

GaAs/AlGaAs KVANT O'RALI GETEROSTRUKTURALARDA IKKI O'LCHOVLI KOMBINATSIYALANGAN HOLATLAR ZICHLIGINI FOTON ENERGIYASIGA BOG'LIQLIGI

Erkaboev Ulug'bek Inayatillaevich
Namangan muhandislik-texnologiya instituti, f.-m.f.d. professor
Sayidov Nozimjon Abdulnosirovich
Namangan muhandislik-texnologiya instituti, 2-bosqich tayanch doktorant
G'ayratov Saydullo Iqboljon o'g'li
Namangan muhandislik-texnologiya instituti, 3-bosqich talabasi
Tel: 99-870-58-68, e-mail: sayidovnozimjon@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu ishda magnitooptik yutilish spektri ko'plab xajmli va kichik o'lchamli optoelektron asboblari uchun asosiy talab hisoblanadi. Kvant o'rali va $\alpha_B^{2d}(\hbar\nu, B, d)$ to'g'risohali geterostrukturnalardagi magnitooptik yutilish jarayonini kombinatsiyalangan holatlar zichligi funksiyasi sifatida ifodalash mumkin. Kvantlovchi magnit maydoni ta'siri ostida, kombinatsiyalangan holatlar zichligi $\hbar\nu$ foton energiyasi bilan ajralgan, to'lgan valentli soha elektron holatlari bilan o'tkazuvchan sohaning bo'sh elektron holatlari orasidagi ruhsat etilgan magnitooptik o'tishlar sonining me'yori ta'minlanadi.

Kalit so'zlar: geterostruktura, nanoo'lcham, kvant o'ra, holatlar zichligi, holatlar zichligi, ossillyatsiya, nanoo'lcham, magnit maydon, ikki o'lchamli, yarimo'tkazgichlar.

ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ ДВУМЕРНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ В КВАНТОВЫХ ПРОВОЛОЧНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ GaAs/AlGaAs от ЭНЕРГИИ ФОТОНОВ

Эркабоев Улугбек Инаятиллаевич
Наманганский инженерно-технологический институт, д.н.ф.-м. профессор
Сайидов Нозимжон Абдулнасирович
Наманганский инженерно-технологический институт, 2 курс базового докторанта
Гайратов Сайдулло Икболжан угли
Наманганский инженерно-технологический институт, студент 3-го курса
Телефон: 99-870-58-68, e-mail: sayidovnozimjon@gmail.com

Аннотация: В этой работе спектр магнитооптического поглощения является ключевым требованием для многих крупномасштабных и малогабаритных оптоэлектронных устройств. Процесс магнитооптического поглощения в квантовой катушке и линейных гетероструктурах $\alpha_B^{2d}(\hbar\nu, B, d)$ можно выразить как функцию объединенной плотности состояний. Под действием квантующего магнитного поля плотность объединенных состояний, разделенных энергией фотонов $\hbar\nu$, является мерой числа разрешенных магнитооптических переходов между электронными состояниями заполненного валентного поля и пустыми электронными состояниями поля проводимости.

Ключевые слова: гетероструктура, наноразмер, квантовая катушка, плотность состояний, плотность состояний, колебание, наноразмер, магнитное поле, двумерность, полупроводники.

PHOTON ENERGY DEPENDENCE OF TWO-DIMENSIONAL COMBINED STATES DENSITY IN GaAs/AlGaAs QUANTUM WIRE HETEROSTRUCTURES

Erkaboev Ulugbek Inayatillaevich
Namangan Institute of Engineering and Technology, DSc professor
Sayidov Nozimjon Abdulnosirovich
Namangan Institute of Engineering and Technology, 2nd stage of basic doctoral studies
Gayratov Saydullo Iqboljon ugli
Namangan Institute of Engineering and Technology, stage 3 student
Phone: 99-870-58-68, e-mail: sayidovnozimjon@gmail.com

Abstract: In this work, the magneto-optical absorption spectrum is a key requirement for many large-scale and small-sized optoelectronic devices. The magneto-optical absorption process in a quantum coil and linear $\alpha_B^{2d}(\hbar\nu, B, d)$ heterostructures can be expressed as a function of the combined density of states. Under the action of a quantizing magnetic field, the density of the combined states separated by the photon energy $\hbar\nu$ is a measure of the number of allowed magneto-optical transitions between the electronic states of the filled valence field and the empty electronic states of the conduction field.

Key words: heterostructure, nanoscale, quantum coil, density of states, density of states, oscillation, nanoscale, magnetic field, two-dimensional, semiconductors.

Kirish

Nanoo'lchamli to'g'ri sohali geterostrukturalarda kvantlovchi magnit maydonining kombinatsiyalangan holatlar zichligi haroratiga ta'siri o'rganilgan. Kvantlovchi magnit maydonlarida kvant o'ralarining ikki o'lchamli kombinatsiyalangan holat zichligining haroratga bog'liqligini yangi matematik model nanoo'lchamli, to'g'ri sohali, parabolik qonunga bo'ysunuvchi dispersiyali yarimo'tkazgichlardagi eksperimental natijalarni izohlaydi.

Adabiyotlar taxlili

Taniqli ilmiy adabiyotlarda magnit maydoni mavjud bo'lgan va bo'lmagan holatlarda ruhsat etilgan soha energetik holat zichligini kombinatsiyalangan holat zichligi bilan bog'lash bo'yicha bir necha urinishlar to'g'risida ma'lumotlar berilgan. Biroq, kombinatsiyalangan holat zichligining olingan barcha empirik va soddalashtirilgan ifodalari past haroratlarda bosimning yo'qligi bilan chegaralangan.

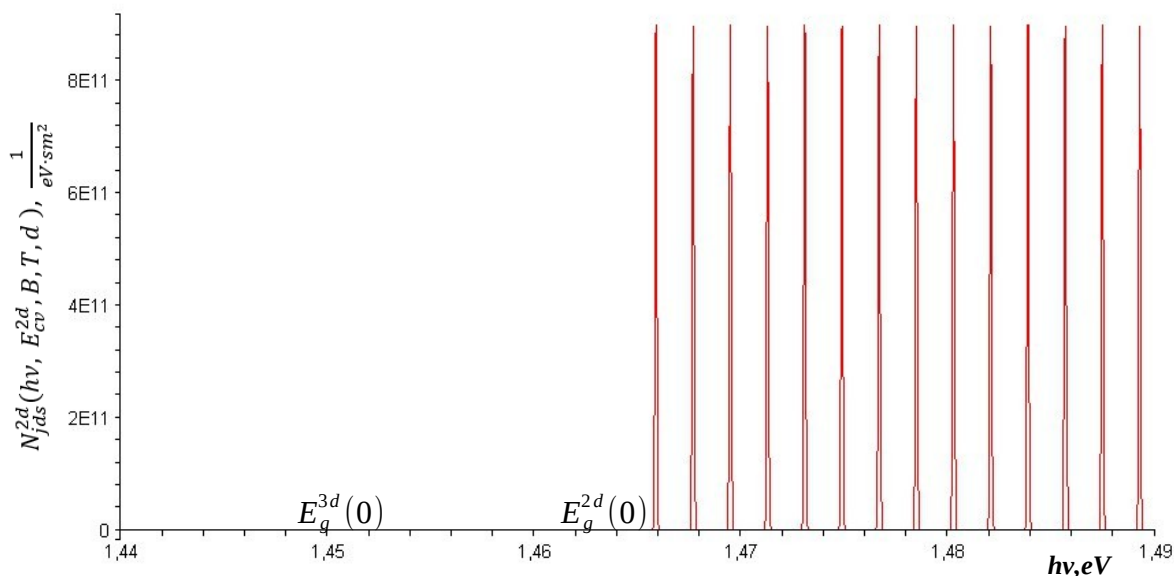
Ma'lumki, tashqi omillar (harorat, magnit maydoni va bosim)ning kvant o'lchamli geterostrukturalarga ta'siri zaryad tashuvchilarning energetik satx holatlari o'zgarishiga va, natijada, magnitoptik yutilish chegarasining siljishiga olib keladi [1-2]. Nanoo'lchamli yarimo'tkazgichlarning magnitoptik yutilish spektri ruhsat etilgan sohaning turli minimumlari orasidagi energetik masofa bilan aniqlanadi. Bundan kelib chiqadiki, kvant o'rasining ta'qiqlangan sohasi kengligi tashqi omillar ta'sirida yoki torayadi, yoki kengayadi.

Tadqiqot metodologiyasi

Endi kvant o'ralari asosidagi aniq to'g'risohali geterostrukturalar uchun kvantlovchi magnit maydonida ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligining haroratga bog'liqligini ko'rib chiqamiz. [3-5] ilmiy-tadqiqot ishida, qalinligi 14 nm, to'siq qatlamlarida ozgina (3%) alyumniy aralashgan, GaAs/AlGaAs kvant o'rali, yuqori sifatli geterostrukturalar tadqiq qilingan. Ushbu geterostrukturalar 4K haroratda o'rganilgan. Magnit maydoni bo'lmaganda, GaAs kvant o'rasining ta'qiqlangan soha kengligi 1,464 eV ga teng bo'ladi (1-rasm). 1-rasmda T=4 K haroratda va B=9 Tl kvantlovchi magnit maydonidagi GaAs d=14 nm ($n_z=1$) kvant o'rasi uchun ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligining fotonning yutuvchi energiyasiga bog'liqligi keltirilgan. Ushbu grafik formula bo'yicha amalga oshirilgan sonli hisoblashlar asosida qurilgan. 1-rasmda zaryad tashuvchilarning diskret Landau sathlari soni 14 ga teng. Bu cho'qqilar (zaryad tashuvchilarning diskret Landau sathlari ($N_L^{cv}=14$)) GaAs kvant o'rasining ruhsat etilgan sohasida

kuzatiladi. Unda, T=4K, $kT=4 \cdot 10^{-4}$ eV, $\frac{\hbar\omega_c}{kT} = 50, kT \ll \hbar\omega_c$, bo'lganda $\hbar\omega_c = 0,02$ eV kvantlovchi magnit maydonidagi ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligi ko'rsatilgan. Bu holda, zaryad tashuvchilarning Landau satxlari chaplanishi juda kuchsiz va ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligi ideal formadan

chetlanishni sezmaydi. Ushbu grafikda valent soha va o'tkazuvchan soha simmetrik energetik spektrlar sifatida olingan. U holda, boshlang'ich ($N_{L(V)}=0$) dan $N_{L(V)}=6$ gacha bo'lgan teshiklarning diskret Landau sathlari kvant o'rasi valent sohasining shiftidan (potologidan) yuqorida bo'ladi. Shuningdek, boshqa, elektronlarning diskret Landau sathlari kvant o'rasi o'tkazuvchan sohasining tubidan pastda bo'ladi.

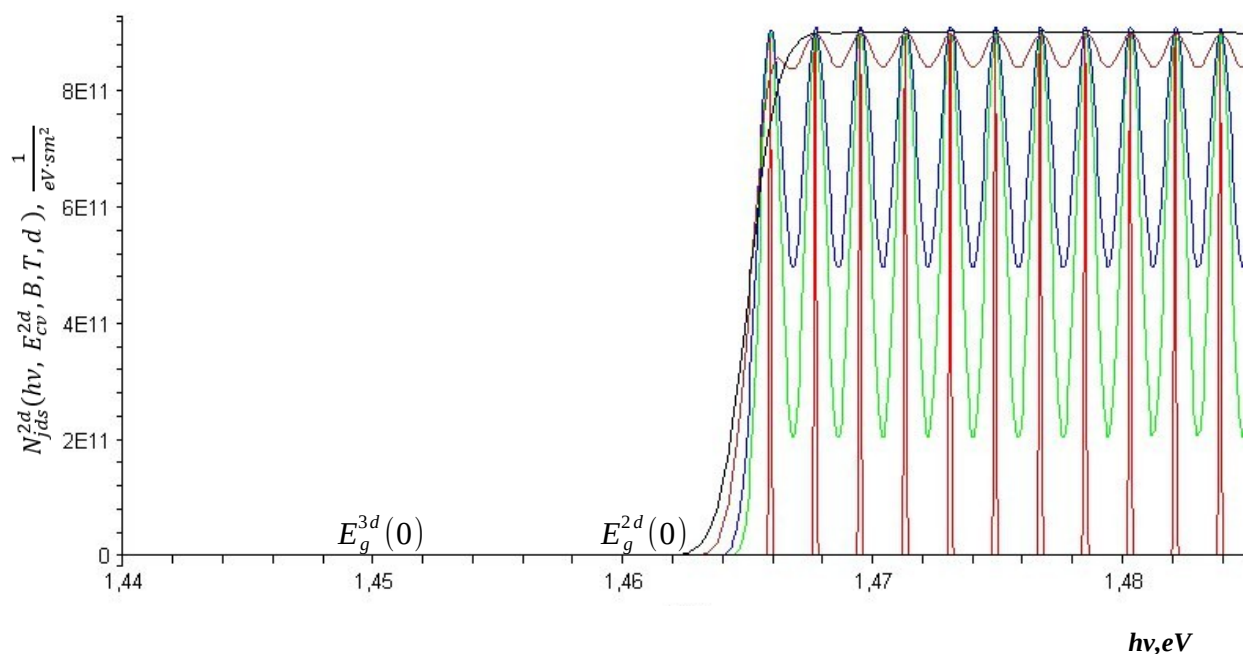


1-rasm. $T=4$ K haroratda va $B=9$ Tl kvantlovchi magnit maydonidagi GaAs/AlGaAs ($d=14$ nm) kvant o'rali geterostrukturalarda ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligining fotonning yutuvchi energiyasiga bog'liqligi

Tahlil va natijalar

2-rasmda haroratning kvantlovchi magnit maydoni ta'sir etganda GaAs/AlGaAs ($d=14$ nm) kvant o'rali, to'g'ri sohali geterostrukturalarda ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligining fotonning yutuvchi energiyasiga bog'liqligiga ta'siri ko'rsatilgan. Bu yerda kvantlovchi magnit maydoni induksiya soni 9Tl ga teng va $N_{jds}^{2d}(\hbar\nu, E_{cv}^{2d}(B, T, d, N_L^{cv}, n_z))$ grafiklar 4 K, 20 K, 40 K, 60K, 77 K haroratlar uchun qurilgan. 2-rasmda ko'rinib turibdiki, harorat ortishi bilan Landau

satxlarning keskin cho‘qqilari silliqлана boradi va yetarlicha yuqori xaroratlarda diskret energetik holatlar zichliklari yaxlit energetik spektrlarga aylanadi. Ushbu natijalar kvant o‘rasi qalinligi va magnit maydonlar o‘zgarmas bo‘lgan holat uchun olingan. Harorat ortishi bilan zaryad tashuvchilar Landau satxlarning keskin cho‘qqilari silliqлана boradi (2-rasm) va $kT \approx \hbar\omega_c^{cv}$ bo‘lganda asta sekin yo‘qolib ketadi. Shuningdek, yetarlicha yuqori $kT > \hbar\omega_c^{cv}$ $N_{jds}^{2d}(\hbar\nu, E_{cv}^{2d}(B, T, d, N_L^{cv}, n_z))$ haroratlarda ular kvant yamasining yaxlit kombinatsiyalangan holatlar zichligiga aylanadi va kvantlovchi magnit maydonining ta‘sirini sezmay qoladi [6-8].



2-rasm. $B=9$ Tl kvantlovchi magnit maydon ta‘sirida, haroratning GaAs/AlGaAs ($d=14$ nm) kvant o‘rali, to‘g‘ri sohali geterostrukturalarda ikki o‘lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligining fotonning yutuvchi energiyasiga bog‘liqligiga ta‘siri.

Bundan tashqari, harorat ortishi bilan ruxsat etilgan kvant o‘rasida elektronlar va teshiklar energiya sathlari kvantlanishi bilan bog‘liq zaryad tashuvchilar Landau satxlarning keskin cho‘qqilari ham asta sekin silliqლanadi. Bu $T=40$ K, $kT=3,5 \cdot 10^{-3}$

eV, $kT \approx \hbar \omega_c^{cv}$ bo'lganda kvant o'rasining zaryad tashuvchilar diskret Landau satxlarning sezilmay qolishiga olib keladi. 77K haroratda, GaAs/AlGaAs kvant o'rasining ruxsat etilgan sohasida diskret Landau sathlari deyarli sezilmaydi va magnit maydoni bo'lmagan holdagi ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligi bilan bir xil bo'ladi [9-10].

Bundan kelib chiqadiki, kvant o'rasining o'tkazuvchan va valent sohalarida ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligi $kT < \hbar \omega_c^{cv}$ bo'lganda kuzatiladi. Haroratning $0.5kT \approx \hbar \omega_c^{cv}$ darajasidan boshlab kvant o'rasining ruxsat etilgan sohasi Landau sathlari kvantlanishi bilan bog'liq bo'lgan ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligi kuzatilmaydi.

Xulosa

Bu holatda, o'lchashlar ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligining yaxlit spektrini beradi. ω_c^{cv} magnit maydonining siklotron chastotasi o'zgarishi kvant o'rasida zaryad tashuvchilarning diskret Landau sathlari orasidagi energetik masofani o'zgartiradi. Magnit maydon ta'sirida GaAs/AlGaAs ($d=14$ nm) kvant o'rali to'g'risohali geterostrukturalarda ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligining grafiklari keltirilgan. Ushbu rasmlardan ko'rinib turibdiki, kvantlovchi magnit maydoni induksiyasi ortishi bilan, zaryad tashuvchilarning diskret Landau sathlari cho'qqilarining o'zgarishiga ega bo'lamiz. Kvantlovchi magnit maydonining ikki o'lchovli elektron tizimlarga ta'siri kvant o'ralarda zaryad tashuvchilarni kvant ushlab turish natijasida paydo bo'luvchi juda qiziq fizik xususiyatlarni namoyish qiladi.

Ushbu kvant cheklash natijasida kvant o'rasidagi zaryad tashuvchilarning ikki o'lchovli kombinatsiyalangan holatlar zichligi Van Xova singulyarligini namoyish qiladi. U yerda, ideal cheksiz nol o'lchamli panjara (kvant nuqta) bo'lgan holda,

kombinatsiyalangan holatlar zichliklari energiyaning aniq qiymatlari uchun cheksizlikka intiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Stilbans L.S. Physics of semiconductors. Moscow, "Soviet Radio". 1967. pp. 416-421.
2. A.V.Mikhailov, A.V.Trifonov, O.S.Sultanov, I.Yu.Yugova, I.V.Ignatiev. Quantum beats of light and heavy-hole excitons in reflection spectra of GaAs/AlGaAs quantum well. Semiconductors. 2022, Vol.56, No.7, pp. 672-676.
3. U.I.Erkaboev, R.G.Rakhimov, N.A.Sayidov, J.I.Mirzaev. Modeling the temperature dependence of the density oscillation of energy states in two-dimensional electronic gases under the impact of a longitudinal and transversal quantum magnetic field. Indian Journal of Physics. 2022. <https://doi.org/10.1007/s12648-022-02435-8>
4. Yu-Shou Wang, Nai-Chuan Chen, Chun-Yi Lu, Jenn-Fang Chen. Optical joint density of states in InGaN/GaN-based multiple-quantum-well light-emitting diodes. Physica B. 2011. Vol.406. pp. 4300–4303.
5. Ulugbek Erkaboev, Rustamjon Rakhimov, Jasurbek Mirzaev, Nozimjon Sayidov, Ulugbek Negmatov, Abdulla Mashrapov. Determination of the band gap of heterostructural materials with quantum wells at strong magnetic field and high temperature // Problems in the textile and light industry in the context of integration of science and industry and ways to solve them: (PTLICISIWS-2022) 5–6 May, 2022, Namangan, Uzbekistan, Volume 2789, Issue 1, JUNE 23 2023, <https://doi.org/10.1063/5.0145556>

6. Abdulazizov, B. T. (2022). Cyclotron mass of an electron in strong magnetic fields in a wide InAs quantum well. Eurasian Journal of Physics and Functional Materials, 6(1), 32-37.
7. B.T. Abdulazizov/Cyclotron mass of an electron in strong magnetic fields in a wide InAs quantum well/ Eurasian Journal of Physics and Functional Materials 2022, 6(1), 32-37, [DOI: 10.32523/ejpfm.2022060103](https://doi.org/10.32523/ejpfm.2022060103)
8. Erkaboev, U.I., Gulyamov, G., Mirzaev, J.I., Rakhimov, R.G., Sayidov N.A. Calculation of the Fermi-dirac function distribution in two-dimensional semiconductor materials at high temperatures and weak magnetic fields // Nano, 2021, 16(9), 2150102, <https://www.scopus.com/sourceid/11300153732>
9. Erkaboev, U.I., Sayidov N.A., Negmatov, U.M., Rakhimov, R.G., Mirzaev, J.I. Influence of a quantizing magnetic field on the Fermi energy oscillations in two-dimensional semiconductors // International Journal of Applied Science and Engineering, 2022, 19(2), 2021123, <https://www.scopus.com/sourceid/21100822732>
10. Bozorov, K. N., Mamatkarimov, O. O., & Abdulazizov, B. T. (2022). Electric and ionic conductivity of potassium antimony tungstate with addition of alkali metals. «Узбекский физический журнал», 24(2), 129-132.