

ЗАХИРИДДИН  
МУҲАММАД БОБУР  
НОМИДАГИ АНДИЖОН  
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ANDIJAN STATE  
UNIVERSITY NAMED  
AFTER ZAKHIRIDDIN  
MUKHAMMAD BABUR

# ИЛМИЙ ХАБАРНОМА

Физика-математика  
Тадқиқотлари  
(Махсус сон)

# SCIENTIFIC BULLETIN

Physical and  
Mathematical Research  
(Special Issue)

Андижон  
2023 йил

**Муассис**

Захириддин Мухаммад Бобур номидаги Андижон давлат университети

**ИЛМИЙ ХАБАРНОМА.  
ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
ТАДҚИҚОТЛАРИ**

Журнал бир йилда 2 марта чоп этилади.

Андижон вилояти ахборот ва оммавий коммуникациялар бошқармаси  
томонидан 2019-йил 26 декабрда  
0452 рақам билан рўйхатга олинган.

Нашр индекси: 344

Нашр учун масъул:  
А.Й.Бобоев

Босишга рухсат этилди:  
27.12.2019.

Қоғоз бичими: 60x81 1/8

Босма табоғи: 13,5

Офсет босма. Офсет қоғози.

Адади: 110 дона.

Баҳоси келишилган нархда.

Буюртъа №: 165.

“Мухаррир” нашриёти манбаа бўлимида чоп этилди.  
Тошкент шаҳри, Сўгалли ота кўчаси 7-уй

**Таҳририят манзили:**

170100, Андижон шаҳри, Университет кўчаси, 129. Телефон: +998911602043.

Факс: (374) 223-88-30

E-mail: [adu\\_xabarnoma@mail.ru](mailto:adu_xabarnoma@mail.ru) Расмий сайт: [uzjournals.edu.uz/adu](http://uzjournals.edu.uz/adu)

**Сборник статей международной научно-практической конференции по  
«Полупроводниковая опто- и наноэлектроника, альтернативные  
источники энергии и их перспективы» Андижан, 12-13 октября 2023 года**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, А.Й. БОБОЕВ, Б.М. ЭРГАСHEB</b> Механизмы формирования квантово-размерных нанообъектов в многокомпонентных структурах GaAs/Ge/ZnSe и GaAs/Si/ZnSe.....	7
<b>М.Х. АШУРОВ, Б.Л. ОКСЕНГЕНДЛЕР, С.Х. СУЛЕЙМАНОВ, С.Е. МАКСИМОВ, З.И. КАРИМОВ, Н.Н. НИКИФОРОВА, Ф.А. ИСКАНДАРОВА</b> Современные аспекты радиационной деградации твердых тел и биообъектов.....	10
<b>М.Т. НОРМУРАДОВ, Е.Н. ВЛАСОВА, К.Т. ДОВРАНОВ, Д.А. НОРМУРОДОВ, Х.Т. ДАВРАНОВ</b> Измерение оптических параметров, диэлектрических материалов, созданных низкоэнергетическим ионно-плазменным методом.....	15
<b>Е.С. РЕМБЕЗА, Т.В. СВИСТОВА, Н.Н. КОШЕЛЕВА, М.Б. РАСУЛОВА</b> Гетероструктуры металлооксид-кремний, как перспективные структуры для создания солнечных элементов.....	24
<b>О.О. МАМАТКАРИМОВ, В.Х. QUCHQAROV, М.А. ERGASHEV, А.А. XOLMIRZAYEV</b> Yarimo'tkazgich moddalariga asoslangan konvertorlarni ishlab chiqishda va uning asl parametrlarini saqlanishini o'rganish xossalari.....	28
<b>S.Z. ZAINABIDINOV, H.J. MANSUROV, N.YU. YUNUSALIEV</b> Photoelectric Properties of n-ZnO/p-Si Heterostructures.....	34
<b>Х.Б. АШУРОВ, А.А. ЗАРИПОВ, А.А. РАХИМОВ, У.Ф. БЕРИДЕВ, И.Ж. АБДИСАИДОВ, М.М. АДИЛОВ</b> Методы синтеза никелевого нанокатализатора для получения углеродных нанотрубок.....	39
<b>Н.Ф. ЗИКРИЛЛАЕВ, М.М. ШОАБДУРАХИМОВА</b> Особенности автоколебаний тока в компенсированном кремнии и их применение в электронике.....	46
<b>Ш.Б. УТАМУРАДОВА, Ж.Ж. ХАМДАМОВ, В.Ф. ГРЕМЕНOK, К.А. ИСМАЙЛОВ, Х.Ж. МАТЧОНОВ, Х.Ю. УТЕМУРАТОВА</b> Комбинационное рассеяние света в монокристаллическом Si, легированного атомами Gd.....	54
<b>N.N. ABDURAZAKOV, R. ALIEV</b> Power load forecasting using linear regression method of machine learning: Andijan regional case.....	58
<b>И. Н. КАРИМОВ, М. ФОЗИЛЖОНОВ, А.Э. АБДИКАРИМОВ</b> Вольт-фарадные характеристики SOI FINFET структуры.....	63
<b>О.А. АБДУЛХАЕВ, А.З. РАХМАТОВ</b> Низковольтные ограничители напряжения на основе структур с эффектом смыкания.....	67
<b>SH.X. YO'LCHIYEV, B.D. G'ULOMOV, J.A. O'RINBOYEV</b> ZnO va ZnO:Al yuqqa plyonkalarini sintez qilish va ularni fizik xossalari o'rganish.....	75
<b>Ш.Т. ХОЖИЕВ, С.Ф. КОВАЛЕНКО, С.Е. МАКСИМОВ, В.М. РОТШТЕЙН, О.Ф. ТУКФАТУЛЛИН, Б.Л. ОКСЕНГЕНДЛЕР, Ш.К. КУЧКАНОВ</b> Кластеры $Y_n^+$ и $Y_nO_m^+$ , распыленные ионной бомбардировкой: эксперимент и теоретические аспекты.....	79

<b>M. RASULOVA</b>	
Application of Solution of the Quantum Kinetic Equations for Renewable Energy problem.....	85
<b>A.A.МИРЗААЛИМОВ, Р.АЛИЕВ, Н.А.МИРЗААЛИМОВ</b>	
разработка высокоэффективных и ресурсосберегающих конструкций кремниевых высоковольтных фотоэлектрических устройств.....	89
<b>D.G' KHAJIBAEV, B.Ya. YAVIDOV</b>	
On correlation of $T_c$ and Cu-O <sub>apex</sub> distance in single layered cuprates.....	97
<b>A. АБДУЛВАХИДОВ, С.ОТАЖОНОВ, Р.ЭРГАШЕВ</b>	
Фоточувствительность солнечных элементов гетероструктуры p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe с глубокими примесными уровнями.....	102
<b>М.К. КУРБАНОВ, К.У. ОТАБАЕВА, Д.У. ХУДОЙНАЗАРОВА</b>	
Распыление пленок льда при бомбардировке ионами Ag+.....	107
<b>H.O. QO'CHQAROV S.B. FAZLIDDINOV B.B.BURXONJANOV</b>	
Simmetrik bo'lgan silikon diodning statik parametrlarini hisoblash p-n-uch nuqtali zaryadlangan nuqsonlarning $\delta$ -qatlami o'tish.....	113
<b>N.Yu. SHARIBAYEV, B.M. BAXROMOV R.M. JALALOV A.A. YUSUFJONOV</b>	
Study of electrophysical properties of semiconductor materials based on lead-selenium.....	120
<b>Ш.К.КУЧКАНОВ, Х.Б.АШУРОВ, Б.М.АБДУРАХМАНОВ, С.Е.МАКСИМОВ, О. Э. КИМИЗБАЕВА, Ш.А.МАХМУДОВ</b>	
О роли структурных дефектов в процессах генерации при нагреве эдс и носителей заряда в эпитаксиальных плёночных кремниевых p-n-структурах.....	125
<b>S.Z. ZAYNABIDINOV, I.M. SOLIYEV, SH.K. AKBAROV</b>	
Kremniy monokristallarida elektro noaktiv nikel va kislorod atomlarining o'zaro tasirlashuvi.	128
<b>M.A.MUYDINOVA, G.J. MAMATOVA</b>	
Yarimo'tkazgich plastinalar sirti va p-n strukturalarning optik xususiyatlari va ularni takomillashtirish usullari.....	132
<b>L.O.OLIMOV, I.I. ANARBOYEV</b>	
Kremniy granulari asosida termoelektrik material samaradorligini oshirish mexanizimi.....	136

## Гетероструктуры металлооксид-кремний, как перспективные структуры для создания солнечных элементов

Рембеза Е.С.<sup>1</sup>, Свистова Т.В.<sup>2</sup>, Кошелева Н.Н.<sup>2</sup>, Расулова М.Б.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет, г. Воронеж

<sup>2</sup>Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж

<sup>3</sup>Андижанский государственный университет, г. Андижан

**Аннотация.** Гетероструктуры металлооксид-кремния можно использовать в солнечной энергетике и оптоэлектронике в качестве фотоприемников. Использование их в качестве солнечных элементов пока невозможно из-за небольших токов короткого замыкания и напряжений холостого хода.

**Ключевые слова:** металлооксид, кремния, гетероструктура, солнечный элемент, фотоприемник, оптоэлектроника.

Альтернативные и возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра и солнечного света, гидро- и геотермальная энергия, во всем мире привлекают все больше внимания. Растущий интерес к ним вызван экологическими соображениями, с одной стороны, и ограниченностью традиционных земных ресурсов — с другой. Особое место среди альтернативных и возобновляемых источников энергии занимают фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии, изучение которых превратилось в отдельное научное направление – фотовольтаику [1].

Фотовольтаика в настоящий момент является одним из перспективных направлений развития экологически чистых источников электроэнергии, поскольку солнечный свет является основным и общедоступным источником энергии на земле для живых организмов. Основная проблема состоит в том, что вся основная энергонесущая часть света поглощается земной атмосферой, пропуская лишь малую долю от всего излучения. Поэтому требуется улучшить показатель преобразования падающего солнечного света в электроэнергию, т.е. увеличить коэффициент полезного действия (КПД) солнечных элементов [2].

Гетеропереходные солнечные элементы на основе монокристаллических кремниевых подложек и прозрачного металлооксидного слоя привлекают интерес многих исследователей. Широкое разнообразие металлооксидных материалов с различными электрофизическими свойствами и значениями ширины запрещенной зоны, охватывающими весь диапазон солнечного спектра, дает возможность изготовить многослойные пленочные гетероструктуры для наиболее эффективного использования излучения солнца. Не менее важным, с точки зрения себестоимости, является относительная простота и низкая стоимость технологического процесса синтеза таких гетероструктур [3].

Целью работы является исследование фотоэлектрических свойств гетероструктур металлооксид-кремний, как перспективных структур для создания солнечных элементов и других изделий прозрачной электроники.

В качестве объектов исследования выбраны гетероструктуры  $n\text{-MeO}_x/p\text{-Si}$  на основе пленок  $n\text{-TZO}$ : 61,26 %  $\text{SnO}_2$  + 43 %  $\text{ZnO}$   $n\text{-ZTO}$ : 51,99 %  $\text{ZnO}$  + 46,3 %  $\text{SnO}_2$ , изготовленных методом ионно-лучевого распыления составных керамических мишеней. В качестве полупроводниковых подложек гетероструктур использовались пластины монокристаллического кремния КДБ - 10(111). Формирование гетероструктур выполнялось путем нанесения металлического контакта круглой формы, площадью 0,13 см<sup>2</sup>, на поверхность металлооксидных пленок.

Проведены измерения электрофизических характеристик гетероструктур, таких как: вольт-амперная характеристика (ВАХ), вольт-фарадная характеристика (ВФХ), вольт-

амперная характеристика структуры в фотогальваническом режиме, световая характеристика.

Измерение вольт-амперных характеристик проводилось при комнатной температуре стандартным методом по точкам с использованием зондовой установки, стабилизированного источника напряжения DC Power Supply NY3005, цифрового мультиметра MASTECH M3900 в режиме амперметра и вольтметра. Измерения вольт-фарадных характеристик производились с использованием лабораторного измерителя ВФХ, в котором есть источник регулируемого постоянного напряжения смещения и измерительный высокочастотный (500 кГц) сигнал обеих полярностей. При исследовании вольт-амперных характеристик структуры в фотогальваническом режиме используется магазин сопротивлений R33. Вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики измерялись на установке, которая может имитировать солнечный свет. В качестве источника излучения использовалась вольфрамовая лампа накаливания мощностью 150 Вт. Измерение освещенности проводилось с помощью цифрового измерителя освещенности MASTECH LUXMETER MS6610.

Вольт-амперные характеристики гетероструктуры  $n$ -TZO /  $p$ -Si при различной освещенности приведены на рис. 1, а гетероструктуры  $n$ -ZTO /  $p$ -Si на рис. 2.

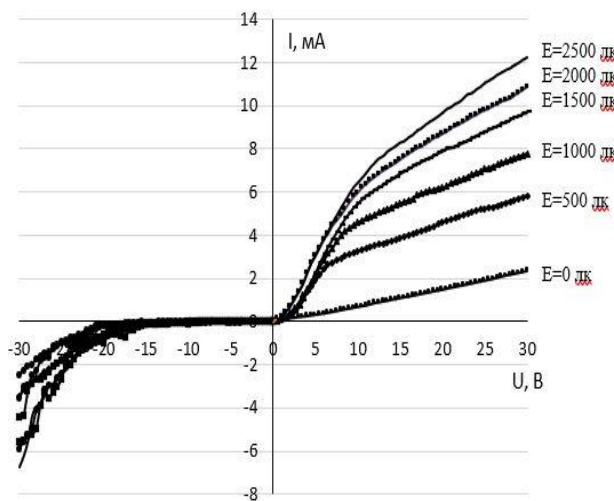


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики гетероструктуры  $n$ -TZO/ $p$ -Si при различной освещенности

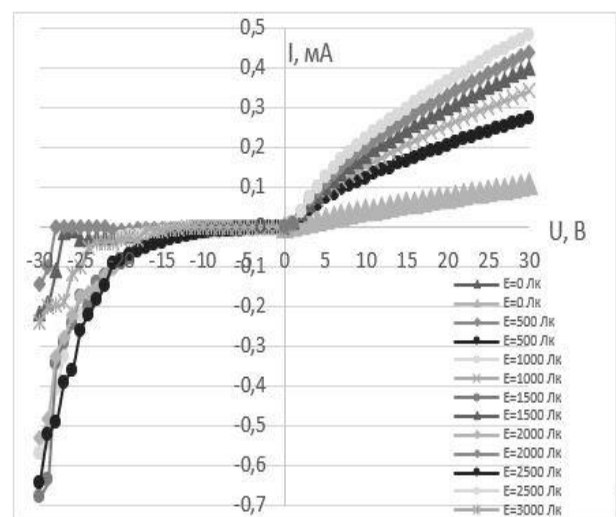


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики гетероструктуры  $n$ -ZTO/ $p$ -Si при различной освещенности

Вольт-амперные характеристики измерялись в интервале напряжений от  $-30$  до  $+30$  В. При освещении форма обратной ветви ВАХ практически не изменяется, а на прямой ветви ВАХ наблюдаются два участка: при напряжениях до  $10$  В и более  $10$  В, обусловленные, вероятно, различными механизмами протекания тока. По виду вольт-амперных характеристик можно сделать вывод, что гетероструктуры обладают выпрямительными свойствами. Исходя из исследуемых ВАХ гетероструктур, можно сделать следующие выводы: максимальная величина тока гетероструктуры  $n$ -TZO/ $p$ -Si составляет  $12$  мА, а гетероструктуры  $n$ -ZTO/ $p$ -Si –  $0,5$  мА, т.е. прямой ток в гетероструктуре  $n$ -TZO/ $p$ -Si в  $24$  раза больше, чем в гетероструктуре  $n$ -ZTO/ $p$ -Si.

Максимальный обратный ток в гетероструктуре  $n$ -TZO/ $p$ -Si –  $6,73$  мА, а в гетероструктуре  $n$ -ZTO/ $p$ -Si –  $0,679$  мА, т.е. максимальный обратный ток в гетероструктуре  $n$ -TZO/ $p$ -Si в  $10$  раз больше, чем в гетероструктуре  $n$ -ZTO/ $p$ -Si.

Максимальный темновой прямой ток гетероструктуры  $n\text{-TZO}/p\text{-Si}$  – 2,35 мА, а гетероструктуры  $n\text{-ZTO}/p\text{-Si}$  – 0,105 мА, т.е. прямой ток гетероструктуры  $n\text{-TZO}/p\text{-Si}$  без освещения в 22 раза больше. Максимальный обратный темновой ток гетероструктуры  $n\text{-TZO}/p\text{-Si}$  – 2,45 мА, а гетероструктуры  $n\text{-ZTO}/p\text{-Si}$  – 0,221 мА, т.е. у гетероструктур  $n\text{-TZO}/p\text{-Si}$  обратный темновой ток в 11 раз больше чем у гетероструктур  $n\text{-ZTO}/p\text{-Si}$ . Таким образом освещение сильнее влияет на прямую ветвь гетероструктуры  $n\text{-TZO}/p\text{-Si}$ .

Измерены вольт-амперные характеристики гетероструктуры  $n\text{-TZO}/p\text{-Si}$  и  $n\text{-ZTO}/p\text{-Si}$  в фотогальваническом режиме при различной освещенности. Гетероструктуры  $n\text{-TZO}/p\text{-Si}$  обладают максимальным током короткого замыкания 1,1 – 2,6 мкА и напряжением холостого хода 77 – 100 мВ при освещенности в интервале 500 – 3000 Лк (рис. 3), а  $n\text{-ZTO}/p\text{-Si}$  с максимальным током короткого замыкания 0,2 – 0,9 мкА и напряжением холостого хода 80 – 93 мВ при освещенности в интервале 500 – 3000 Лк (рис. 4).

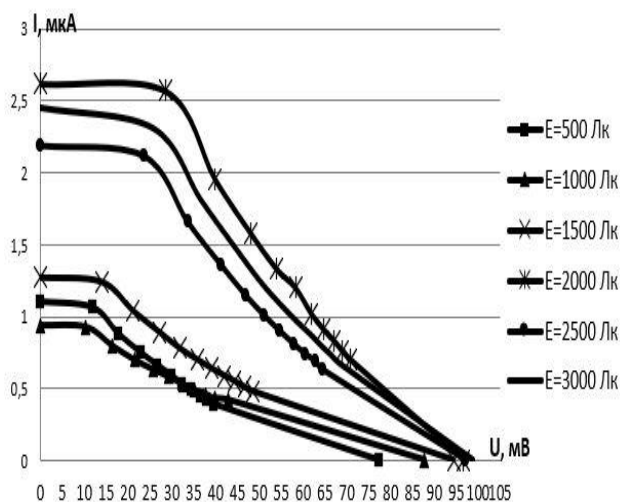


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики гетероструктуры  $n\text{-TZO}/p\text{-Si}$  в фотогальваническом режиме при различной освещенности

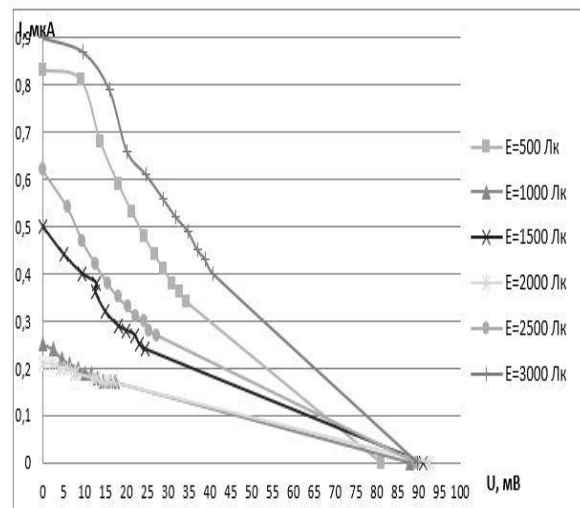
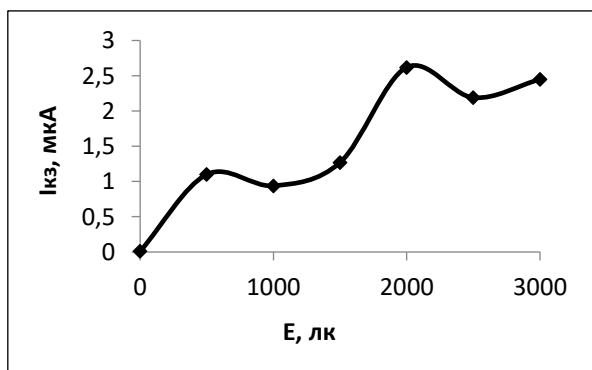
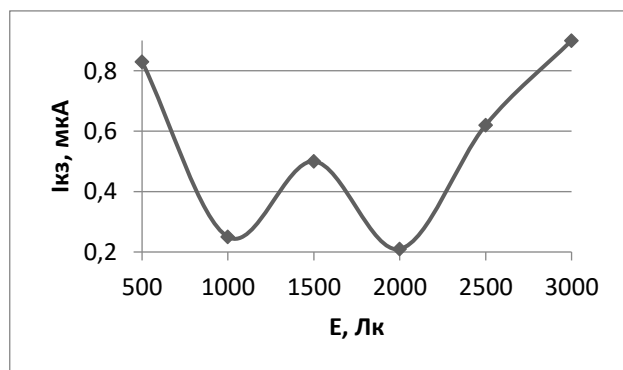


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики гетероструктуры  $n\text{-ZTO}/p\text{-Si}$  в фотогальваническом режиме при различной освещенности

При исследовании световых характеристик гетероструктуры  $n\text{-TZO}/p\text{-Si}$  установлено, что с ростом освещенности до 2000 Лк величина тока короткого замыкания увеличивается, а затем уменьшается (рис. 5, а), а для гетероструктуры  $n\text{-ZTO}/p\text{-Si}$  с ростом освещенности величина тока короткого замыкания уменьшается, а затем увеличивается, минимум тока короткого замыкания располагается при освещенности порядка 1000 – 2000 Лк (рис. 5, б), величина напряжения холостого хода до освещенности 2000 Лк увеличивается, а затем остается неизменной (рис. 6).



