

5. Ivchenko E.L., Rasulov R.Ya. Symmetry and real band structure of a conductor. Tashkent. Fan. - 1989. –126 p.
6. Rasulov, V. R., Rasulov, R. Y., Axmedov, B. B., Muminov, I. A., & Nematov, X. (2020). TWO-PHOTONE LINEAR-CIRCULAR DICHROISM IN NARROW-ZONE SEMICONDUCTORS. European Science Review, (7-8), 54-59.
7. Rasulov, R. Y., Rasulov, V. R., Kuchkarov, M. K., & Eshboltaev, I. M. (2023). Interband Multiphoton Absorption of Polarized Radiation and Its Linear Circular Dichroism in Semiconductors in the Kane Approximation. Russian Physics Journal, 65(10), 1746-1754.
8. Rasulov, V. R., Rasulov, R. Y., Mamatova, M. A., & Gofurov, S. Z. U. (2022). GENERALIZED MODEL FOR THE ENERGY SPECTRUM OF ELECTRONS IN TUNNEL-COUPLED SEMICONDUCTOR QUANTUM WELLS. EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR), 8(12), 1-5.
9. Ахмедов, Б. Б., & Муминов, И. А. (2021). УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА ДЛЯ ДВУМЕРНОГО ВОЛНОВОГО ВЕКТОРА. EDITOR COORDINATOR, 537.
10. Yavkachovich, R. R., Ogli, M. A. A., Umidaxon, R., Makhliyo, M., & Arabboyevich, M. I. (2019). Agency of surface recombination on volt-ampere characteristic of the diode with double injection. European science review, (11-12), 70-73.
11. Расулов, В. Р., Расулов, Р. Я., Муминов, И. А., Эшболтаев, И. М., & Кучкаров, М. (2021). МЕЖДУЗОННОЕ ТРЕХФОТОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В InSb.
12. Rozikov, J., Akhmedov, B., Muminov, I., & Ruziboev, V. (2019). DIMENSIONALLY QUANTIZED SEMICONDUCTOR STRUCTURES. Scientific and Technical Journal of Namangan Institute of Engineering and Technology, 1(6), 58-63.
13. Rustamovich, R. V., Yavkachovich, R. R., Forruх, K., & Arabboyevich, M. I. (2021). THEORETICAL ANALYSIS OF MULTIPHOTON INTERBAND ABSORPTION OF POLARIZED LIGHT IN CRYSTALS WITH A COMPLEX ZONE (PART 1). European science review, (3-4), 48-51.
14. Muminov, I. A., & Muminova, M. (2023). QATTIQ JISMLARNING KRISTALL PANJARALARI. Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences, 3(3), 1314-1317.
15. Arabboyevich, M. I., & Nabijon o'g, S. U. B. (2022). QATTIQ JISM KRISTALLARINI O'STIRISH NAZARIYASI. Scientific Impulse, 1(3), 696-698.
16. Расулов, Р. Я., Расулов, В. Р., Ахмедов, Б. Б., & Муминов, И. А. (2022). Межзонный двухфотонный линейно-циркулярный дихроизм в узкозонных полупроводниках. «Узбекский физический журнал», 24(1), 19-26.
17. Arabboyevich, M. I., & Alijon o'g'li, M. A. (2023). IDEAL GAZLARDA KVANT STATISTIKASI TAHLILI. PEDAGOGICAL SCIENCES AND TEACHING METHODS, 2(20), 235-237.

