

FAN VA TEXNOLOGIYALAR TARAQQIYOTI

DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGI

1
2026

Tahririyat hay'ati raisi:
SIDDIQOVA S.G'. –
Buxoro davlat texnika universiteti rektori

Muovini:
NIZAMOV A.B. –
BuxDTU ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha prorektori
Tahrir hay'ati:

MUQIMOV K.M. – O'zR FA akademigi (O'zMU)
JALILOV A.T. – O'zR FA akademigi (Toshkent kimyo-texnologiya ITI)
NEGMATOV S.N. – O'zR FA akademigi ("Fan va taraqqiyot" DUK)
BAHODIROV G'.A. – t.f.d., professor, O'zR FA bosh ilmiy kotibi
XAMIDOV O.X. – iqtisod fanlari doktori, professor (BuxDU)
JALILOV T.K. – iqtisod fanlari doktori (DSc), professor (TKTI)
PARDAYEVA M.D. – BuxDTU yoshlar masalalari va ma'naviy-ma'rifiy ishlar bo'yicha birinchi prorektori, falsafa fanlari doktori (DSc)
XOJIYEV A.X. – o'quv ishlari bo'yicha prorektor, texnika f.f.d. (PhD)
SAIDOV S.B. – Buxoro DTU moliya va iqtisod ishlari bo'yicha prorektori
QURBONOV J.M. – texnika fanlari doktori, professor (Samarqand ISI)
ADIZOV B.Z. – texnika fanlari doktori (DSc), pprofessor, O'zRFA UNKI
ASTANOV S.X. – fizika-matematika fanlari doktori, professor
RAXMONOV X.Q. – texnika fanlari doktori, professor
VOXIDOV M.M. – texnika fanlari doktori, professor
JO'RAYEV X.F. – texnika fanlari doktori, professor
SADULLAYEV N.N. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAJIDOV Q.X. – texnika fanlari doktori, professor
FOZILOV S.F. – texnika fanlari doktori, professor
ISABAYEV I.B. – texnika fanlari doktori, professor
ABDURAHMONOV O.R. – texnika fanlari doktori, professor
GAFUROV K.X. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
XAYDAROV A.A. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
JO'RAYEV F.O'. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MURADOVA F.R. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
JUMAYEV M.R. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
YUNUSOVA G.S. – falsafa fanlari doktori (DSc), professor
BOBOYEV A.Ch. – iqtisodiyot fanlari nomzodi, professor
TO'XTAYEVA Z.Sh. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV M.J. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
HAYITOV R.R. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
BOZOROV G'.R. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
BOLTAYEV Z.I. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
OLTIYEV A.T. – texnika fanlari doktori, (DSc)
JALILOV R.B. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV M.I. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAJIDOVA N.Q. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
AXMEDOV V.N. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
MAXMUDOV R.A. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
PULATOVA M.I. – fizika-matematika fanlari nomzodi, professor
RAHMATOV Sh.A. – pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
OCHILOV A.R. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
O'RINOV U.A. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
PO'LATOVA S.U. – texnika fanlari doktori (DSc), professor
SAMIYEVA Sh.X. – pedagogika fanlari doktori (DSc), professor
TESHAYEV M.X. – fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor
XAITOV V.U. – iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
XOJIYEV Sh.M. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
XAYITOV Sh.N. – iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent
ZOIROV E.X. – falsafa fanlari doktori (DSc), dotsent
NARZIYEV M.S. – texnika fanlari doktori (DSc), dotsent
NAMAZOVA N.J. – iqtisodiyot fanlari b.f.d. (PhD), dotsent

Bosh muharrir: DO'STOV H.B. – kimyo fanlari doktori, professor

Muharrirlar: Artikova M.M., Istamova G.X.
Musahhih: Barakayeva D.F.

FAN VA TEXNOLOGIYALAR
TARAQQIYOTI
ILMIY-TEXNIKAVIY JURNAL

DEVELOPMENT OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Jurnal O'zbekiston matbuot va axborot agentligi Buxoro viloyati boshqarmasida 2014 yil 22-sentyabrda № 05-066-sonli guvohnoma bilan ro'yxatga olingan

Muassis:
Buxoro davlat texnika universiteti

Jurnal O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi OAK Rayosatining 2017 yil 29-martdagi №239/5-sonli qarori bilan dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan. 2019 yilda O'zbekiston Respublikasi OAK Rayosatining qarorlari bilan qayta ro'yxatdan o'tkazilgan.

Tahririyat manzili:
200117, Buxoro shahri, Q. Murtazoyev ko'chasi, 15-uy, Buxoro davlat texnika universiteti
Tel: 0(365) 223-92-40
Faks: 0(365) 223-78-84
E-mail: fannt_jurnal@umail.uz

Jurnalning to'liq elektron varianti bilan <http://journal.bstu.uz> sayti orqali tanishish mumkin.

