

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 нарҳда.

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 Расмий сайт: 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

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

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

Вольт-фарадный характеристики soi finfet структуры

И. Н. Каримов¹. М. Фозилжонов¹. А.Э.Абдикаримов²

¹И. Н. Каримов. Физический факультет, Андижанский государственный университет Андижан, Узбекистан.

¹М. Фозилжонов. Физический факультет, Андижанский государственный университет, Андижан, Узбекистан.

²Абдикаримов А.Э. Физический факультет. Ургенчский государственный университет.Ургенч, Узбекистан.

Аннотация. В работе рассмотрено влияние локального заряда на емкость переходов исток-затвор (сток-затвор) в наноразмерном SOI FinFET. Вольт-емкостная характеристика перехода исток-затвор моделируется с использованием метода малых сигналов переменного тока. Рассмотрена C-V-зависимость перехода исток-затвор при различных положениях локального заряда оксида. Проанализировано распределение концентрации неосновных и основных носителей заряда вдоль канала в базе при различных положениях локализованного заряда в окисном слое. Показано, что концентрация носителей вблизи боковой границы перехода сток (исток)–база монотонно изменяется с изменением положения локализованного заряда в окисном слое.

Ключевые слова: SOI FinFET; локальный заряд; переход исток-затвор; переход исток-база; подзатворный оксид

1. Введение. МОП-транзистор, особенно FinFET, во время работы подвергается различным внешним воздействиям, которые могут привести к ухудшению его характеристик. Среди этих эффектов некоторые хорошо известные эффекты; старения, связанные с инжекцией горячих носителей НСИ [1], температурной нестабильностью (BTI) [2], а также воздействием радиационных зарядов [3], которые должны учитываться при проектировании цифровых и аналоговых интегральных схем. Такие эффекты деградации возникают из-за инжекции или генерации зарядов в оксиде или из-за захвата на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Локализация инжектированных или генерируемых зарядов в оксидном слое затвора или на границе раздела полупроводник-диэлектрик вдоль канала зависит от различных условий. Например, в n-MOSFET, работающих при низком напряжении на затворе и относительно высоком напряжении на стоке, инжектированный заряд в основном локализован в оксидном слое или на границе раздела вблизи стока [4]. В этом случае в оксид также могут инжектироваться электроны, а также горячие дырки [5]. Воздействие ионизирующего излучения на МОП-транзистор при смещениях также может приводить к неравномерному распределению радиационно-индуцированного заряда на границе раздела вдоль канала [6].

Локальный заряд, захваченный на границе раздела, влияет на различные параметры MOSFET, такие как пороговое напряжение, и крутизна, что приводит к ухудшению характеристик транзистора. Поэтому очень важно оценить распределение или локализацию заряда, чтобы определить причины и механизмы локализованного заряда. Существует несколько методов определения распределения ловушек, таких как метод накачки заряда, метод измерения C-V (метод Термана). Каждый метод имеет определенные недостатки. Наиболее популярным среди упомянутых выше методов является метод накачки заряда, но его можно использовать только тогда, когда можно измерить ток подложки. Кроме того, метод, сравнивающий ток стока в линейной области и области насыщения, дает только относительное расположение (т. е. очень грубое распределение) ловушек [7, 8]. Один из очень простых и быстрых методов определения заряда, на границе раздела в MOSFET, основан на определении зависимости емкости от напряжения поперечного перехода исток (сток)-подложка [9]. Экспериментальную основу метода составляют работы [3, 10].

В работах [3, 9, 10] показано, что неравномерное распределение заряда в оксидном слое и на границе раздела полупроводник-диэлектрик МОП-транзистора приводит к изменению емкостей боковых сток-подложка и исток-подложка.

Поэтому распределение зарядов вдоль канала должно отражаться в указанных выше емкостях..

В этой статье мы использовали упомянутый выше метод, разработанный для планарных MOSFET, в наноразмерный SOI FinFET. Основная идея метода, предложенного в работе [9], состоит во влиянии локального заряда, в оксиде или на границе раздела полупроводник-диэлектрик, на емкость боковых переходов исток-база и сток-база. В случае планарного MOSFET емкость перехода исток-база (сток-база) состоит только из p-n перехода исток-база.

В то время как в случае FinFET, основанного на технологии Silicon-on-Insulator (SOI), емкость перехода исток-база C_{sb} , а также емкость перехода сток-база C_{db} включает две последовательные емкости: емкость p-n перехода C_{p-n} перехода исток-база и емкости обратного оксидного слоя C_{box} (рис. 1), поэтому:

$$C_{sb} = \frac{C_{p-n} \cdot C_{box}}{C_{p-n} + C_{box}} \quad (1)$$

C_{p-n} будет доминировать в C_{sb} , если C_{box} будет достаточно высоким. В нашем случае это означает, что толщина обратного оксидного слоя должна быть около 5 нм и ниже. Однако на практике этот случай не имеет места. Другим переходом, включающим C_{p-n} , является переход исток-затвор (рис.1). Емкость перехода исток-затвор C_{sg} , а также емкость перехода сток-затвор C_{dg} включает следующие последовательные емкости: емкость оксида C_{ox} , емкость обедненного слоя на границе оксид-полупроводник C_{dep} и емкость p-n перехода C_{p-n} перехода источник-база. Емкости C_{dep} вносят вклад в C_{sg} только в случае режиме обеднения на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Однако, поскольку мы рассматриваем только переходную (барьерную) емкость перехода исток-база, на контакт истока подается положительное смещение относительно контакта затвора. Поэтому на границе раздела полупроводник-диэлектрик не происходит режима обеднения и можно исключить C_{dep} из

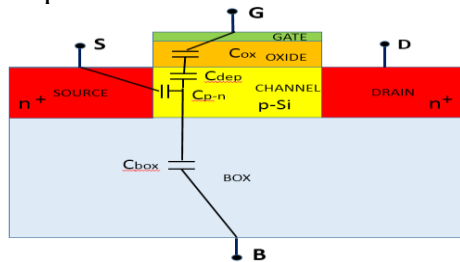


рис.1. Сечение моделированного SOI FinFET вдоль канала.

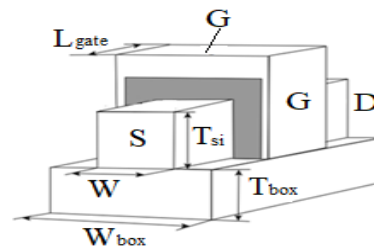


Рис 2. Трехмерная структура моделированного SOI FinFET

рассмотрение в цепи. В этом случае результирующая емкость C_{sg} перехода исток-затвор будет определяться выражением (2):

$$C_{sg} = \frac{C_{p-n} \cdot C_{ox}}{C_{p-n} + C_{ox}} \quad (2)$$

здесь емкость оксида затвора C_{ox} на единицу площади не зависит от смещения и определяется следующей формулой (3):

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} \quad (3)$$

и емкость p-n перехода на единицу площади зависят от смещения U и определяются по формуле (4):

$$C_{p-n} = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon N_a}{2(\phi + U)}} \quad (4)$$

здесь ε - диэлектрическая проницаемость кремния, e - элементарный заряд, N_a - концентрация легирования в базе, φ - контактная разность потенциалов на р-п переходе (в нашем случае 0,89 В). Оценка показывает, что даже при отсутствии смещения ширина р-п-слоя обеднения составляет порядка 0,1 мкм. Это намного больше толщины подзатворного оксида ($t_{ox} = 2,5$ нм), поэтому C_{sp} намного меньше по отношению к C_{ox} . В таком случае из формулы (2) видно, что C_{sg} определяется в основном емкостью C_{sp} . В связи с этим для определения зависимости C_{sp} от положения захваченного заряда оксида было проведено моделирование емкости C_{sg} перехода исток-затвор..

2. Условия моделирования и параметры транзистора. Проведено трехмерное моделирование на базе пакета программ TCAD Sentaurus. Метод анализа малого сигнала переменного тока был использован для моделирования C-V зависимостей боковых переходов исток-затвор и сток-затвор. Частота сигнала переменного тока была выбрана равной 1 МГц. Трехмерная структура смоделированного SOI FinFET показана на рис.2. Длина затвора L_{gate} смоделированного SOI FinFET составляет 25 нм, а толщина оксида затвора — 2,5 нм. Толщины канала T_{Si} и обратного оксидного слоя T_{box} составляют 30 и 100 нм соответственно. Ширина канала W составляет 12 нм. Уровень легирования подложки p-Si (база) составлял $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Емкости C_{sg} переходов исток-затвор моделировались для различных положений L положительного локального заряда оксида вдоль канала. L - расстояние между границей перехода источник-основание и центром локального заряда вдоль канала. Линейный размер d локального заряда составляет 5 нм. Плотность заряда в оксидном слое была выбрана равной 10^{12} cm^{-2} , что может иметь место при инжекции горячих носителей в МОП-транзисторах [11]. В то время как в случае рассматриваемого нанометрового FinFET ширина слоя обеднения р-п перехода простирается вдоль всего канала, или границе раздела на некотором расстоянии L от истока, может влиять на распределение носителей в канале и может отражаться в C-V зависимости емкости исток-база. Емкости переходов исток-затвор и сток-затвор одинаковы, поэтому мы привели только результаты, переходу исток-затвор. На данном этапе мы рассматриваем только влияние локального заряда оксидного слоя на емкость. Наш анализ состоит во внедрении локального положительного заряда в различных положениях L вдоль канала в оксид затвора и определении его влияния на емкость боковых переходов сток-затвор и исток-затвор..

3. Результаты моделирования и обсуждение. Результаты моделирования ВФХ для C_{sg} представлены на рисунке 3. Из рисунка видно, что при высоких Локальный заряд, в оксидном слое, заметно влияет на концентрацию носителей вблизи границы перехода сток-база (исток-база): концентрация неосновных носителей уменьшается, а концентрация основных увеличивается (рис. 5). Это эквивалентно уменьшению ширины обедненного слоя со стороны стока. Уменьшение ширины обедненного слоя отражается в увеличении емкости перехода, показанного на рис. 4.

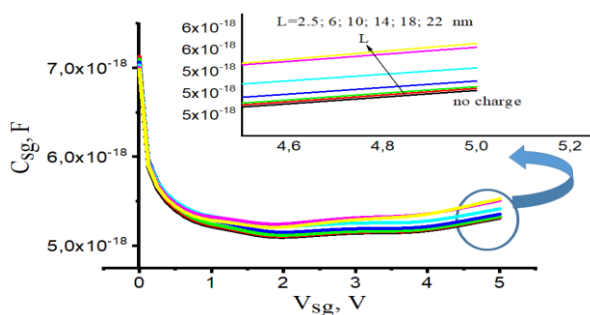


Рис.3. C-V зависимость перехода исток-затвор при различном положении захваченного заряда оксида.

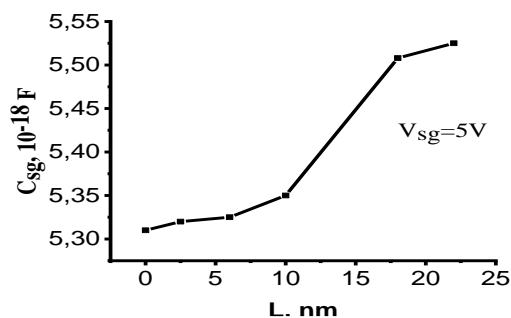


Рис.4. Зависимость C_{sg} от положения локального заряда оксида при приложенном напряжении $V_{sg} = 5V$.

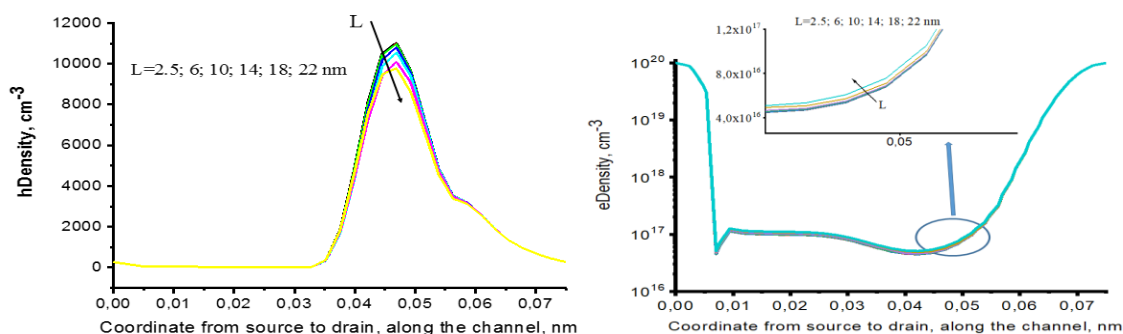


Рис. 5. Изменение концентрации дырок (а) и электронов (б) при различном положении L локального заряда оксида вдоль канала.

4. Вывод. Результаты моделирования показывают, что емкость соединения исток-затвор при определенном приложенном напряжении монотонно зависит от положения локального заряда оксида. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что переходная емкость исток-затвор (сток-затвор) может быть использована для разработки методов обнаружения и оценки положения локального заряда в оксидном слое вдоль канала в нанометрового SOI FinFET.

Литература

- [1] J. Martín-Martínez, S. Gerardin, E. Amat, R. Rodríguez, M. Nafria, X. Aymerich, et al. Channel-hot-carrier degradation and bias temperature instabilities in CMOS inverters. IEEE Trans Electron Devices 2009;56:2155–9. <https://doi.org/10.1109/TED.2009.2026206>.
- [2] B. Kaczer, T. Grassler, P. J. Roussel, J. Franco, R. Degraeve, L.A. Ragnarsson, et al. Origin of NBTI variability in deeply scaled pFETs. IEEE Int Reliab Phys Symp Proc. 2010:26–32. <https://doi.org/10.1109/IRPS.2010.5488856>.
- [3] A. E. Atamuratov, A. Yusupov, and K. Adinaev. Experimental Assessment of the Nonuniform Radiation-Induced Space-Charge Distribution in the Surface Region of Silicon. Inorganic Materials, Vol. 37, No. 8, 2001, pp. 767–768
- [4] Yeohyeok Yun, Ji-Hoon Seo, Young-Kyu Kwon, Bongkoo Kang. Effect of oxide-trapped charge on the anomalous drain avalanche hot carrier degradation of a SiO₂ dielectric nMOSFET. Microelectronics Reliability. Volumes 100–101, September 2019, 113449.
- [5] R. Kaizad Mistry, Brian Doyle, AC versus DC hot-carrier degradation in n-channel MOSFETs, IEEE Transactions on Electron Devices (1993) 40 (1) 96–104.
- [6] A. E. Atamuratov, D. Yu. Matrasulov, and P. K. Khabibullaev. Influence of the Field of the Built-in Oxide Charge on the Lateral C–V Dependence of the MOSFET. Doklady Physics, 2010, Vol. 55, No. 2, pp. 52–54.
- [7] Ji-Hoon Seo; Kim, Gang-Jun; Son, Donghee; Lee, Nam-Hyun; Kang, Yongha; Kang, Bongkoo, Method to predict length dependency of negative bias temperature instability degradation in p-MOSFETs, Jpn. J. Appl. Phys. 55 (8S2) (2016) 08PD03.
- [8] Fumitomo Matsuoka, Hiroshi Iwai, Hiroyuki Hayashida, Kaoru Hama, Yoshiaki Toyoshima, Kenji Maeguchi, Analysis of hot-carrier-induced degradation mode on pMOSFET's, IEEE Trans. Electron Devices 37 (6) (1990) 1487–1495.
- [9] E. Atabek Atamuratov, Ahmed Yusupov, A. Zuhra Atamuratova, Jean Chamberlain Chedjou and Kyamakya Kyandoghere. Lateral Capacitance–Voltage Method of NanoMOSFET for Detecting the Hot Carrier Injection. Appl. Sci. 2020, 10(21), 7935; doi:10.3390/app10217935.
- [10] A. E. Atamuratov, D. U. Matrasulov, and P. K. Khabibullaev. Detection of a Charge Built in the Oxide Layer of a Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor by Lateral C–V Measurement. Doklady Physics, 2007, Vol. 52, No. 6, pp. 322–325.
- [11] I. Starkov,; A.S. Starkov, Investigation of the threshold voltage turn-around effect in long-channel n-MOSFETs due to hot-carrier stress. Microelectron. Reliab. 2014, 54, 33–36.