

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
ANDIJON MASHINASOZLIK INSTITUTI**

**MASHINASOZLIK
ILMIY-TEXNIKA JURNALI**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
АНДИЖАНСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
МАШИНОСТРОЕНИЕ**

**MINISTRY OF HIGHER EDUCATION, SCIENCE AND INNOVATIONS REPUBLIC
OF UZBEKISTAN
ANDIJAN MACHINE-BUILDING INSTITUTE
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL
MACHINE BUILDING**

O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi (OAK) Rayosatining 2021-yil 30-dekabrda 310/10-son qarori bilan Andijon mashinasozlik institutining “Mashinasozlik” ilmiy-texnika jurnali “TEXNIKA” va “IQTISODIYOT” fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

Ushbu jurnalda chop etilgan materiallar tahririyatning yozma ruxsatisiz to‘liq yoki qisman chop etilishi mumkin emas. Tahririyatning fikri mualliflar fikri bilan har doim mos tushmasligi mumkin. Ilmiy-texnika jurnalida yozilgan materiallarning haqqoniyligi uchun maqolaning mualliflari mas’uldirlar.

MASHINASOZLIK
ILMIY-TEXNIKA JURNALI

Bosh muharrir:

U.M.Turdialiyev – texnika fanlari doktori, k.i.x.

Mas’ul muharrir:

U.A.Madrahimov – iqtisodiyot fanlari doktori, professor.

T A H R I R H A Y ’ A T I

Turdialiyev Umid Muxtaraliyevich – texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim (AndMI);
Madrahimov Ulug’bek Abdixalilovich – iqtisodiyot fanlari doktori, professor (AndMI);
Negmatov Soyibjon Sodiqovich – texnika fanlari doktori, professor O’ZRFA akademigi (TDTU);
Abralov Maxmud Abralovich – texnika fanlari doktori, professor (TDTU);
Dunyashin Nikolay Sergeevich – texnika fanlari doktori, professor (TDTU);
Norxudjayev Fayzulla Ramazanovich – texnika fanlari doktori, professor (TDTU);
Pirmatov Nurali Berdiyrovich – texnika fanlari doktori, professor (TDTU);
Salixanova Dilnoza Saidakbarovna – texnika fanlari doktori, professor (O’ZRFA UNKI);
Siddikov Ilxomjon Xakimovich – texnika fanlari doktori, professor (TIQXMMI);
Fayzimatov Shuhrat Numanovich – texnika fanlari doktori, professor (FarPI);
Xakimov Ortiqali Sharipovich – texnika fanlari doktori, professor (Standartlashtirish, sertifikatlashtirish va texnik jihatdan tartibga solish ilmiy-tadqiqot instituti);
Xo’jayev Ismatillo Qo’shiyevich – texnika fanlari doktori, professor (Mexanika instituti);
Ipatov Oleg Sergeevich – professor (Sankt-Peterburg politexnika universiteti, Rossiya);
Naumkin Nikolay Ivanovich - p.f.d., t.f.n., professor. (Mordov milliy tadqiqot davlat universiteti, Rossiya);
Aliyev Suxrob Rayimjonovich – fizika-matematika fanlari bo’yicha falsafa doktori (PhD), dotsent (AndMI);
Shen Zhili – professor (Shimoliy Xitoy texnologiyalar universiteti, Xitoy);
Hu Fuwen – professor (Shimoliy Xitoy texnologiyalar universiteti, Xitoy);
Won Cholyeon – professor (Janubiy Koreya Milliy tadqiqotlar fondi, Janubiy Koreya);
Celio Pina – professor (Setubal politexnika universiteti, Portugaliya);
Ricardo Baptista – professor (Setubal politexnika universiteti, Portugaliya);
Rui Vilela – professor (Setubal politexnika universiteti, Portugaliya);
Dmitriy Albertovich Konovalov - t.f.n., professor (Voronej davlat texnika universiteti);
Мухаметшин Вячеслав Шарифуллович – директор Института нефти и газа федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (филиал в г.Октябрьском), доктор геологоминералогических наук, профессор.
Nimchik Aleksey Grigorevich – kimyo fanlari doktori, professor (TDTU Olmaliq filiali)
Muftaydinov Qiyomiddin – iqtisodiyot fanlari doktori, professor (AndMI);
Zokirov Saidfozil – i.f.d., (Prognozlashtirish va makroiqtisodiy tadqiqotlar instituti);
Orazimbetova Gulistan Jaksilikovna - t.f.d., dotsent (AndMI)
Jo’raxonov Muzaffar Eskanderovich – iqtisodiyot fanlari bo’yicha falsafa doktori (AndMI);
Ermatov Akmaljon – iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent (AndMI);
Qosimov Karimjon – texnika fanlari doktori, professor (AndMI);
Yusupova Malikaxon – iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent (AndMI);
Akbarov Xatamjon Ulmasaliyevich – texnika fanlari nomzodi, dotsent (AndMI);
Mirzayev Otabek Abdiraximovich – texnika fanlari bo’yicha falsafa doktori (PhD), dotsent (AndMI);
Soxibova Zarnigor Mutalibjon qizi – fizika-matematika fanlari bo’yicha falsafa doktori (PhD), (AndMI);
Raxmonov O’ktam Kamolovich – texnika fanlari bo’yicha falsafa doktori (PhD), (TDTU, Olmaliq filiali);
Xoshimov Xalimjon Xamidjanovich – texnika fanlari bo’yicha falsafa doktori (PhD), (AndMI).
Kuluyev Ruslan Raisovich - texnika fanlari bo’yicha falsafa doktori (PhD), (TDTU).