Ushbu jurnalda chop etilgan materiallar tahririyatning yozma ruxsatisiz to'liq yoki qisman chop etilishi mumkin emas. Tahririyatning fikri mualliflar fikri bilan har doim ham mos tushmasligi mumkin. Jurnalda yoritilgan materiallarning haqqoniyligi uchun maqolalarning mualliflari va reklama beruvchilar mas'uldirlar.

MUNDARIJA – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENT

TEXNIKA, TEXNOLOGIYA VA JIHOZLAR	
Normayev Q.H., Pardayeva Sh.S., Pirnazarov Sh.V., Ashirova M.R., Jalg'asova G.S. Burg'ilash mashinalari va ularning mexanizmlarini samarali qayta tiklash texnologiyalari.	5
Azamjonov R.S. Eksploatatsiyadagi avtoyo'l ko'priklarining yuk ko'tarish qobiliyatini oshirish usulini takomillashtirish	11
Xolmuxammadiyev A.M., Toshev Sh.O. Burg'ulash eritmasidan markazdan qochma separator yordamida yengillashtirilgan eritma tayyorlash texnologiyasi	15
Джураев Х.Ф., Ўктамова Ш.Х. Ковок уруғи қобиғининг синдириш кучларини аниқлаш методикаси	20
Mansurov O.A. Improving the drying process of fruits using convective method.	24
Jo'rayev F.O', Jo'rayev A.A., Saidova G.K. Uneversal qurilmaning yumshatuvchi ish oraganining parametrlarini uning ish ko'rsitkichlariga ta'siri.	27
Авлиякулов Н.Н. Достижение качества измерительных процессов при метрологическом обеспечении производства	32
Do'stov H.B., Rahimov B.R., Savriyev F.A. Suvlangan gaz quduqlarini qayta ishga tushirish texnologiyasini takomillashtirish tahlili.	36
KIMYO VA KIMYOVIY TEXNOLOGIYALAR	
Toshboyev S.O', Panoyev E.R., Hasanov Z.Z. Gazlarni tozalashda qo'llaniluvchi absorbentlarning tavsifi va unda hosil bo'ladigan ko'piklanish sabablari.	43
Умаров С.Х., Рустамов В.Дж., Халлоков Ф.К., Ходжаев У.О., Нарзуллаева З.М. Механизм отрицательной фотопроводимости в TiGaSe ₂	47
Фозилов Х.С., Туробжонов С.М., Фозилов С.Ф. Маҳаллий иккиламчи хом ашё – куйи молекулали полиэтиленни оксидлаб синтетик юқори ёғ кислоталари олиш ва уларнинг физик-кимёвий хоссалари.	52
Абдирахимов И.Э. Способы предотвращения образования гидрата при переработке газов.	57
Alinazarov A.X., Shariboyev N.Y., Jo'raxanov D.M. Anaerob parchalanish jarayonida harorat barqarorligining metanogen bakteriyalar faolligiga ta'siri va uni quyoshli issiqlik tizimi orqali ta'minlash.	61
Abdirakhimov I.E. Anticorrosion properties of copper phosphide.	66
Norqulov J.F., Ibodullayev M.X., Abduraxmonov O.R., Kodirov O.Sh. Amin eritmalarini issiqlikka bardoshli tuzlardan tozalash jarayonini modellashtirish.	72
Абдирахимов И.Э., Буранов Ф.Э., Курбанов А.Т. Исследование технологических параметров, рекомендованных для синтеза этилена из метана.	79
Rahimov B.R. Yuqori qatronli neftlarning qovushqoqligini pasaytiruvchi depresantlar kompozitsiyasini ishlab chiqish.	86
Эшдавлатова Г.Э., Камолов Л.С. Определение концентрации диэтанолamina титриметрическим методом	91
Rahimov B.R. Qoldiq neftlarni olishda chuqurlik nasos qurilmasini takomillashtirishning dolzarb muamolari.	96
Yuldashev T.R., Buronov F.E., Hafizov S.Sh. Tabiiy gazning tarkibidagi zaharli komponentlarni aminlar yordamida tozalash jarayonlari.	100

