی های کمتر می شود و افزودن ناخالصی هیدروزنی باعث کاهش شدت بحرانی فوتون های تابیده شده در طیف جذبی چاه کوانتومی می شود.

کلید واژه: ضریب جذب خطی.ضریب جذب غیر خطی، چاه کوانتومی،ثابت دی الکتریک

Calculation of the screening effect of electric permittivity on the absorption coefficient of the a quantum well

Franaz Jafari[1,2],Mojtaba Servatkhah[* 1,2]

Department of Physics, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

Physics Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Fars, Iran.

The effect of dielectric screening on linear and third order nonlinear absorption coefficient of a quantum well in presence of hydrogenic impurity is investigated. Density matrix approach was used to study the linear and third order nonlinear absorption coefficient. Energy eigenvalues and their corresponding eigenfunctions were enumerated numerically using finite element method. The results show that the presence of hydrogenic impurity causes the absorption spectrum move towards lower energies and increasing the impurity can reduce the critical intensity of incident photons in absorption spectrum of quantum well.
Keyword :Linear absorbtion,nonlinear absorption coefficient, quantum wells, the dielectric constant

:

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

۱ـ مقدمه

بدلیل کاربرد های چاه های کوانتمی در وسایل اپتیکی مطالعات زیادی بر روی خواص اپتیکی خطی و غیر خطی از جمله ضریب جذب، تغییرات ضریب شکست و پذیرفتاری اپتیکی در گذار های اپتیکی انجام شده است. به عنوان مثال، بررسی خواص اپتیکی چاههای کوانتمی چند گانه و اثر تعداد چاه ها بر ضریب جذب و ضریب شکست مرتبه اول و مرتبه سوم غیر خطی[1]، اثر میدان الکتریکی بر ضریب جذب و ضریب شکست خطی و مرتبه سوم غیر خطی یک ناخالصی هیدروژنی در یک چاه کوانتمی GaAs/AlGaAs[2]، بررسی اثر میدان های الکتریکی و مغناطیسی بر ضریب جذب و تغییرات ضریب شکست یک چاه کوانتمی دوگانه سهموی معکوس را میتوان نام برد[3].

۲- محاسبه خواص اپتیکی خطی و غیر خطی یک چاه پتانسیل غیر متقارن

هنگامیکه یک محیط تحت تاثیر یک میدان الکترومغناطیسی خارجی قرار می گیرد نیرویی از سمت میدان بر الکترونهای محیط وارد میگردد. الکترون های سیستم مقداری از انرژی میدان را جذب می کنند و یک گذار اپتیکی در سیستم رخ می دهد. به عبارت دیگر محیط قطبیده می شود. اگر میدان اعمال شده ضعیف باشد رابطه قطبیدگی و میدان تابشی خطی است اما اگر میدان تابیده شده خارجی به حد کافی بزرگ باشد، رابطه بین قطبش و میدان دیگر خطی نبوده و قطبیدگی به توانهای بالاتر میدان نیز وابسته می باشد. بنابراین در حد میدانهای قوی محیط ویژگیهای نوری بسیار جالبی از خود بروز میدهد.

برای بررسی خصوصیات خطی و غیر خطی نوری بر اساس روش ماتریس چگالی با استفاده از روش اختلال ویژه مقادیر انرژی و ویژه توابع متناظر را محاسبه میکنیم. فرض میکنیم که سیستم در حالت فیزیکی $\Psi(\vec{r},t)$ باشد. تحول زمانی این حالت با معادله ی شرودینگر وابسته به زمان زیر توصیف می شود[5] :

$$i\hbar\frac{d}{dt}\Psi(\vec{r},t)=H\Psi(\vec{r},t) \qquad (1)$$

که در ان H هامیلتونی ذره محبوس در چاه کوانتومی در حضور میدان الکترومغناطیسی خارجی $E(t)=\tilde{E}e^{-i\omega t}+\tilde{E}^{*}e^{i\omega t}$ با بسامد ω و راستای قطبش z بوده و به صورت زیر تعریف می شود :

$$H=H'-eE(t)z \qquad (2)$$

در این رابطه H' هامیلتونی مختل نشده ذره درچاه کوانتومی است سپس با استفاده از ازروشهای اختلالی و استفاده از روابط اپتیکی به محاسبه ضریب جذب مرتبه اول و مرتبه سوم غیر خطی رامحاسبه می نماییم [4] :

$$\alpha^{(1)}(\omega)=\omega\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon_R}}\frac{\sigma_V|M_{12}|^2\hbar\Gamma_{12}}{(E_{21}-\hbar\omega)^2+(\hbar\Gamma_{12})^2} \qquad (3)$$

(4)

$$\alpha^{(3)}(\omega)=-\omega\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon_R}}\left(\frac{I}{2\varepsilon_0 n_r c}\right)\frac{\sigma_V|M_{12}|^2\hbar\Gamma_{12}}{(E_{21}-\hbar\omega)^2+(\hbar\Gamma_{12})^2}\{4|M_{12}|^2-\frac{(M_{22}-M_{11})^2[3E_{21}^2-4E_{21}\hbar\omega+\hbar^2(\omega^2-{\Gamma_{12}}^2)}{E_{21}^2+(\hbar\Gamma)^2}$$

که دراین روابط:

σ_v چگالی ذرات موجود در سیستم، E_{21} اختلاف انرژی بین حالت پایه و اولین حالت برانگیخته ω فرکانس میدان الکترومغناطیسی ورودی، Γ_{12} زمان واهلش بین حالت پایه و اولین حالت برانگیخته، ε_0 ثابت دی الکتریک خلا می باشد.

۲ـ۱ محاسبه اثر ثابت دی الکتریک استتار شده بر ضریب جذب یک چاه کوانتمی

زمانیکه یک بار نقطه ای به عنوان یک عنصر دهنده الکترون در یک نیمه هادی وارد می شود الکترون های نوار ظرفیت این بار نقطه ای را استتار می کنند. ساختار مورد نظر ما یک ناخالصی هیدروژنی می باشد که در مرکز یک چاه کوانتمی از جنس GaAs/Ga1-xAlxAs قرار دارد. در ابتدا هدف محاسبه ویژه مقادیر و ویژه توابع انرژی و سپس بررسی اثر استتار ثابت دی الکتریک بر خواص اپتیکی این ساختار می باشد. هامیلتونی یک الکترون در حضور ناخالصی هیدروژنی به صورت زیر می باشد [8]

$$H=-\frac{p^2}{2m^*(z)}-\frac{e^2}{4\pi\mathcal{E}(z)z}+V_w(z) \qquad (5)$$

که دراین رابطه $\mathcal{E}(z)$ ثابت دی الکتریک استتار شده است. در رابطه $V_w(z)$ پتانسیل محدود کننده می باشد. فرض کنیم که چاه کوانتمی در یک محیط نیمه هادی از جنس $Ga_{1-x}Al_xAs$ قرار دارد که در این صورت پتانسیل محدود کننده برابر

$$V_w(z)=\begin{cases}0 & |z|<L/2\\ V & \text{بقیه جاها}\end{cases} \qquad (6)$$

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

که در این رابطه L طول چاه کوانتمی و V ارتفاع چاه پتانسیل است که ازروابط زیر محاسبه می شود:

$$V = 0.658\,\Delta E_g(x) \qquad (7)$$

که در این رابطه x غلظت آلومینیوم و $\Delta E_g(x)$ اختلاف گاف بین $Ga_{1-x}Al_xAs$ و $GaAs$ می باشد[8]:

$$\Delta E_g(x) = 1.1555x + 0.37x^2 \qquad (8)$$

از طرف دیگر با توجه به اینکه جنس ماده نیمه هادی به کار رفته در چاه پتانسیل و محیط اطراف آن با هم متفاوت است جرم موثر الکترون در این دو محیط نیز متفاوت است. در محاسبات جرم موثر الکترون را به دو صورت در نظر میگیریم[6]:

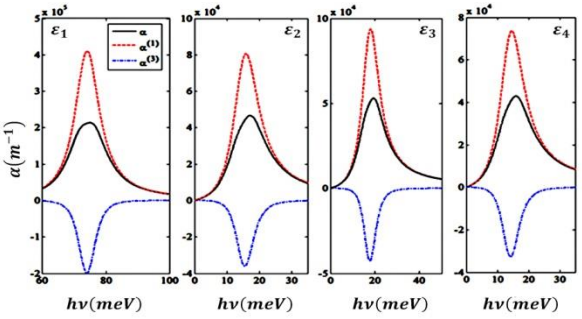
(9)

$$m^*(z) = \begin{cases} m_w^* = 0.067m_0 & \text{درون چاه} \\ m_b^* = (0.067 + 0.083x) & \text{درون سد} \end{cases}$$

که در این رابطه Xغلظت آلومینیوم می باشد

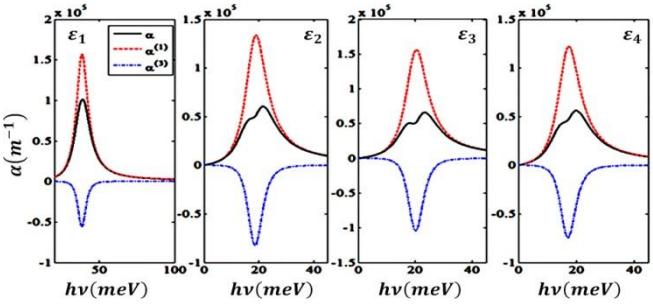
۲-۲ بررسی تاثیر ناخالصی هیدروژنی، توابع استتار متفاوت، چگالی آلومینیوم وشدت فوتون های ورودی بر ضریب جذب خطی و مرتبه سوم غیر خطی

در این بخش به بررسی تاثیر ناخالصی هیدروژنی، توابع استتار متفاوت طبق جدول ۱، و چگالی آلومینیوم بر طیف اپتیکی سیستم می پردازیم.



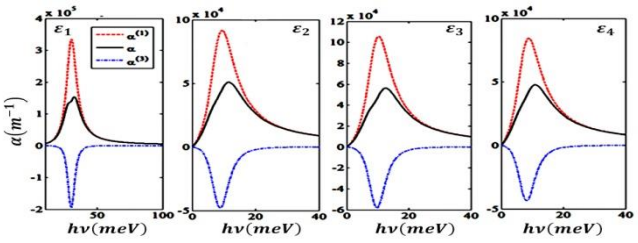
شکل ۱. نمودار های ضریب جذب خطی، مرتبه سوم غیر خطی و ضریب جذب کلی به صورت تابعی از انرژی فوتون تابشی در حضور ناخالصی هیدروژنی و به ازای توابع استتار متفاوت، $L = 8$ nm و $x = 0.3$

با مقایسه نمودارهای رسم شده در شکل ۱ مشاهده میشود که در حضور ناخالصی هیدروژنی قله نمودار ضریب جذب به ازای توابع استتار ε_2 ، ε_3 و ε_4 نسبت به تابع استتار ε_1 جابجایی به سمت انرژی های کمتر جابجا می شود (جابجایی قرمز).



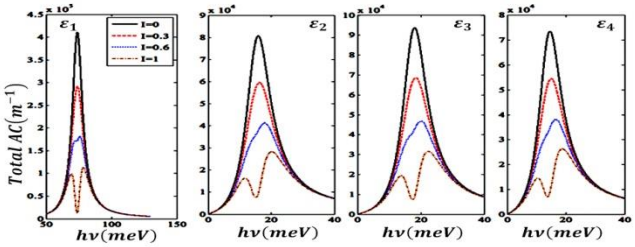
شکل ۲ نمودار های ضریب جذب خطی، مرتبه سوم غیر خطی و ضریب جذب کل به صورت تابعی از انرژی فوتون تابشی در حضور ناخالصی هیدروژنی و به ازای توابع استتار متفاوت، $L = 5$ nm و $x = 0.3$.

با مقایسه شکل های ۱ و۲ ملاحظه می شود که با کاهش طول چاه کوانتمی (از 8 nm به 5 nm) در حضور ناخالصی بیشینه ضریب جذب کل سیستم کاهش میابد. این به دلیل کاهش ممان های دوقطبی بین حالت پایه و اولین حالت بر انگیخته می باشد. همچنین با کاهش طول چاه نسبت به حالت قبل طیف جذبی سیستم به سمت انرژی های بیشتر جابجا می شود که این به دلیل افزایش اختلاف انرژی بین حالت پایه و اولین حالت برانگیخته می باشد.



شکل ۳. نمودار های ضریب جذب خطی، مرتبه سوم غیر خطی و ضریب جذب کلی به صورت تابعی از انرژی فوتون تابشی در حضور ناخالصی هیدروژنی و به ازای توابع استتار متفاوت، $L = 8$ nm و $x = 0.15$

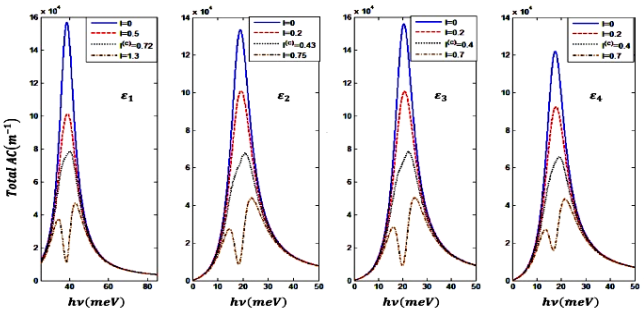
با توجه به این نمودارهای (شکل۳) مشاهده میکنیم که با کاهش غلظت آلومینیوم (از 0.3 به 0.15) طیف های جذبی به سمت انرژی های کمتر جابجایی پیدا می کنند که این به دلیل کاهش اختلاف انرژی بین حالت پایه و اولین حالت برانگیخته می باشد.



شکل ۴. نمودار ضریب جذب کل به صورت تابعی از انرژی فوتون های ورودی (I=0,0.3,0.6,1) و به ازای مقادیر متفاوت شدت فوتون های تابشی در حضور ناخالصی هیدروژنی برای $L = 8$ nm و $x = 0.3$.

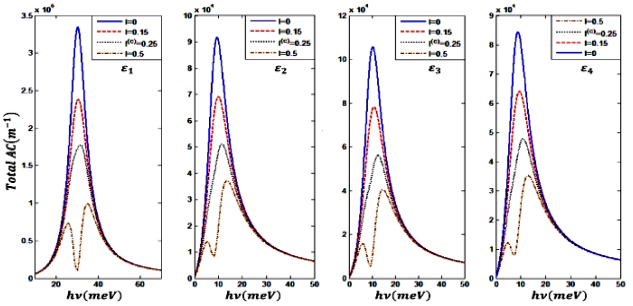
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

همچنین با توجه به شکل ۴ دیده می شود که حالت اشباع (نمودار آبی رنگ) در سیستم به ازای ε_1 در شدت های پایین تری نسبت به بقیه توابع استتار اتفاق می افتد.



شکل ۵. نمودار ضریب جذب کل به صورت تابعی از انرژی فوتون های ورودی و به ازای مقادیر متفاوت شدت فوتون های تابشی در حضور ناخالصی هیدروژنی برای $L = 5\ nm$ و $x = 0.3$

مشاهده می شود که با کاهش طول چاه کوانتمی شدت بحرانی افزایش می یابد.(شکل۵)



۶. نمودار ضریب جذب کل به صورت تابعی از انرژی فوتون های ورودی و به ازای مقادیر متفاوت شدت فوتون های تابشی در حضور ناخالصی هیدروژنی برای $L = 8\ nm$ و $x = 0.15$

واضح است که کاهش چگالی آلومینیم در حضور ناخالصی هیدروژنی نیز باعث کاهش شدت بحرانی یا به عبارت دیگر رسیدن سیستم به حالت اشباع در شدت های پایین می شود.

جدول ۱ توابع استتار متفاوت مربوط به گذر دهی الکتریکی

$\varepsilon(z)$	تابع	توضیحات
ε_1	$\varepsilon_r\varepsilon_0$	ثابت دی الکتریک استاتیک برابر $\varepsilon_r = 12.65$ [12]
ε_2	$\left[\varepsilon_r^{-1} + (1-\varepsilon_r^{-1})\exp(-\frac{2z}{a})\right]^{-1}\varepsilon_0$	یک a که $a = 1.2\ a.u$ چهارم فاصله هر اتم تا نزدیکترین همسایه خود است[12]
ε_3	$[a_1 + a_2\exp(-b_1 z) + a_3\exp(-b_2 z)]^{-1}\varepsilon_0$	$a_1 = 0.07634$ ، $a_2 = 0.87244$ ، $a_3 = 0.05122$ ، $b_1 = 1.6977$ و $b_2 = 0.3435$ [12]
ε_4	$\begin{cases}\frac{1}{1+B_1 z}\varepsilon_0 & \lvert z\rvert < L \\ \varepsilon_r\varepsilon_0 & \lvert z\rvert > \end{cases}$	$B_1 = \frac{(\varepsilon_0^{-1}-1)}{R}$ و $R = 4.4\ a.u$ [12]

۳- نتیجه

در پایان با بررسی و مقایسه نمودارهای رسم شده به طور خلاصه نتایج زیر مشاهده گردید:

در بررسی طیف جذبی و ضریب جذب با توابع استتار متفاوت به این نتیجه رسیدیم که حضور ناخالصی هیدروژنی باعث انتقال طیف جذبی به سمت انرژی های کمتر می شود. به ازای چاه های کوانتمی با طول کمتر همچنان حضور ناخالصی باعث جابجایی طیف جذبی به سمت انرژی های کمتر می شود. با کاهش غلظت آلومینیم طیف های جذبی به سمت انرژی های کمتر انتقال پیدا می کنند که به دلیل کاهش اختلاف انرژی بین حالت پایه و اولین حالت برانگیخته می باشد. افزودن ناخالصی هیدروزنی باعث کاهش شدت بحرانی فوتون های تابیده شده می شود. با کاهش طول چاه کوانتمی شدت بحرانی افزایش می یابد همچنین کاهش چگالی آلومینیم در حضور ناخالصی هیدروژنی نیز باعث کاهش شدت بحرانی یا به عبارت دیگر رسیدن سیستم به حالت اشباع در شدت های پایین می شود.

مراجع

[1] Yesilgul U., Ungan F., Sakiroglu S., Mora-Ramos M.E., Duque C.A., Kasapoglu E., Sari H., Sökmen I., Journal of Luminescence 145 ,379–386(2014).

[2] Zeiri N., Sfin N., Abdi-Ben Nasrallah S., Said M., Optik 124, 7044– 7048,(2013).

[3] Zeiri N., Sfin N., Abdi-Ben Nasrallah S., Said M., Optik 124, 7044–7048,(2013)..

Calculation of the electronic properties of a "[4] Vahdani M.R.K., , 2-12, 63-84 (2008)."hydrogenic impurity in lens and semilens shaped

[5] Boyd R.W., "Nonlinear Optics", 3d ed., Academic Press,2007

[6] John Peter A., Superlattices and Microstructures 47442–451, (2010).

[7] Nithiananthi P., Jayakumar K., Physica B 391113–117 ,(2007).

[8] Rajashabala S., Navaneethakrishna K.n, Superlattices and Microstructures 43,247–261 ,(2008).

[9] Solaimani M., Morteza I., Arabshahi H., Sarkardehi M.R., Journal of Luminescence 134, 699–705(2013).

[10] Vahdani M.R.K., "Calculation of the electronic properties of a hydrogenic impurity in lens and semilens shaped", 2-12, 63-84 (2008).

[11]Kasapoglu, F. Ungan, C.A. Duque, U. Yesilgul, M.E. Mora-Ramos, H. Sari, I. Sökmen, Physica E,.

[12] S. Rajashabala, K. Navaneethakrishnan, Superlattices and Microstructures 43 (2008) 247–261.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]