Texnik muharrir:

B.Iminov, M.Kenjayeveva – Andijon mashinasozlik instituti nashriyoti.

Tahririyat manzili: Andijon shahar, Bobur shox ko’cha, 56-uy. **Tel:** +998 74-224-70-88 (1016)

Veb sayt: www.andmiedu.uz

e-mail: andmi.jurnal@mail.ru

“Mashinasozlik” ilmiy-texnika jurnali O‘zbekiston Respublikasi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligining 2020 yil 28- fevraldagi 04-53-raqamli guvohnomasiga binoan chop etiladi.

Время переходных процессов в структурах солнечных элементах на основе cigs <i>Акбаров Ф.А.</i>	107
Изучение влияния металлических поверхностей к системам frid технологии <i>Хамзаев Д.И.</i>	112
QISHLOQ XO‘JALIGI ISHLAB CHIQRARISHINI MEXANIZATSIYALASH TEXNOLOGIYASI	
Don mahsulotlari korxonalarida mahsulotlar to‘g‘risidagi ma‘lumotlarni monitoring qilish tizimi algoritmi <i>Safarov E.X.</i>	118
Meva-sabzavot va poliz mahsulotlarini sublimatsiya uslubida quritish jarayonini eksperimental tadqiq etish <i>Egamberdiyev A.A.</i>	124
Ipak qurtlarini parvarishlashda zamonaviy texnologiyalar <i>Sharibayev N.Y., Ibragimov A.T., Maxmudov B.M.</i>	129
Takomillashtirilgan pnevmatik seyalkaning dala sinovlarini o‘tkazish usullari va natijalari <i>Saidova M.T.</i>	136
Ipak qurtlarini parvarishlashda innovatsion texnologiyalar <i>Sharibayev N.Y., Ibragimov A.T., Maxmudov B.M.</i>	141
Сопоставительный анализ двух способов регулирования насосными агрегатами <i>Умаров Ш.Б., Абдуллабеков И.А., Мирсаидов М.М., Орунов С. Ҳ.</i>	148
Orqa qatlam halqa ipi uzunligini ikki qatlamli trikotajning texnologik ko‘rsatkichlariga ta‘sirini tadqiqi <i>Mirxojaev M.M.</i>	155
Обзор исследований по механизации применения полиэтиленовой пленки на посевах хлопчатника <i>Эрматов К.М.</i>	162
TRANSPORT	
Aerodinamik tozalash qurilmasi geometrik o‘lchamlarining optimal parametrlarini aniqlash <i>Sidikov A.X.</i>	171
Determination of static characteristics of optoelectronic discrete displacement transducers with hollow and fiber fiber <i>Kholmatov U.S.</i>	180
Issiq iqlim sharoitida foydalanish uchun avtomobillarning yoqilg‘i quyish bo‘g‘izi qopqog‘ini sinov usullarini ishlab chiqish <i>Qayumov B.A.</i>	188
Haydovchi va muhandis xodimlar orasidagi masofaviy aloqa tizimi <i>Nasirov I.Z.</i>	194
IQTISODIYOT	
Sanoat korxonalarida asosiy fondlardan foydalanish samaradorligini oshirish yo‘llari <i>Muxtarov M.M.</i>	202

Акбаров Фаррух Анвар угли-PhD., вр.и.о.
доцент, ташкентского государственного
технического университета, кафедра
“Инженерия электрических машин и
приводов”
farrux1927@mail.ru +998977746737

CIGS QUYOSH ELEMENTLARI ASOSIDAGI STRUKTURALARDA O‘TKINCHI JARAYONLAR

ВРЕМЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СТРУКТУРАХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ НА ОСНОВЕ CIGS

TRANSIENT TIMES IN CIGS-BASED SOLAR CELL STRUCTURES

ANNOTATSIYA

Ushbu ish $Cu(In,Ga)Se_2$ asosidagi yupqa qatlamli quyosh elementining asosiy bo‘lmagan fotogeneratsiyalangan zaryad tashuvchilarining (Δn) yashash vaqtini (τ) turli qarshiliklardagi turli to‘lqin uzunlikdagi quyosh nurlanishining yutilish spektrini o‘rganishga bag‘ishlangan. Aniqlanishicha, $Cu(In,Ga)Se_2$ asosidagi yupqa qatlamli quyosh elementining generatsiyalangan fototoki va yuklama qarshiligining qiymati oshishi bilan asosiy bo‘lmagan fotogeneratsiyalangan zaryad tashuvchilarning yashash vaqti ham ortadi. Olingan tajriba natijalar injeksiyalangan va fotogeneratsiyalangan elektronlarni ushlab turadigan nuqsonlarni qayta zaryadlanish orqali izohlanadi.

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена исследованию влияния солнечного излучения в различных спектра поглощения при различных сопротивлениях нагрузки на время жизни (τ) неосновных фотогенерированных носителей заряда (Δn) тонкопленочного солнечного элемента на основе $Cu(In,Ga)Se_2$. Установлено, что с ростом генерируемого фототока и величины сопротивления нагрузки увеличивается время жизни неосновных фотогенерированных носителей заряда тонкопленочного солнечного элемента на основе $Cu(In,Ga)Se_2$. Полученные экспериментальные результаты интерпретируются перезарядкой дефектных состояний, которые захватывают инжектированные и фотогенерированные электроны, в результате чего они перестают быть активными центрами рекомбинации.

ANNOTATION

The work is devoted to the study of the influence of solar radiation in the short-wave part of the absorption spectrum at different loading resistances on the lifetime (τ) of minority photogenerated charge carriers (Δn) of a thin-film solar cell based on $Cu(In,Ga)Se_2$. It was found that with an increase in the generated photocurrent and the magnitude of the load resistance the lifetime of minority photogenerated charge carriers of a thin-film solar cell based on $Cu(In,Ga)Se_2$ increases. The obtained experimental results are interpreted by the charge exchange of defect states, which capture the injected and photogenerated electrons, as a result of which they cease to be active recombination centers.