MASHINASOZLIK VA ENERGETIKA	
Bafoyev D.X. Detallar sirtini plastik deformatsiyalash va bir tekis mikrorelefnı shakllantirish	107
Majitov J.A. Bioreaktor devorining turli sirtlarida issiqlik berish koeffitsiyentlarini hisoblash va tahlil etish.	112
Azamov S.S. Uch fazali tok o'zgartkichlari yordamida asinxron motorlarni himoya qilish tizimi tatqiq etish.	118
Maxmudov M.I., Qo'shshayeva M.R., Nurov S.S., Timirov H.N., Sayfiyev H.O. Quyosh panellarining samaradorligiga changlanganlikning ta'sirini o'rganish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar tahlili.	122
Атауллаев А.О. Исследование и разработка виброустойчивых инклинометрических преобразователей для систем контроля и управления.	128
Tovboyev A.N., Tog'ayev I.B. Tojlanish jarayonining yuqori kuchlanishli havo liniyalaridagi quvvat yo'qotishlariga ta'sirini baholash.	135
Murodov K.J. Ko'p qavatli binolarning vertikal chiqindi quvurlaridagi suyuqlik oqimlaridan elektr energiya hosil qilish.	141
Xamroyev X.X. Mexanik ishlov berishda sirt qatlamining mexanik xususiyatlari.	145
Tojimurodov D.D. Asinxron motorlarni nosimmetrik rejimlari.	149
Sadullayev N.N., Nematov Sh.N., To'xtayev Sh.B., Soliyeva Z.N., Murtazoyev F.F. O'zbekistonda quyosh sovitish tizimlari va ularning texnik imkoniyatlari.	154
INFORMATIKA VA AXBOROT – KOMMUNIKATSION TIZIMLAR	
Babomuradov O.J., Kuyliyeva F.A. Statistical analysis of social network messages.	163
Madaminov U.A., Qodirov D.R. Katta hajmli ma'lumotni parallel qayta ishlashda Hadoop MapReduce tizimini qo'llash.	168
Каххоров М.М. Моделирование ветровой турбины типа Дарье и обоснование её параметров в системе Ansys Fluent.	173
Maxmudov M.Sh. Relief morfometrik ko'rsatkichlari asosida marshrutlashning model va algoritmlari.	179
OZIQ-OVQAT SANOATI TEXNOLOGIYALARI	
Ravshanov S.S., Botirov M.Sh., Ergashev A.M., Mirzaev J.D., Shodmonqulova Q. Quruq iqlimda yetishtirilgan bug'doy donini ochiq omborlarda saqlashning mahsulot xossalariga ta'siri.	184
Sharipov N.Z., Qo'ldosheva F.S. Gilos danagidan moy olish jarayonini infraqizil nurlar yordamida jadallashtirish.	187
Шарипов Н.З. Интенсификация процесса получения масла из ядра косточек вишни в поле сверхвысокочастотного тока.	190
Баракаев Н.Р., Шукуров Ю.У. Мева ва сабзавотларни сублимация йўли билан қуритишнинг илмий асослари.	194
Ibragimov R.R., Sharipov N.Z. Bodringni konservalash jarayonida noan'anaviy usulda issiqlik ishlov berish jarayonini nazariy asoslari.	199
Kuliyev N.Sh. Meva va sabzavot sharbatlarini ko'pirtirishda ko'pik hosil qilish va emulgirlash xususiyatlarining dinamikasi.	203
Мухамедова М.Э. Разработка рецептуры диабетических сдобных сухарей с использованием синергии растительных компонентов.	209
Хужакулов У.К., Мажидова Н.К., Мажидов К.Х. Исследование показателей качества местных сортов овощной продукции длительного хранения.	220

Файзиев А.А., Ахмедов В.Н., Кедельбаев Б.Ш. Технология приготовления натурального мясного полуфабриката ферментированного бифштекса	227
TO‘QIMACHILIK VA YENGIL SANOAT TEXNOLOGIYALARI	
Ramazonov S.S., Ismoyilov F.B. Tola sifatini yaxshilash va tozalash maqsadida jinlash mashinasini ishchi qismlarini takomillashtirish.	233
Muxitdinova M.A., Bebutova N.N. Milliylik va zamonaviylik uyg‘unligi: O‘zbek libos dizaynida yangi yo‘nalishlar.	237
Nematova L.X., Qodirova D.X. Yoshi katta ayollar fe‘l atvori belgilari bo‘yicha iste’molchilarning tipologik xususiyatlarini aniqlash.	242
Saidova A.S., Saidova G.Sh., Fayzilloyeva N.B. Tikuv mashinasining tahlama qurilmadagi taxlam hosil qilishda takomillashgan tahlam berishdagi tishlarini turli ko‘rinishda choklarga ta’siri.	246
Совутов М.Э., Мусаев Н.М., Холиқов К.М., Мукимов М.М. Иссиқлик сақлаш хусусияти юқори бўлган трикотаж тўқималарининг физик-механик кўрсаткичлари тадқиқи . . .	251
Shodmonova M.S. Elastikligi yuqori bo‘lgan polimer kompozitsiya olish usulini ishlab chiqish	258
Садуллаева Д.А. Современные материалы: Хан-атлас – традиция и инновация.	261
Джурраев А., Росулов Р.Х., Пардаев Б.Ч., Имомназаров М.С. Пахтани майда ифлосликлардан тозалагичнинг самарали конструкцияси.	267
Aliyev Sh.B. Tikuv mashinasining tishli reykasini lazer nuri yordamida termik ishlov berishning matematik modeli.	270
Musayev S.S., Qodirov T.J. Reseptura ko‘rsatkichlarining poliolefin va etilenpropilen kau-chugi asosidagi poyabzal kompozitsiyalarining iste’mol va texnologik xususiyatlariga ta’siri.	275
Amonov A.R., Muxammedjanov M.M. Tikuv mashinasi qavariq rezinali vtulkali qayishqoq tayanchlarga o‘rnatilgan bosh vali tebranish amplitudasi tahlili.	281
Berdimuratov U.T., Rosulov R.X., Pardayev B.Ch. Arrali jinlar konstruksiyasi, asosiy ishchi organlari, ishlash jarayoni.	284
Muxammedova M.O., Axmedov J.J. O‘smirlar uchun soddalashtirilgan ortopedik poyabzal elementlarining konstruktiv yechimlarini ishlab chiqish.	286
Temirova G.I., Shodmonova M.S. Polimer kompozitsiya asosida ko‘p qatlamli mo‘ynali paketlar tayyorlash texnologiyasi.	291
Saidova X.X., Murodova Z., Ulugova N. 3D va ko‘p o‘lchovli geometrik yondashuvlar asosida bolalar kiyimini konstruktiv loyihalash.	295
Kuliyeva D.R. Bazalt mato qo‘llanilgan maxsus kiyim turini tanlash va konstruksiyasini ishlab chiqish	299
Sharipov J.O., Sayitqulov S.O., Begmurodov A.F. Detallarni yeyilishi va korroziyalanishiga asosiy sabablar hamda ulardan himoyalaniş.	306
Toshpulotov L.I., Xamrayeva S.A. Turli o‘rilishli ikki qatlamli ko‘ylakbop matolarning mexanik va deformatsion xususiyatlarining o‘zgarishi.	309
Sayitqulov S.O., Razzoqov R.R. Paxtani mayda iflosliklardan tozalash mashinasining yangi konstruksiyasini ishlab chiqish.	314
Qodirova S.X. Ayollar ustki liboslari bo‘yicha istiqbolli moda yo‘nalishlarini tahlil qilish	318
Каримова Н.Х. Оценка свойств двухслойных трикотажных тканей на основе структурного и механического анализа противостойчивости к трению и разрывного удлинения . . .	322
Maxmudova X.M. Paxta quritishning ahamiyatliligi va undagi texnik muammolar.	326
Behbudov Sh.H., Samadova M.O. Ip va matoga ta’sir etuvchi tashqi kuchlar asosida tikuv mashinasi bo‘g‘inlarining harakat tenglamalarini tahlil qilish.	332

Шопулатов А.А., Райимкулов Ж.К., Бердимуратов У.Т., Росулов Р.Х. Пахтани майда ифлосликлардан тозалашда қозикчали-планкали барабан планкаларининг таъсири	336
Sultonov M.M., Aloxodjayev A.M., Mirzaaxmedova D.Yu. Takomillashtirilgan tozalash qurilmasining texnologik parametrlarini tadqiq qilish.	340
Azimova G.A., Shokirov L.B. Mahalliy xomashyolarga asoslangan yarim jun to‘qimalar ishlab chiqishning dolzarb masalalari.	350
Agzamova S.M., Gulyayeva G.X., Mukimov M.M., Karimova N.H. Turli xomashyoli ikki qatlamli trikotaj to‘qimalarining sifat ko‘ratkichlarini kompleks baholash.	354
ANIQ VA IJTIMOIIY-IQTISODIY FANLAR	
Mannonov Y.O. Kitobxonlik madaniyatini oshirishning ayrim masalalari.	360
Мухамадиев Б.Т, Мухамадиева З.Б., Джамалов С.Ш. Значение сбалансированного кишечного микробиома в укреплении физического и психологического здоровья	363
Xakimova M.Y. Elektron kutubxonani yaratishda zamonaviy dasturiy-texnik ta’minot	372
Шарипов М.З., Назаров Э.С., Зокирова З.М., Иброхимова С.Ш., Муминов Ш.Х. Структура и свойства одномерных микромагнитных конфигураций в ферромагнитных кристаллах.	375
EKOLOGIYA VA ATROF MUHIT MUHOFAZASI	
Мамедов Р.А., Жамолов Ж.Ж. Оценка низконапорного гидроэнергетического потенциала водозаборных сооружений и ирригационных каналов.	381
Мамедов Р.А. Исследование зависимости выхода водорода от термохимических характеристик электролита в процессе электролиза.	391

МЕХАНИЗМ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В TlGaSe_2

¹Умаров С.Х., ²Рустамов В.Дж., ¹Халлоков Ф.К., ¹Ходжаев У.О., ¹Нарзуллаева З.М.

¹Бухарский Медицинский Институт им. Абу Али ибн Сино, Бухара,

²Гянджинский Государственный Университет, Гянджа, Азербайджан

Аннотация. В работе отражены результаты исследования механизма отрицательной фотопроводимости (ОФП) в TlGaSe_2 . Для достижения поставленной цели получены крупные монокристаллы методом Бриджмена - Стогбаргера, использовались особо чистые элементы таллий, галлий, и селен. Объяснено в монокристаллах TlGaSe_2 , содержащих примеси с глубокими уровнями, обычно используется схема электронных переходов, предполагающая примесное поглощение света и сложный характер рекомбинации носителей. Исследованию примесной фотопроводимости и ОФП кристаллов TlGaSe_2 , установлено наличие рекомбинационных уровней с энергиями $E_{cr1} = 1,2$ эВ, $E_{cr2} = 0,95$ эВ в то же время, длинноволновая граница ОФП соответствует 1,0 эВ, которая в пределах точности эксперимента совпадает с положением r_2 .

Ключевые слова: механизма отрицательной фотопроводимости, крупные монокристаллы, глубокими уровнями, схема электронных переходов, рекомбинации носителей.

MECHANISM OF NEGATIVE PHOTOCONDUCTIVITY IN TlGaSe_2

¹Umarov S.Kh., ²Rustamov V.Dj., ¹Khallokov F.K., ¹Khodjaev U.O., ¹Narzullaeva Z.M.

¹Abu Ali ibn Sino Bukhara Medical Institute, Bukhara,

²Ganja State University, Ganja, Azerbaijan

Abstract. The paper presents the results of a study of the mechanism of negative photoconductivity (NPC) in TlGaSe_2 . To achieve this goal, large single crystals were produced using the Bridgman-Stogbarger method, using highly pure elements: thallium, gallium, and selenium. It is explained that in TlGaSe_2 single crystals containing deep-level impurities, an electron transition scheme is typically used that assumes impurity absorption of light and complex carrier recombination.

In the study of impurity photoconductivity and NPC of TlGaSe_2 crystals, the presence of recombination levels with energies $E_{cr1} = 1.2$ eV $E_{cr2} = 0.95$ eV was established; at the same time, the long-wavelength boundary of the NPC corresponds to 1.0 eV, which, within the accuracy of the experiment, coincides with the position of r_2 .

Key words: mechanism of negative photoconductivity, large single crystals, deep levels, electron transition diagram, carrier recombination.

Введение. В последние годы внимание исследователей привлекают слоистые кристаллы со сложной структурой, обладающие сильной анизотропией электронных и колебательных спектров. Интенсивно изучаются зонная структура и динамика решетки тройных слоистых полупроводников группы $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}_2$, в частности TlGaSe_2 . Таллий – галлиевый диселенид в силу особенностей технологии изготовления представляет собой полупроводник, запрещенная зона которого весьма насыщена локальными уровнями. С целью дальнейшего управления фотоэлектрическими свойствами необходимо полная информация о спектре примесных состояний в запрещенной зоне монокристалла. Однако, на сегодняшний день фактически отсутствуют данные об энергетическом положении соответствующих уровней в запрещенной зоне, сведения о концентрации центров, их заполняемости, сечений захвата основных и неосновных носителей, характерные времена релаксации фототока в TlGaSe_2 . Поэтому возникает необходимость систематического исследования фотоэлектрических свойств позволяющего построить единую картину рекомбинационных процессов в этих монокристаллах и объяснить ее детали. Актуальность подобного исследования и тем, что в последнее время на основе сложных слоистых полупроводников типа $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}_2$ предложены приемники для видимой и ближней инфракрасных областей, оптических модуляторов и др.

Отрицательная фотопроводимость полупроводников - это явление, при котором уменьшается электропроводность полупроводника под воздействием света, в противоположность обычному положительному эффекту, когда проводимость растет. Оно возникает из-за того, что свет, помимо создания свободных носителей заряда (фотогенерация), может также приводить к увеличению концентрации или подвижности захватчиков носителей заряда (например, ловушек или примесей), что приводит к их рекомбинации и снижению общего числа носителей, участвующих в проводимости.

Механизмы отрицательной фотопроводимости:

- Влияние ловушек: Если свет ионизирует примесные центры, которые являются захватчиками носителей заряда, они могут захватывать носители, тем самым снижая их подвижность или уменьшая их общее число в зоне проводимости, что приводит к снижению проводимости.
- Изменение типа проводимости: В некоторых случаях, например, в полупроводниках n-типа, свет может вызывать захват электронов на примесных уровнях или увеличение концентрации акцепторных примесей, что приводит к снижению проводимости.
- Феномен «захвата – переброса»: Иногда свет может вызывать захват носителей на определенные центры, что приводит к переходу их на более глубокие энергетические уровни, где они менее подвижны или вовсе захватываются, тем самым снижая проводимость.

Условия возникновения:

- ✓ Обычно отрицательная фотопроводимость наблюдается в полупроводниках с большим количеством примесей или дефектов, создающих ловушки для носителей заряда.
- ✓ При определенных условиях освещения (частота, интенсивность) свет может активировать эти ловушки и приводит к снижению проводимости.

Отличие от положительной фотопроводимости:

- Положительная фотопроводимость: Свет создает новые свободные носители заряда (электроны и дырки), увеличивая электропроводность.
- Отрицательная фотопроводимость: Свет вызывает захват или рекомбинацию уже существующих носителей заряда, что приводит к снижению электропроводности.

Согласно выше изложенного целью настоящей исследования является определение «физических механизмов отрицательной фотопроводимости в монокристаллах TlGaSe_2 и объяснить ее детали...»

Методика эксперимента. Для достижения поставленной цели использовались кристаллы, синтезированные сплавлением компонентов в стехиометрическом соотношении в вакуумированных ($\sim 10^{-3}$ Па) и запаянных кварцевых ампулах. Используемые для исследований кристаллы p-типа были получены методом Бриджмена-Стокбаргера. Симметричные контакты к образцам изготавливались из эвтектической смеси In-Ga. При напряженностях электрического поля $E > 40$ В/см контакты становятся инжектирующими.

С учетом кристаллизационных особенностей TlGaSe_2 этот метод оказался более эффективным при выращивании крупных монокристаллов. С другой стороны выбор данного метода был обусловлен следующим обстоятельством. В ходе экспериментов по изучению фотопроводимости возникла необходимость выращивания специального легированных кристаллов TlGaSe_2 .

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Отрицательную фотопроводимость – уменьшение проводимости при освещении полупроводников – наблюдали многие авторы на ряде полупроводниковых веществ. Из обзора опубликованных работ следует, что отрицательной фотопроводимости (ОФП) имеет в различных случаях различную природу.

Для объяснения ОФП в полупроводниках, содержащих примеси с глубокими уровнями, обычно используется схема электронных переходов, предполагающая примесное поглощения света и сложный характер рекомбинации носителей. Такая модель была предложена Волькенштейном. Жузе и Рывкиным [1] и детально проанализирована Штокманом в связи с исследованиями отрицательного фотоэффекта в германии с радиационными дефектами, вызванными электронным облучением [2]. Согласно модели Штокмана, если под действием света происходит освобождение неосновных носителей с каких либо центров, то отрицательная фотопроводимость должна быть следствием быстрой рекомбинации этих неосновных носителей с основными. Следует однако отметить, что модель Штокмана требует одновременного наличия большого числа дырок на уровнях,

ответственных за ОФП, и малости термического выброса электронов в зону проводимости. Удовлетворить этим противоречивым требованиям можно лишь при выполнении весьма жестких требований к сечениям захвата.

В других случаях такой эффект (ОФП) связан с уменьшением подвижности носителей тока вследствие увеличения концентрации заряженных центров при подсветке [2, 3]. В работе [4] авторы утверждают, что ОФП в Si (W) обусловлена увеличением сечения захвата электронов на отталкивающие центры вольфрама с увеличением электрического поля. Несколько сложнее интерпретируется ОФП, наблюдаемая как проявление поверхностных свойств полупроводника или явлений на контактах [5]. В [6] ОФП объясняется диффузией. Фотоэлектронов к поверхности с рекомбинацией их в поверхностном инверсном слое и прекращением инжекции дырок с поверхности в объём, а в [7] ОФП связывается с увеличением сопротивления поверхностного домена при примесном фото возбуждении.

В [8] предлагается модель, позволяющая объяснить основные особенности ОФП с медленной кинетикой. Исходным пунктом всех рассуждений является тот факт, что ОФП наблюдается в образцах, которым свойственны эффекты долговременной релаксации фотопроводимости (ДРФ). Модель представляет собой неоднородный полупроводник, содержащий включения, имеющие глубокие примесные уровни. Эта сравнительно несложная модель способна объяснить основные наблюдаемые закономерности ОФП. Рассмотренный механизм нетрудно реализовать на простой структуре, представляющей собой неоднородный полупроводник, содержащий включения, имеющие глубокие примесные уровни. Эта сравнительно не сложная модель способна объяснить основные наблюдаемые закономерности ОФП. Рассмотренный механизм нетрудно реализовать на простой структуре, представляющей собой тонкую низкоомную пленку на подложке, содержащую глубокие компенсированные уровни. Отметим, что в работе [9] исследовалась именно такая структура.

При исследовании особенностей ОФП в кристаллах TiGaSe_2 , нами установлен ряд экспериментальных фактов, существенно отличающихся от вышеуказанных случаев и не укладывающихся в рамки упомянутых моделей. Это следующие: 1) ОФП имеет свою остаточную (ООП) в тоже время долговременная релаксация собственной фотопроводимости не обнаружена. 2) ОФП наблюдается лишь при напряжениях, превышающих некоторое критическое. 3) Долговременным процессам установления и спада ОФП предшествуют скачки проводимости.

Исследования примесной фотопроводимости и ОФП кристаллов TiGaSe_2 позволили установить наличие рекомбинационных уровней с энергиями $E_{cr1} = 1,2 \text{ эВ}$ $E_{cr2} = 0,95 \text{ эВ}$ в то же время, длинноволновая граница ОФП соответствует 1,0 эВ, которая в пределах точности эксперимента совпадает с положением r_2 . Если под действием света с энергиями квантов $h\nu \geq 1,0 \text{ эВ}$ имеет место ОФП то можно предположить, что происходит освобождение неосновных носителей (в данном случае электронов) с центров с энергиями $E_{cr2} = 0,95 \text{ эВ}$. Согласно существующим представлениям, ОФП должно быть следствием быстрой рекомбинации именно этих неосновных носителей с основными через быстрые центры. Таким образом, энергетическая диаграмма найденных нами примесных уровней в TiGaSe_2 позволяет построить схему рекомбинационных переходов обуславливающих ОФП (рис.1), которая хорошо объясняет экспериментально установленные нами особенности ОФП.

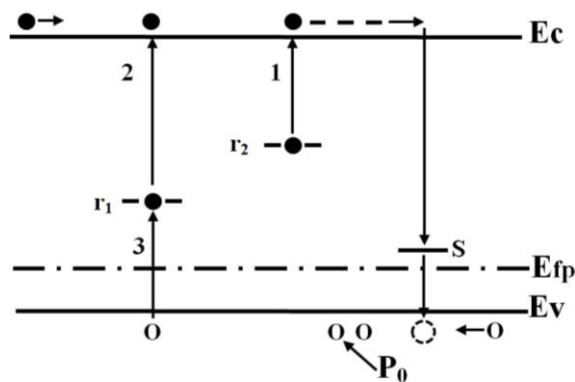


Рис.1 Схема рекомбинационных переходов обуславливающих ОФП в TiGaSe_2

Примесный свет с энергией фотонов $h\nu > 0,95\text{эВ}$ возбуждает электроны из уровня r_2 (а в дальнейшем и из уровня r_1) в зону проводимости. При этом заполнение дырок на этих уровнях растет. Будем считать, что скорость теплового возбуждения дырок с уровней r_2 (а также r_1) в валентную зону настолько мало, что увеличение заполнения этих уровней приводит к пренебрежимо малому увеличению скорости теплового возбуждения в v - зону.

В то же время свободные электроны быстро захватываются S - центрами, эти S - центры обладают почти одинаковыми сечениями захвата для электронов и дырок. Захваченные S - центрами электроны рекомбинируют со свободными равновесными дырками, что и приводит к уменьшению темновой концентрации P_0 . Поэтому равновесная темновая концентрация дырок уменьшается под действием света. Концентрация свободных электронов при этом увеличивается, на это увеличение слишком мало для компенсации уменьшения концентрации свободных дырок. Отрицательная фотопроводимость наблюдается в ограниченном интервале длин волн, нижней границей этого интервала должна быть энергия фотоионизации электронов из уровней r_2 (переходы 1). Верхняя же граница будет соответствовать ширине запрещенной зоны. Второй максимум на спектральной зависимости ОФП обусловлен переходами электронов из r_1 в s - зону (переходы 2).

Скачок проводимости при включении примесного света обусловлен фотоионизацией дырок из уровней r_1 (переход 3). Поскольку $E_{cr1} = E_{cr2}$ процессы, связанные с переходами 1 и 3, происходят одновременно. В момент включения примесного света пока возбужденные в s - зону электроны рекомбинируют со свободными дырками через S -уровни мы наблюдаем положительный ток дырок в виде скачка, созданный переходами 3, через некоторое время проявляется ОФП.

Таким образом, происходит конкуренция двух процессов. Но мы наблюдаем суммарный эффект, который определяется преобладающим процессом, т.е. ОФП. Релаксация ОФП связана с влиянием мелких уровней прилипания [10].

Наблюдение ОФП лишь на нелинейном участке ВАХ и ее зависимость от инжектирующей способности контактов связана с двойной инжекцией носителей тока в образец, приводящей к изменению заполнения r - центров. В рамках рассматриваемой модели находит объяснение также N - образная ВАХ отрицательной фотопроводимости. Когда нет инжекции (при напряженностях электрического поля ($E \leq 15 \text{ В/см}$) нет электронов на r - центрах, поэтому наблюдается только положительный фототок из уровня r_1 . По мере роста заполнения уровней r_2 инжектированными в объем кристалла электронами ($E > 15 \text{ В/см}$) растет глубина гашения ОФП при возбуждении примесным светом. Дальнейший рост напряжения приводит к тому, что инжекционные ток становятся намного больше $|\Delta I_{\phi}^-|$ и на фоне их видно ОФП, но она всегда есть.

При относительно малых интенсивностях примесного света с ростом последних увеличивается число выброшенных электронов из r_2 - центров в зону проводимости, поэтому растет амплитудное значение ОФП. Поскольку концентрация заполненных r_2 - центров имеет конечное значение, начиная с некоторого оптимального значения интенсивности ($\Phi_{\text{ОФП}}$) примесного света происходит опустошение уровней r_2 , и в итоге конкуренции двух вышесказанных процессов, начинают преобладать переходы дырок в v - зону и величина ОФП проходит через максимум и, наконец, при больших интенсивностях становится положительным. Следует отметить, что при таких интенсивностях возможны также двойные оптические переходы.

Важно отметить, что с ростом процентного содержания диспрозия в системе $\text{TiGa}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Se}_2$ (где $x = 0,001; 0,002$; и $0,003$) увеличивается кратность ОФП. Это, возможно, связано с тем, что ростом концентрации диспрозия увеличивается концентрация S - центров, и тем самым глубина гашения инжекционного тока; либо легирующая примесь вводит мелкие центры, которые меняют компенсацию r - центров.

С ростом температуры квази уровень Ферми смещается к середине запрещенной зоны. После пересечения положения S – центров, роль этих центров резко изменяется; они из уровней быстрой рекомбинации превращаются в уровни прилипания. Поэтому, при $T > 140$ К в наших образцах ОФП исчезает.