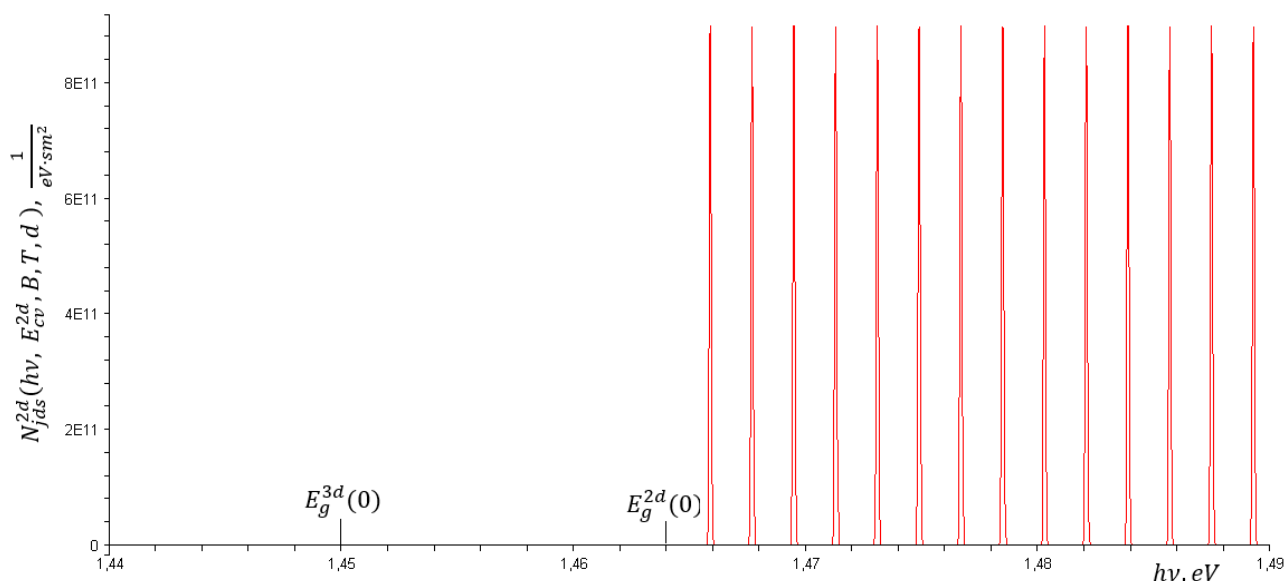
**КВАНТ ЎРАЛИ ГЕТЕРОСТРУКТУРАЛАРДА ИККИ ЎЛЧОВЛИ  
КОМБИНАЦИЯЛАНГАН ҲОЛАТЛАР ЗИЧЛИГИНИНГ ФОТОННИНГ ЮТУВЧИ  
ЭНЕРГИЯСИГА БОҒЛИҚЛИГИ**

*проф. Эркабоев У.И., таянч докторант Сайидов Н.А., талаба Ғайратов С.И.*

Квант ўралари асосидаги аниқ тўғрисиҳоли гетероструктуралар учун квантловчи магнит майдонида икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлигининг ҳароратга боғлиқлигини кўриб чиқамиз. [1] илмий-тадқиқот ишида, қалинлиги 14 нм, тўсик қатламларида озгина (3%) алюминий аралашган, GaAs/AlGaAs квант ўрали, юқори сифатли гетероструктуралар тадқиқ қилинган. Ушбу гетероструктуралар 4К ҳароратда ўрганилган.

Магнит майдони бўлмаганда, GaAs квант ўрасининг таъқиқланган соҳа кенлиги 1,464 эВ га тенг бўлади. 1-расмда  $T=4$  К ҳароратда ва  $B=9$  Тл квантловчи магнит майдонидаги GaAs  $d=14$  nm ( $n_z=1$ ) квант ўраси учун икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлигининг фотоннинг ютувчи энергиясига боғлиқлиги келтирилган. Ушбу график формула бўйича амалга оширилган сонли ҳисоблашлар асосида қурилган. 1-расмда заряд ташувчиларнинг дискрет Ландау сатҳлари сони 14 га тенг. Бу чўққилар (заряд ташувчиларнинг дискрет Ландау сатҳлари ( $N_L^{cv}=14$ )) GaAs квант ўрасининг рухсат этилган соҳасида кузатилади. Унда,  $T=4$ К,  $kT=4 \cdot 10^{-4}$  эВ,  $\frac{\hbar\omega_c}{kT} = 50$ ,  $kT \ll \hbar\omega_c$ . бўлганда  $\hbar\omega_c = 0,02$  eV квантловчи магнит майдонидаги