Kalit so‘zlar: CIGS, quyosh elementi, monoxromatik nurlanish, yutilish koeffitsienti, yashash vaqti, fotogeneratsiyalangan zaryad tashuvchilar, asosiy bo‘lmagan zaryad tashuvchilar.

Ключевые слова: CIGS, солнечный элемент, монохроматическое излучение, коэффициент поглощения, время жизни, фотогенерированные носители заряда, неосновные носители заряда.

Keywords: CIGS, solar cell, monochromatic radiation, absorption coefficient, lifetime, photogenerated charge carriers, minority charge carriers.

Одним из важных параметров, определяющих эффективность работы фоточувствительных структур, является время жизни τ фотогенерированных неосновных носителей заряда (ННЗ). В реальных солнечных элементах (СЭ) вследствие сложности структуры время жизни ННЗ τ зависит от спектра, падающего на структуру СЭ излучения и величины сопротивления нагрузки. Исследование релаксационных характеристик СЭ, таких как, затухание величины фототока I_{ph} , при освещении прерывистым монохроматическим светом даст возможность оценить величину τ и установить механизма фотогенерации ННЗ и процессы их рекомбинации. Известно, что величина фототока зависит от концентрации фотогенерированных носителей заряда – Δn [1]. Временные характеристики определяются соотношением:

$$\frac{d\Delta n}{dt} = -\frac{\Delta n}{\tau}, \quad (1)$$

где, τ – время жизни фотогенерированных носителей заряда. Решение уравнения (3.11) имеет вид:

$$\Delta n = \Delta n(0) * \exp(-t/\tau), \quad (2)$$

где $\Delta n(0)$ – стационарное максимальное значение фотогенерированных ННЗ. Для определения времени жизни τ фотогенерированных ННЗ нужно определить время спада от максимального значения до уровня $\Delta n(0)/e$ или $\Delta n(0)/2,72$. Для экспериментального определения τ необходимо построить временную зависимость величины фототока в логарифмическом масштабе $\ln(I_{ph})$ от времени t , где наклон полученной прямой даст величину τ для Δn в фотоэлектрическом преобразователе.

Методы исследования.

Время переходные характеристики исследованы в гетеропереходе СЭ со структурой $\text{SnO}_2/n\text{-CdS}/p\text{-CIGS}/\text{Mo}$, базовым материалом где, как указывалось выше, служила пленка поликристаллического соединения CIGS проводимостью p – типа и $E_g \approx 1.30 \pm 0.03$ эВ [2]. При этом СЭ освещался монохроматическим излучением с различной длиной волны [3-5], которая поглощалась в различной части фотоактивного слоя СЭ: $\lambda_1=450$ нм, $h\nu_1 \approx 2,76$ эВ; $\lambda_2=520$ нм, $h\nu_2 \approx 2,40$ эВ; $\lambda_3=630$ нм, $h\nu_3 \approx 1,97$ эВ; $\lambda_4=850$ нм, $h\nu_4 \approx 1,45$ эВ. Используются светодиоды на основе (кроме ИК светодиода) GaN диода с люминофором (для получения соответствующего излучения λ). То есть фактически все светодиоды излучали одинаковое количество квантов. На светодиоде $\lambda_4=850$ нм $h\nu_4 \approx 1,45$ эВ использовался диод из GaAs с электрической мощностью, как и СД с другими λ , то есть количество квантов было схожим.

На рис.1 представлена принципиальная схема установки и электрическая схема соединений элементов для определения τ . При проведении экспериментов в качестве источников модулирующего электромагнитного излучения использовались LED светодиоды синего $\lambda_1=450$ нм, зеленого $\lambda_2=520$ нм, красного $\lambda_3=630$ нм и инфракрасного $\lambda_4=850$ нм излучения мощностью ≈ 40 мВт. На светодиоды с генератора прямоугольных импульсов Г5-54 подавалось напряжение величиной 4 В, длительностью 10 мкс, частотой 10 кГц. Переменный сигнал, снятый с нагрузочного сопротивления R_n , подавался на вход цифрового запоминающего осциллографа ЦО типа RIGOL 1102E.

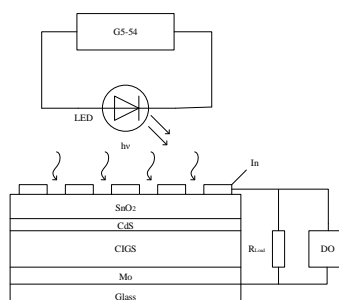


Рис.1. Принципиальная схема установки и электрическая схема соединения для определения

Результаты и обсуждение.

На рис.2 представлены экспериментальные результаты зависимости $\tau \Delta n$ от R_n , определенные в SnO_2 - n - CdS/p - CIGS - Mo структурном солнечном элементе, при освещении монохроматическим излучением синего $\lambda_1 \approx 450$ нм и зеленого $\lambda_2 \approx 520$ нм излучения. Из рис.2 следует, что $\tau \Delta n$ в диапазоне $R_n = 800 - 10^6$ Ом, в CdS - CIGS гетероструктуре, имеет относительно высокие значения при освещении светом с длиной волны $\lambda_2 \approx 520$ нм, чем при $\lambda_1 \approx 450$ нм. Кванты электромагнитного излучения с $\lambda_2 \approx 520$ нм ($h\nu_2 \approx 2,40$ эВ) слабо поглощаются в слое n - CdS ($E_g = 2.44$ эВ) и, в основном поглощаются в ООЗ слоя p - CIGS и в квазинейтральной части, где имеют большое значение коэффициент поглощения ($\sim 10^4 \text{ см}^{-1}$), то есть ННЗ генерируются в фотоактивной области p - CIGS .

Кванты электромагнитного излучения с $\lambda_1 \approx 450$ нм ($h\nu_1 \approx 2,76$ эВ) поглощаются в слое n - CdS , в ООЗ гетероперехода, а также, малая часть в фотоактивном слое p - CIGS . Так как, $\lambda_1 \approx 450$ нм ($h\nu_1 \approx 2,76$ эВ), то в фотоактивную область слоя p - CIGS доходит относительно мало квантов и генерируется меньше ННЗ и получается малое значение тока короткого замыкания по отношению к случаю $\lambda_2 \approx 520$ нм ($h\nu_2 \approx 2,40$ эВ).

Как было сказано выше, при освещении светом с $\lambda_2 \approx 520$ нм в гетероструктуре генерируется большое значение тока короткого замыкания $J_{кз}$ по отношению для случая $\lambda_1 \approx 450$ нм ($I_{кз,зел}/I_{кз,син} \approx 1,3$). Из этого можно сделать заключения, что время релаксации ННЗ в фотоактивном слое CIGS имеет более высокие значения по отношению к времени релаксации фотогенерированных ННЗ вблизи гетероперехода и в слое n - CdS . Это связано с тем, что фотоактивном слое CIGS дефектных – рекомбинационных центров намного меньше, чем на границе гетероперехода.

Из рис.2 видно, что с ростом R_n растет величина времени жизни τ фотогенерированных ННЗ Δn . При наличии R_n , напряжение, падающее на нем $U_n = R_n * I_{кз}$, включен в прямом направлении к фотодиоду, и через диод течет темновой инжекционный ток, который с увеличением R_n растет. Таким образом, можно заключить, что при увеличении фототока или темнового тока величина времени жизни τ фотогенерированных ННЗ растет.

На рис.3. представлены экспериментальные результаты зависимости $\tau \Delta n$ от R_n , определенные в SnO_2/n - CdS/p - CIGS/Mo структурном солнечном элементе, при освещении монохроматическим излучением красного и инфракрасного спектра с максимумами на длинах волн $\lambda_3 \approx 630$ нм и $\lambda_4 \approx 850$ нм. Из рис.3. следует, что время жизни τ фотогенерированных ННЗ Δn в исследованном диапазоне R_n , в CIGS СЭ имеет более высокие значения при освещении светом с $\lambda_3 \approx 630$ нм, чем при $\lambda_4 \approx 850$ нм.

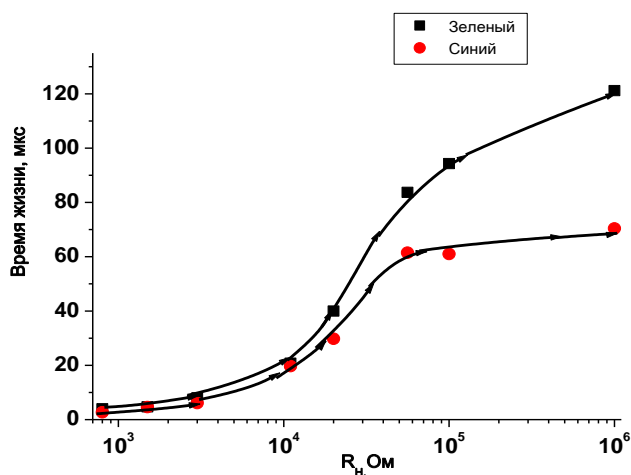


Рис.2. Зависимости времени жизни τ от R_n в структуре n -CdS/ p -CIGS, при освещении монохроматическим электромагнитным излучением с $\lambda \approx 520$ нм (зеленый) и $\lambda \approx 450$ нм (синий)

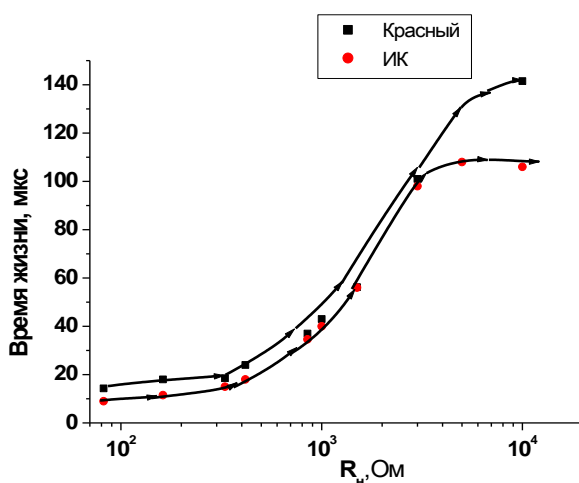


Рис.3. Зависимости времени жизни τ от R_n в структуре n -CdS/ p -CIGS, при освещении монохроматическим электромагнитным излучением с $\lambda_3 \approx 630$ нм (красный) и $\lambda_4 \approx 850$ нм (инфракрасный)

Это связано с тем, что свет с $\lambda_3 \approx 630$ нм ($h\nu_3 \approx 1,97$ эВ) поглощается в области объемного заряда и в фронтальной квазинейтральной части слоя p -CIGS. При освещении СЭ с $\lambda_4 \approx 850$ нм ($h\nu_4 \approx 1,45$ эВ), излучение поглощается в области объемного заряда, в квазинейтральной части слоя p -CIGS и в области примыкающей к границе с Мо. Так же, как и для случаев на рис.2, на рис.3. $\tau \Delta n$ растет с величиной фототока и R_n , то есть растет с величиной фототока и темнового тока.

Из-за разницы в значениях постоянных решеток слоев CIGS и CdS, а так же, CIGS и Мо на границе гетероперехода и заднего контакта образуются поверхностные состояния N_{ss} , которые будут действовать как рекомбинационные центры для Δn . Концентрацией $N_{ss} \sim d^{-2}$, где d – расстояние между дислокациями, образованными из-за несоответствия кристаллических решеток контактирующих материалов:

$$d = \frac{a_{CIGS} a_{CdS}}{a_{CIGS} - a_{CdS}} \quad (3)$$

С учетом постоянной решетки CdS и CIGS [6,7] были рассчитаны значения $d \approx 315 \text{ \AA}$ и $N_{ss} = 1,96 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Так же, на границе CIGS/Mo образуются поверхностные дефектные рекомбинационные состояния.

Исходя из статистики Шокли – Рида $\tau \Delta n$ определяется скоростью рекомбинации фотогенерированных носителей, которая обратно пропорциональна концентрации рекомбинационных центров $\tau \sim 1/N_{rs}$, то есть растет с уменьшением N_{rs} .

В объеме фотоактивной части слоя p -CIGS, имеются дефекты кристаллической решетки и неконтролируемые примеси, играющие роль рекомбинационных центров N_{rs} для фотогенерированных ННЗ. Если фотогенерация ННЗ будет в основном происходить вблизи рекомбинационных состояний, то это приведет к уменьшению $\tau \Delta n$. Однако при определенных условиях, когда эти рекомбинационные центры могут быть нейтрализованы, то они перестают играть роль рекомбинационных центров для Δn . Этим условия выполняют так называемые амфотерные дефектные состояния, роль которых в слоях p -CIGS играют комплексы вакансии меди и вакансии селена ($V_{Cu} + V_{Se}$). Они могут быть перезаряжены, за счет захвата носителя заряда и теряют свойства рекомбинационного центра. С ростом фототока и инжекционного темного тока амфотерные дефектные состояния ($V_{Cu} + V_{Se}$) захватывают носители заряда и перестают играть роль рекомбинационного состояния.

Заключение

Исследование влияния величины нагрузки и мощности монохроматического излучения в коротковолновой части спектра электромагнитного излучения показало, что время жизни неравновесных носителей увеличивается с ростом сопротивления нагрузки и интенсивности освещения, то есть либо с ростом тока инжекции и фотогенерированных носителей. Время жизни неравновесных носителей уменьшается с ростом коэффициента поглощения излучения, которое поглощается больше вблизи гетероперехода. Наблюдаемый эффект связан с уменьшением центров рекомбинации в фотоактивной части гетероперехода в результате перезарядки дефектных состояний в слое p -CIGS.

Литература

1. Sze S.M. and Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices. New Jersey, John Willey and Sons, Inc., 2007, p. 763.
2. Kobulov R.R., Matchanov N.A., Ataboev O.K., Akbarov F.A. Solar cells based on Cu(In, Ga)Se₂. Applied Solar Energy, 2019, 55(2), pp.83–90.
3. Photovoltaic Report, Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Energy System, 2019. www.ise.fraunhofer.de.
4. Mirsagatov Sh.A., Kabulov R.R., and Makhmudov M.A. Injection photodiode based on an n-CdS/p-CdTe heterostructure. Semiconductors, 2013, 47, pp.825–830.
5. Ataboev O.K., Terukov E.I., Matchanov N.A. Heterojunction thin-film solar cell based on single-crystalline silicon. Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering, 2020, 2, P. 62–65.
6. Kobulov R.R., Matchanov N.A., Ataboev O.K. Morphological and photoelectrical characteristics of the polycrystalline SnO₂-CdS/Cu(In,Ga)Se₂-Ag thin film. Applied Solar Energy, 2018, 54(2), pp.91–94.
7. Kobulov R.R., Makhmudov M.A., Gerasimenko S.Y., Ataboev O.K. Investigation of composition and current transport mechanism in polycrystalline thin film ultra violet Au–ZnxCd_{1-x}S–Mo-structure with narrow spectrum of photosensitivity. Applied Solar Energy, 2017, 53(2), pp.123–125.
8. Kabulov R.R. Features of the buffer layer ZnxCd_{1-x}S for use in thin-film solar cells. Applied Solar Energy, 2020, 56(5), pp.383–387.