



**РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ
МЕХАНИЗМОВ И ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ В МНОГОСЛОЙНЫХ
ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{КВАРЦ}$**

Арзикулов Ф Ф

*Самостоятельный соискатель Ташкентского государственного технического
университета имени Ислама Каримова,
Ассистент кафедры биомедицинской инженерии, информатики и биофизики
Ташкентского государственного медицинского университета.*

Мустафакулов А. А.

*кандидат физико-математических наук. Джизакского политехнического
института*

Кучканов Ш. К.,

*доцент Ташкентского государственного технического университета, кандидат
технических наук.*

Б.Д. Игамов,

*Научно-технический центр с конструкторским бюро и опытно-промышленным
производством, Академия наук Республики Узбекистан;*

И.О.Косимов

*Институт биоорганической химии им. О.С. Содикова, Академия наук Республики
Узбекистан, 100143, Ташкент, Узбекистан;*

В последние годы влияние ионизирующего излучения на свойства оксидных полупроводниковых структур вызывает устойчивый интерес в связи с развитием радиационно-стойкой электроники, дозиметрических систем и функциональных материалов для экстремальных условий эксплуатации [1,2]. Особое внимание уделяется многослойным Heterostructure гетероструктурам, где воздействие гамма-излучения способно изменять не только дефектное состояние отдельных слоев, но и характеристики межфазных границ, определяющих процессы переноса заряда. С физической точки зрения гамма-облучение может приводить к образованию радиационно-индуцированных дефектов, перестройке локальных энергетических состояний, изменению концентрации носителей заряда и модификации потенциальных барьеров на интерфейсах [3]. Эти процессы способны существенно влиять как на транспортные свойства, так и на параметры зонной структуры, включая смещение энергетических уровней, изменение ширины Band Gap запрещенной зоны и перераспределение зарядов в области межфазных переходов [4]. Многослойные системы $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}/\text{ZnO}$ представляют в этом отношении особый интерес. ZnO характеризуется высокой чувствительностью к дефектам радиационной природы, тогда как Cu_2O и CuO способны демонстрировать заметные изменения проводимости и энергетических параметров при внешних воздействиях [5, 6]. Совмещение этих



материалов в единой структуре создает условия для реализации сложных процессов, в которых радиационно-индуцированные дефекты могут влиять не только на объемную проводимость, но и на межфазные механизмы Charge Transport переноса заряда. Особое значение в подобных системах имеют интерфейсные барьеры. Именно межфазные границы $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}$ и CuO/ZnO могут определять инжекцию носителей, релаксационные процессы и барьерно-контролируемый токоперенос. Под действием гамма-излучения параметры этих границ могут модифицироваться, вызывая эволюцию транспортных механизмов – от омической проводимости к hopping-или туннельному транспорту [7]. Дополнительный интерес представляет использование кварцевой подложки. Благодаря высокой радиационной устойчивости, химической инертности и низкому уровню паразитных токов кварц позволяет минимизировать влияние подложки на измеряемые электрофизические параметры и более корректно анализировать собственные изменения в многослойной системе [8]. Несмотря на наличие отдельных работ по радиационному воздействию на ZnO- и CuO-содержащие структуры, вопросы, связанные с эволюцией транспортных механизмов и зонной структуры в гетероструктурах $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{кварц}$ под действием гамма-излучения, остаются недостаточно изученными. Особенно это касается взаимосвязи между радиационно-индуцированными дефектами, межфазными барьерами и изменением электрофизических параметров. В связи с этим исследование радиационно-индуцированной эволюции транспортных механизмов и зонной структуры в многослойных гетероструктурах $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{кварц}$ представляет актуальную научную задачу, имеющую как фундаментальное, так и прикладное значение.

Результаты. Проведенные исследования показали, что воздействие гамма-излучения приводит к заметному изменению электрофизических параметров гетероструктур $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{кварц}$. Установлено, что после облучения наблюдается изменение проводимости структуры, связанное с образованием радиационно-индуцированных дефектных состояний и модификацией межфазных потенциальных барьеров [1]. Анализ I–V характеристик показал эволюцию механизмов Charge Transport переноса заряда от преимущественно омического режима к hopping- и барьерно-контролируемому транспорту. По данным импедансного анализа выявлены изменения релаксационных процессов и увеличение вклада интерфейсных границ в общее сопротивление структуры [2]. Установлено также, что гамма-облучение приводит к модификации параметров Band Gap зонной структуры, включая возможное смещение энергетических уровней и изменение плотности локализованных состояний.

Обсуждение. Полученные результаты свидетельствуют, что наблюдаемые изменения обусловлены не только накоплением радиационных дефектов в отдельных слоях, но и перестройкой межфазных барьеров на границах $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}$ и CuO/ZnO . Вероятно, под действием гамма-излучения изменяется распределение ловушечных состояний, влияющее на инжекцию и транспорт носителей заряда [3]. Переход от омической проводимости к hopping- и барьерным механизмам согласуется с дефектно-



опосредованной моделью токопереноса, характерной для облученных оксидных систем [4]. Изменения зонной структуры могут быть связаны с радиационно-индуцированным перераспределением зарядов и модификацией интерфейсных энергетических уровней. Таким образом, гамма-излучение выступает фактором, способным управляемо изменять как транспортные свойства, так и электронную структуру исследуемых гетеросистем.

Научная новизна. Научная новизна работы заключается в исследовании радиационно-индуцированной эволюции транспортных механизмов и зонной структуры в многослойных Heterostructure гетероструктурах $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{кварц}$.

Впервые показано, что гамма-излучение приводит к комплексной модификации дефектных состояний, межфазных барьеров и механизмов переноса заряда. Установлен переход между различными режимами проводимости под воздействием радиационного фактора. Определен вклад радиационно-индуцированных изменений интерфейсов в эволюцию электрофизических и зонных параметров структуры.

Заключение. В работе показано, что воздействие гамма-излучения существенно влияет на транспортные механизмы и параметры зонной структуры в гетероструктурах $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{кварц}$. Установлено, что радиационно-индуцированные дефекты и модификация межфазных барьеров приводят к эволюции механизмов переноса заряда и изменению электрофизических характеристик структуры. Полученные результаты подтверждают перспективность использования радиационного воздействия как инструмента управления свойствами оксидных гетероструктур и могут быть использованы при разработке радиационно-стойких электронных и сенсорных устройств.

Список литературы

- [1] Fleetwood D.M. Radiation effects in microelectronics. IEEE Transactions on Nuclear Science.
- [2] Srour J.R., Palko J.W. Displacement damage effects in irradiated semiconductor devices. IEEE Transactions on Nuclear Science.
- [3] Electronic Processes in Non-Crystalline Materials. Oxford University Press.
- [4] Physics of Semiconductor Devices. Wiley.
- [5] Özgür Ü. et al. A comprehensive review of ZnO materials and devices. Journal of Applied Physics.
- [6] Yu Q. et al. Optical-electrical properties of $\text{ZnO}/\text{Cu}_2\text{O}(\text{CuO})$ heterojunctions. Physica B, 2024. DOI:10.1016/j.physb.2024.416253.
- [7] Simmons J.G. Barrier transport and tunneling mechanisms. Physical Review.
- [8] Thin Solid Films: Radiation stability of quartz-supported oxide films.