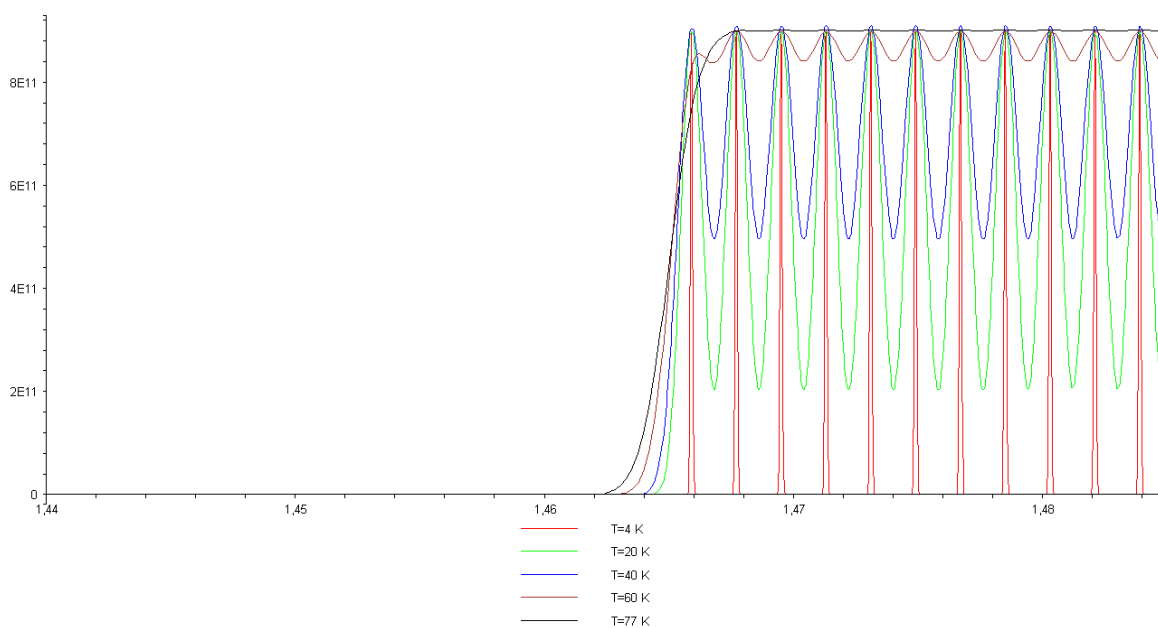
икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлиги кўрсатилган. Бу ҳолда, заряд ташувчиларнинг Ландау сатҳлари чапланиши жуда кучсиз ва икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлиги идеал формадан четланишни сезмайди. Ушбу графикда валент соҳа ва ўтказувчан соҳа симметрик энергетик спектрлар сифатида олинган. У ҳолда, бошланғич ( $N_{L(v)}=0$ ) дан  $N_{L(v)}=6$  гача бўлган тешикларнинг дискрет Ландау сатҳлари квант ўраси валент соҳасининг шифтидан (потологидан) юқорида бўлади. Шунингдек, бошқа, электронларнинг дискрет Ландау сатҳлари квант ўраси ўтказувчан соҳасининг тубидан пастда бўлади.



**1-расм.**  $T=4$  К ҳароратда ва  $B=9$  Тл квантловчи магнит майдонидаги GaAs/AlGaAs ( $d=14$  nm) квант ўрали гетероструктураларда икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлигининг фотоннинг ютувчи энергиясига боғлиқлиги

2-расмда ҳароратнинг квантловчи магнит майдони таъсир этганда GaAs/AlGaAs ( $d=14$  nm) квант ўрали, тўғри соҳали гетероструктураларда икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлигининг фотоннинг ютувчи энергиясига боғлиқлигига таъсири кўрсатилган. Бу ерда квантловчи магнит майдони индукция сони 9Тл га тенг ва  $N_{jds}^{2d}(\hbar\nu, E_{cv}^{2d}(B, T, d, N_L^{cv}, n_z))$  графиклар 4 К, 20 К, 40 К, 60К, 77 К ҳароратлар учун қурилган. 2-расмда кўриниб турибдики, ҳарорат ортиши билан Ландау сатҳларининг кескин чўққилари силлиқлана боради ва етарлича юқори ҳароратларда дискрет энергетик ҳолатлар зичликлари яхлит энергетик спектрларга айланади. Ушбу натижалар квант ўраси қалинлиги ва магнит майдонлар ўзгармас бўлган ҳолат

учун олинган. Ҳарорат ортиши билан заряд ташувчилар Ландау сатхларининг кескин чўққилари силлиқлана боради ва  $kT \approx \hbar\omega_c^{cv}$  бўлганда аста секин йўқолиб кетади. Шунингдек, етарлича юқори  $kT > \hbar\omega_c^{cv} N_{jds}^{2d}(\hbar\nu, E_{cv}^{2d}(B, T, d, N_L^{cv}, n_z))$  ҳароратларда улар квант ямасининг яхлит комбинацияланган ҳолатлар зичлигига айланади ва квантловчи магнит майдонининг таъсирини сезмай қолади. Бундан ташқари, ҳарорат ортиши билан рухсат этилган квант ўрасида электронлар ва тешиқлар энергия сатҳлари квантланиши билан боғлиқ заряд ташувчилар Ландау сатхларининг кескин чўққилари ҳам аста секин силлиқланади. Бу  $T=40\text{K}$ ,  $kT=3,5\cdot 10^{-3}$  эВ,  $kT \approx \hbar\omega_c^{cv}$  бўлганда квант ўрасининг заряд ташувчилар дискрет Ландау сатхларининг сезилмай қолишига олиб келади.  $77\text{K}$  ҳароратда, GaAs/AlGaAs квант ўрасининг рухсат этилган соҳасида дискрет Ландау сатҳлари деярли сезилмайди ва магнит майдони бўлмаган ҳолдаги икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлиги билан бир хил бўлади. Бундан келиб чиқадики, квант ўрасининг ўтказувчан ва валент соҳаларида икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлиги  $kT < \hbar\omega_c^{cv}$  бўлганда кузатилади. Ҳароратнинг  $0.5kT \sim \hbar\omega_c^{cv}$  даражасидан бошлаб квант ўрасининг рухсат этилган соҳаси Ландау сатҳлари квантланиши билан боғлиқ бўлган икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлиги кузатилмайди.