а



б

Рис. 5. Световая характеристика гетероструктуры  $n$ -TZO/ $p$ -Si (а) и  $n$ -ZTO/ $p$ -Si (б): зависимость тока короткого замыкания от освещенности

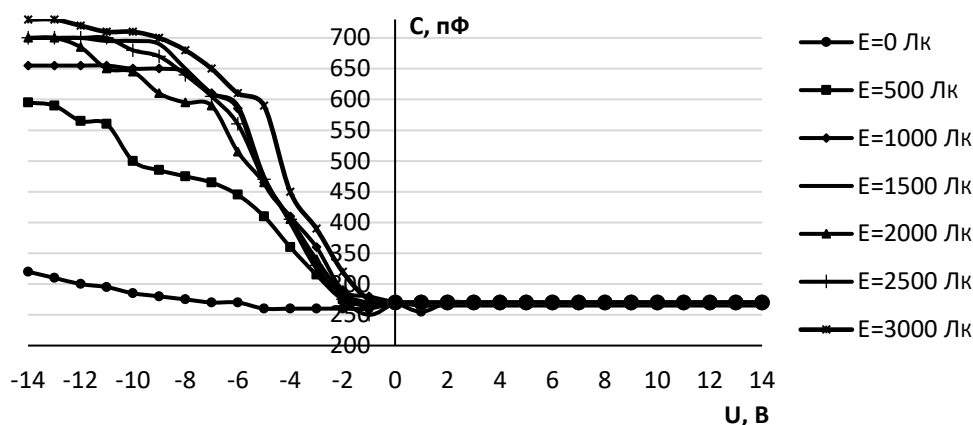


Рис. 7. Вольт-фарадные характеристики гетероструктуры  $n$ -TZO/ $p$ -Si при различной освещенности

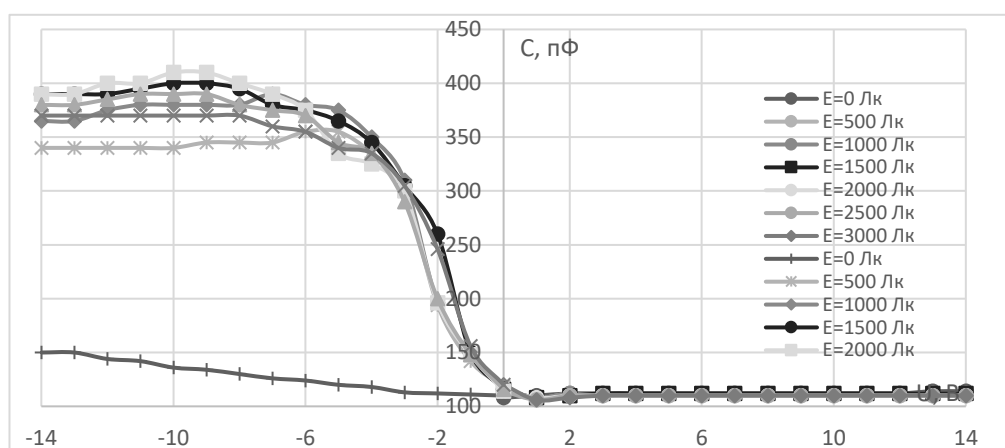


Рис. 8. Вольт-фарадные характеристики гетероструктуры  $n$ -ZTO/ $p$ -Si при различной освещенности

Таким образом, исследуемые гетероструктуры можно использовать в солнечной энергетике и оптоэлектронике в качестве фотоприемников. Использование их в качестве солнечных элементов пока невозможно из-за небольших токов короткого замыкания и напряжений холостого хода.

### Литература

1. Мейтин М. Фотовольтаика: материалы, технологии, перспективы / М. Мейтин // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2000. – № 6. – С. 40 - 46.
2. Афанасьев В.П. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния / В.П. Афанасьев, Е.И. Теруков, А.А. Шерченков. – СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 168 с.
3. Кушнир В.В. Оптимизация конструкции пленочного солнечного элемента / В.В. Кушнир // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. – 2011. – № 4 (117). – С. 225 - 228.