Заключение. В заключении следует отметить, что отрицательный фотоэффект в монокристаллах $TlGaSe_2$ аналогичен инфракрасному гашению в том отношении, что в обоих случаях происходит гашение фонового тока. В первом случае фоновый ток создается инжекцией носителей заряда из электродов, а во втором случае - собственным светом.

В кристаллах $TlGaSe_2$ интерпретация механизма ОФП осложнена тем, что имеет место отрицательная остаточная фотопроводимость (ООП). Если после установления стационарного значения отрицательного фототока (I) выключить подсветку, то установится квазистационарное значение тока (I_{on}), которое больше I , но меньше, чем значение исходного темнового (I_T). Можно выделить следующие экспериментально установленные особенности ОФП в монокристаллах $TlGaSe_2$:

1. Кинетика эффекта имеет своеобразный вид, где долговременным процессам установления и спада ОФП предшествуют скачки проводимости.
2. ОФП наблюдается в спектральной области $1,0 \div 2,0$ эВ.
3. При фиксированной длине волны $0,8$ мкм ОФП имеет N – образную ВАХ.
4. Величина ОФП зависит от интенсивности примесного света, причем зависимость $I = f(\Phi)$ имеет экстремум. С ростом напряженности электрического поля расширяется диапазон интенсивности примесной подсветки, при котором имеет место ОФП. При напряженностях больше 10^3 В/см фототок только положительный.

Литература

1. Жузе В. П., Рывкин С. М. О механизме фотопроводимости закиси меди. – Докл. АН СССР, 1949, т.58, № 4, с. 673 – 676.
2. Парицкий Л. Г., Рывкин С. М. Об одной возможности интерпретации отрицательной фотопроводимости. – ФТП, 1967, т.1, № 5, с. 718 – 723.
3. Лебедев А. А., Мамадалимов А. М., Султанов Н. А. Отрицательный фотоэффект в диодах из n – Si, легированного цинком. – ФТП, 1971, т.5, №5, с. 1645 – 1647.
4. Быковский Ю. А., Зуев В. В., Крюхин А. Д., Тимошин В. Т. Отрицательная фотопроводимость в полупроводниках с отталкивающими центрами. – ФТП, 1974, т. 8, № 5, с. 886 – 891.
5. Романычев Д. А. Об отрицательной фотопроводимости в германии. – ФТП, 1966, т. 8, № 5, с. 1645 – 1647.
6. Керимова И. З., Сондаевский В. П., Стафеев В. И. Отрицательная фотопроводимость германия с примесью золота в сильных электрических полях. – ФТП, 1966, т. 8, № 1, с. 280 – 282.
7. Кальвенас С. П., Шейкис Л. С., Цучинскас А. А. Локальная отрицательная фотопроводимость германия с примесью никеля в сильных электрических полях. – ФТП, 1972, т. 6, № 8, с. 1605 – 1607.
8. Петросян С. Г., Шик А. Я. Отрицательная фотопроводимость и инфракрасное гашение остаточной проводимости в неоднородных полупроводниках. – ФТП, 1976, т. 10, № 7, с. 1335 – 1360.
9. Баскин Э. Т., Лисенкер Б. С., Шегай А. Ю. Моделирование долговременной релаксации неравновесной проводимости. – ФТП, 1978, т. 12, №7, с. 1380 – 1383.
10. Умаров С. Х. Влияние структуры, состава и внешних воздействия на оптические, электрофизические и фотоэлектрические особенности монокристаллов твердых растворов системы $TlInS_2$ - $TlInSe_2$. Дисс. на соиск.уч.степени докт. ф из.-мат. наук. Ташкент, 2004, 246 с.

УДК 661.725.68

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM,
FAN VA INNOVASIYALAR VAZIRLIGI
BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

Buxoro davlat texnika universiteti nashri
“FAN VA TEKNOLOGIYALAR TARAQQIYO‘TI”

Ilmiy-texnikaviy jurnal

2026 yil, 1-son. ISSN 1281-8193

Jurnal tahririyat kompyuterida sahifalandi.

Manzil: 200117, Buxoro sh., Q.Murtazoev ko‘chasi 15.

Tel: (8-365) 223-92-40, E-mail: fantt_jurnal@umail.uz

<http://journal.bstu.uz>

БУХАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Издатель: Бухарский государственный технический университет

«РАЗВИТИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ»

Научно-технический журнал

Выпуск 1, 2026. ISSN 1281-8193

Отредактирована на компьютере редакции.

Адрес: 200117, г. Бухара, ул. К. Муртазаева, 15.

Тел.: (8-365) 223-92-40, E-mail: fantt_jurnal@umail.uz

<http://journal.bstu.uz>

BUKHARA STATE TECHNICAL UNIVERSITY

Publisher: Bukhara State Technical University

DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Scientific and Technical Journal

Issue 1, 2026. ISSN 1281-8193

Yedited on the yeditorial computer.

Address: 200117, Bukhara, K. Murtazaev Street, 15

Tel.: (8-365) 223-92-40, E-mail: fantt_jurnal@umail.uz

<http://journal.bstu.uz>