**2-расм.**  $B=9$  Тл квантловчи магнит майдон таъсирида, ҳароратнинг GaAs/AlGaAs ( $d=14$  нм) квант ўрали, тўғрисиқоҳали гетероструктураларда икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлигининг фотоннинг ютувчи энергиясига боғлиқлигига таъсири.

Бу ҳолатда, ўлчашлар икки ўлчовли комбинацияланган ҳолатлар зичлигининг яхлит спектрини беради.  $\omega_c^{cv}$  магнит майдонининг циклотрон частотаси ўзгариши квант ўрасида заряд ташувчиларнинг дискрет Ландау сатҳлари орасидаги энергетик масофани ўзгартиради. Ушбу расмлардан кўриниб турибдики, квантловчи магнит майдони индукцияси ортиши билан, заряд ташувчиларнинг дискрет Ландау сатҳлари чўққиларининг ўзгаришига эга бўламиз.

Бу ишда тўғри бурчакли квант ўралар асосидаги гетероструктураларда комбинацияланган (бирлашган) ҳолатлар зичлиги осцилляциясининг кучли магнит майдонига боғлиқлиги ўрганилган. Наноўлчамли тўғри соҳали гетероструктураларда квантловчи магнит

майдонининг комбинацияланган ҳолатлар зичлиги ҳароратига таъсири ўрганилган. Квантловчи магнит майдонларида квант ўраларининг икки ўлчамли комбинацияланган ҳолат зичлигининг ҳароратга боғлиқлигини ҳисоблаш учун янги математик модель ишлаб чиқилган. Таклиф этилган модель наноўлчамли, тўғри соҳали, параболик қонунга бўйсунувчи дисперсияли яримўтказгичлардаги экспериментал натижаларни изоҳлайди.

#### Фойдаланилган адабиётлар

1. 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.
2. 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>
3. 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.

### KREMNIYDA III-V BINAR BIRIKMALARNI SHAKILLANTIRISH SHARTLARI.

X.M. Iliyev, S.B. Isamov, B.O. Isakov, R. Sobirjonov, V. Sultonov

**Annotatsiya.** Yorug'lik diodlari, lazerlar, tezkorligi yuqori bo'lgan maydonli tranzistorlar kabi elektron qurilmalar, samaradorligi yuqori bo'lgan quyosh panellarini ishlab chiqishda asosiy material hisoblanadigan III-V binar birikmali yarimo'tkazgichlarga bo'lgan qiziqish tobora ortib bormoqda. Lekin III-V binar birimali yarimo'tkazgichlar sanoatda hom ashyo sifatida noyob va qimmat material bo'lganligi sababli, ularni kremniy kabi sanoatda hom ashyo sifatida ulkan zaxiraga ega va olinish texnologiyasi yaxshi o'zlashtirilgan material asosida shakillantirish dolzarb masalalardan biridir. Shu munosabat bilan ushbu ishda kremniyda III-V binar birikmalarni shakillanish shartlari haqida so'z yuritilgan.

**Kalit so'zlar:** kremniy, III-V binar birikmalar, kristall panjara, sirt va sirt oldi qatlam.

Ma'lumki elektronika sohasida eng ko'p qo'llaniladigan asosiy yarim o'tkazgich material kremniy hisoblanadi. Yer shari qatlamida kremniy zahirasining ko'pligi, standart olinish texnologiyasining mavjudligi kabi bir qator ustun jihatlari bo'lishiga qaramay, kremniyning taqiqlangan soha kengligi, zaryad tashuvchilarning harakatchanligi, energetik zona tuzilishi kabi asosiy parametrlari, hozirgi jadal rivojlanib borayotgan elektronika sohasi talablariga javob beraolmayapdi [1,2,3]. Shuning uchun bugungi kunda kremniy xossalarini tubdan o'zgarishiga olib keluvchi III-V binar birikmalarni kremniyning sirt va sirt oldi qatlamida hamda kristal panjarasida shakillanishini o'rganish ilmiy va amaliy ahamiyatga ega [4,5,6,7].

Nazariy jihatdan kremniyning qaysi sohasida III-V binar birikmalar shakillanishiga qarab shartlarni quyidagi ikki sinfga bo'lamiz: