

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.10.5>

УДК: 621.315.592

ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА СЛОИСТУЮ СТРУКТУРУ КРЕМНИЙ – НИОБАТ ЛИТИЯ

О. В. Гафуров, Р. Б. Хамрокулов, У. Р. Наимов

Таджикский национальный университет «ТНУ»
г. Душанбе, пр. Рудаки 17

Статья поступила в редакцию 5 июля 2021 г.

Аннотация. В данной работе показано, что при действии импульса ионизирующего излучения на устройства типа ПАВ, в которых монокристалл кремния нанесен с зазором на пьезоэлектрическую подложку из ниобата лития, происходит искажение выходного сигнала. Установлено, что в зависимости от типа проводимости материала нанесенного на ниобат лития наблюдался различный характер восстановления параметров устройства. Влияние ионизирующего излучения на устройства с воздушным зазором работающие, работающее в качестве запоминающего коррелятора, показало, что ранее записанные сигналы стирались при мощности дозы $\geq 10^6$ рад. Для объяснения этих зависимостей использована модель, основанная на том, что фотоносители, возбуждаемые ионизирующим облучением в обедненном слое захватываются ловушками на границе раздела кремний-воздух для устройств с воздушным зазором и на границе кремний-окись кремния для монокристаллической конструкции. Представленная модель, учитывающая ловушки не на границе раздела, объясняет большинство эффектов, вызывающих изменение выходного высокочастотные (ВЧ) сигнала.

Ключевые слова: структура, кристаллическая решетка, гамма-излучение, доза, ПАВ устройства, ниобат лития, монокристаллический кремний.

Abstract. In this work, it is shown that when an ionizing radiation pulse acts on surfactant-type devices in which a silicon single crystal is deposited with a gap on a piezoelectric substrate made of lithium niobate, the output signal is distorted. It was found that, depending on the type of conductivity of the material deposited on the lithium niobate, a different character of recovery of the device parameters was observed. The effect of ionizing radiation on air-gap devices operating as a memory correlator showed that the previously recorded signals were erased at a dose rate of $\geq 10^6$ rad. To explain these dependencies, a model is used based on the fact that photo carriers excited by ionizing radiation in the depleted layer are captured by traps at the silicon-air interface for devices with an air gap and at the silicon-silicon oxide interface for monolithic structures. The presented model, which takes into account traps not at the interface, explains most of the effects that cause a change in the output high frequency (RF) signal.

Key words: structure, crystal lattice, gamma radiation, dose, surfactant devices, lithium niobate, single-crystal silicon.

Введение.

Актуальной проблемой современной электроники является использование новых физических явлений и эффектов в пьезокристаллах для создания твердотельных устройств. Широкими возможностями для обработки информации обладают акустоэлектронные приборы на их основе [1, 2, 3]. Уже в настоящее время создан целый ряд устройств на пьезокристаллах, например, ниобат лития, многие из которых по совокупности параметров превосходят аналоги, основанные на других физических принципах и материалах.

К новым акустоэлектронным приборам, полученным с использованием радиационной технологии с учетом радиационно-стимулированных явлений, относятся некоторые устройства типа усилитель на поверхностные акустические волны (ПАВ).

Данная работа посвящена исследованию механизма деградации параметров слоистых структур кремний – ниобат лития при воздействии

проникающей радиации. Ионизирующее излучение изменяет физические параметры пьезоэлектрических кристаллов и приводит к образованию зарядового состояния как на поверхности кристалла, так и внутри его, что естественно приводит к изменению величины постоянных распространения ПАВ. Эти изменения выражаются в искажении формы сигнала.

1. Решения задач.

Исследовано влияние гамма-излучения на характеристики устройств типа усилитель на ПАВ. Исследования проведены по методике изучения влияния ионизирующего излучения (ИИ) на электрические характеристики устройств на ПАВ. [4, 5] Это методика основано на большом экспериментальном материале и исследовании физических процессов, приводящих к изменению основных электрических устройств на ПАВ. Показано что при действии импульса ионизирующего излучения на устройство типа усилитель на ПАВ, в котором монокристалл кремния (р-типа или n-типа) нанесен с зазором на пьезоэлектрическую подложку из ниобата лития, происходит искажение выходного сигнала. В зависимости от типа проводимости материала, нанесенного на ниобат лития, наблюдался различный характер восстановления параметров устройства [3, 6].

2. Результаты работы.

Для структур с материалом n-типа (с различным удельным сопротивлением) существует два вида восстановления выходного сигнала: быстрое и медленное.

Для монокристаллических устройств характерно только медленное восстановление. На рис. 1 приведены относительные значения амплитуд сигналов свертки для структуры «полупроводник n-типа (кремний) и пьезоэлектрик (ниобат лития)» в зависимости от интервала времени между облучением и сигналом свертки при различных мощностях дозы облучения.

На рис. 2 представлено относительные значения амплитуд сигналов для монолитной конструкции, состоящей из окиси цинка (ZnO), нанесенной на эпитаксиально выращенную кремниевую структуру с подслоем SiO₂, при длительности импульса 5 мкс.

Исследованное в работе [6] влияние ионизирующего излучения на устройство с воздушным зазором (слой кремния n-типа с удельным сопротивлением 35 Ом/см), работающее в качестве запоминающего коррелятора, показало, что ранее записанные сигналы стирались при мощности дозы $\geq 10^6$ рад (Si). Однако, если время между облучением и последующей записью составляло < 50 мкс, то величина выходного сигнала свертки резко снижалась при повышении уровня мощности дозы облучения до $4 \cdot 10^5$ рад/с (см. рис. 2).

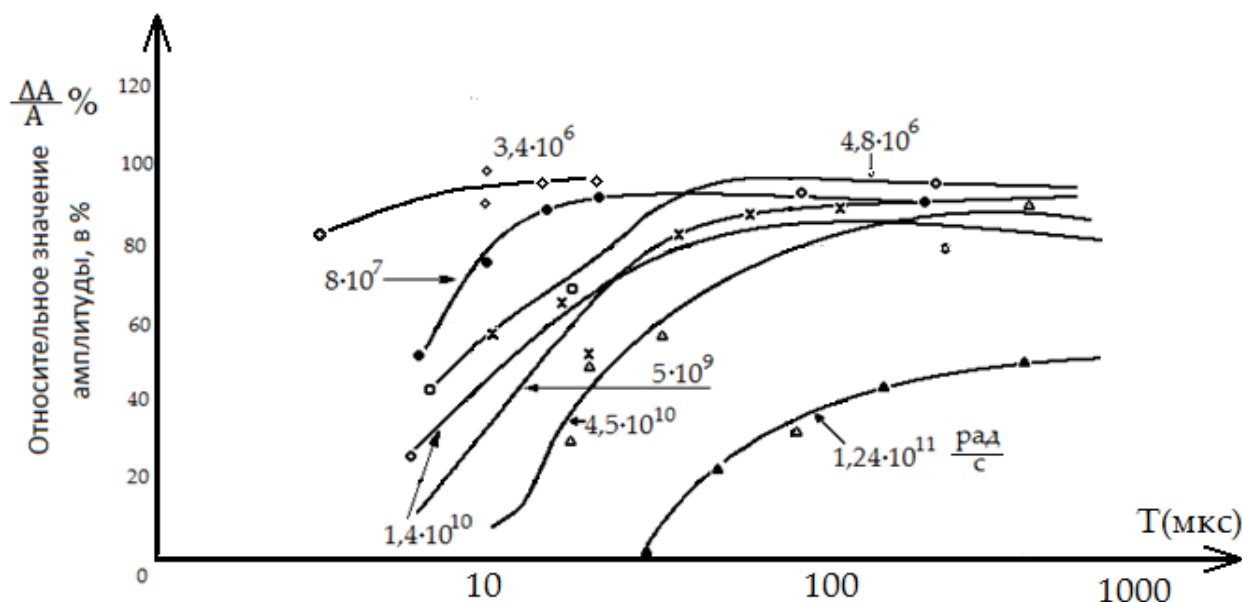


Рис. 1. Относительная зависимость амплитуд сигнала свертки от времени между облучением и пиком выходного сигнала свертки для монолитной конструкции конвольвера. τ – время от импульса облучения до пика выходного сигнала свертки, мкс; $\Delta A/A\%$ – относительное значение амплитуд сигнала.

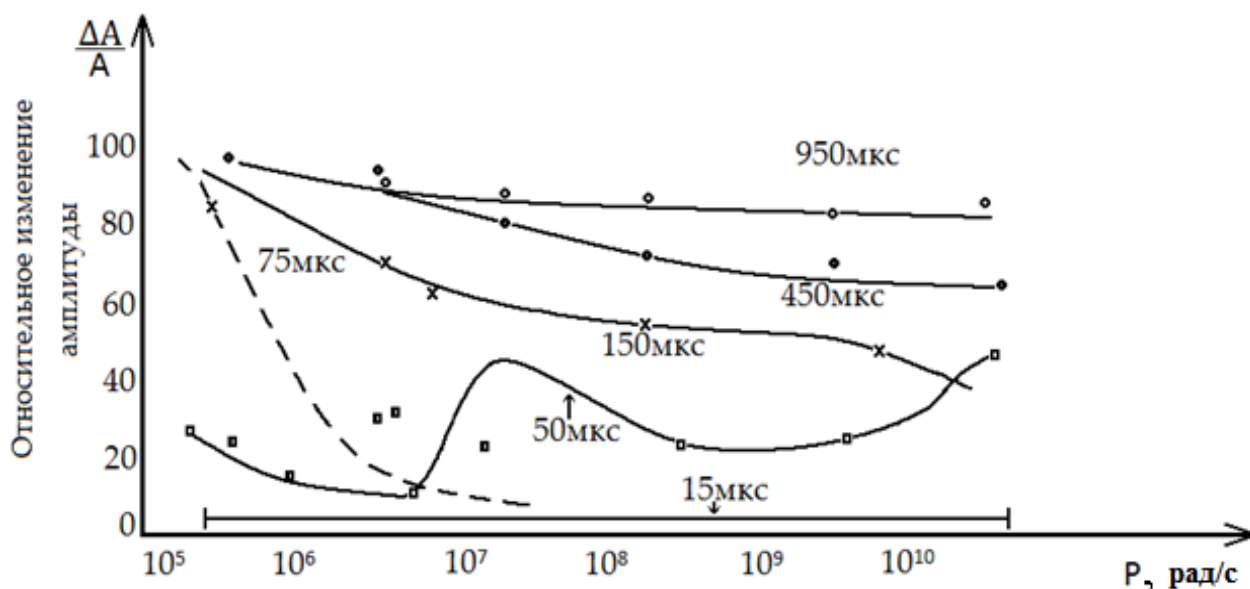


Рис. 2. Относительная зависимость амплитуды сигнала свертки от мощности дозы облучения.

Для объяснения большинства зависимостей можно использовать модель, описанную в [7]. Эта модель основана на том, что фотоносители, возбуждаемые ионизирующим облучением в обедненном слое, захватываются ловушками на границе раздела кремний-воздух для устройств с воздушным зазором и на границе кремний-окись кремния для монокристаллических конструкций (рис. 3).

Заряженные ловушки, превращая ранее обедненный приповерхностный слой в слой с сильной инверсией, нарушают процесс обработки сигнала. Инверсный слой препятствует проникновению в полупроводник ВЧ электрического поля, сопровождающего акустическую волну. С этого момента до разрядки ловушек свертки сигналов не происходит. На границе раздела находятся два типа ловушек: быстрые ловушки с временем релаксации около 30 мкс, возбуждение которых зависит от поля, и медленные ловушки с временем релаксации от 0,5 до 1 мкс. Наличие в материале ловушек с разным временем релаксации, объясняет ступенчатый процесс восстановления.

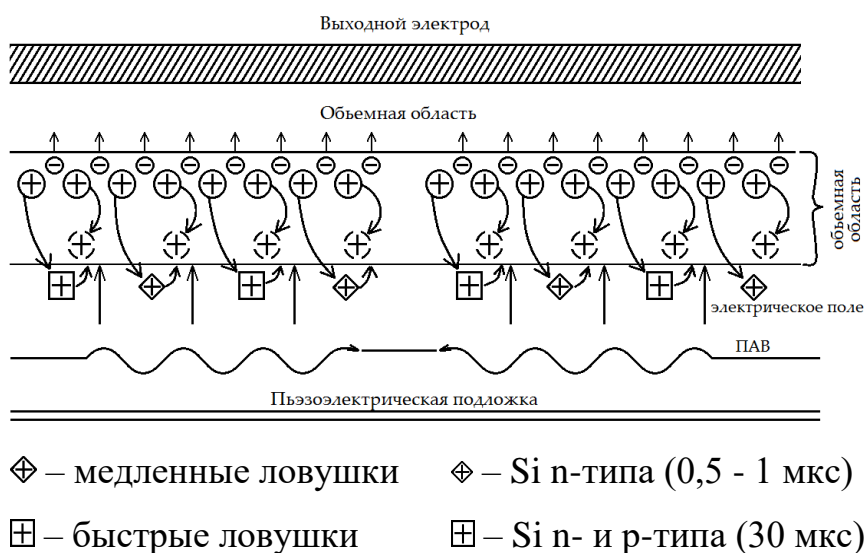


Рис. 3. Модель влияния кратковременного облучения на работу конвольвера на ПАВ с материалом n-типа

Для материалов с ловушками двух типов заряды, вначале захваченные быстрыми дефектами, при освобождении попадают на медленные центры, прежде чем покинут обедненный слой. Импульс облучения генерирует избыточные носители той же концентрации, что и накопленный заряд, если предположить, что механизм работы запоминающего режима обусловлен только быстрыми ловушками. Накопленный заряд будет искажать запись и обработку информации [8]. Из [9-10] следует, что концентрация накопленного заряда составляет 10^{10} мм⁻², и, поскольку при мощности дозы 10^6 рад/с генерируется – 10^{12} см⁻³ электронно-дырочных пар в кремнии, можно допустить, что электрическое поле, существующее в обедненном слое, собирает в ловушки фотоносители в области толщиной 10^{-2} см. Кроме того, если импульс облучения появился раньше прохождения сигнала, то при данной мощности дозы генерируется достаточное число фотоносителей, чтобы заполнить быстрые ловушки и препятствовать запоминанию и обработке сигнала. Этим же объясняется поведение порога на рис. 2 при времени задержки между импульсом ионизирующего излучения и входным сигналом меньше 50 мкс. Быстрые ловушки успевают опустошаться при большем времени задержки. Допустимая мощность дозы составляет около 10^6 рад/с. Достаточная для искажения обработки сигнала доза не воздействует на сам процесс обработки сигнала,

поскольку заполнения ловушек до концентрации 10^{10} см⁻² хватает для записи сигнала, но недостаточно, чтобы привести к инверсии и экранировке ВЧ поля. Инверсный слой экранирует ВЧ-поле при концентрации заполненных ловушек, достигающих значений 10^{12} см⁻² при мощности дозы 10^8 рад (Si)/с. Импульсное ионизирующее излучение слоистых структур полупроводник-пьезоэлектрик для усиления, запоминания и обработки ПАВ снижает выходной ВЧ-сигнал на время, соизмеримое с действием импульса.

Заключение.

Таким образом, представленная модель, учитывающая ловушки не на границе раздела, объясняет большинство эффектов, вызывающих изменение выходного ВЧ-сигнала и имеет непосредственный выход в технологию производства акустоэлектронной аппаратуры, предназначенной для работы в особо сложных экстремальных условиях эксплуатации.

Литература

1. Palatnikov M.N., et al. Growth and concentration dependencies of rare-earth doped lithium niobate single crystals. *Journal of Crystal Growth*. 2006. V.291. P.390-397 <http://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2006.03.022>
2. Абасов Ф.П., Наджафов Б.А. Влияние гамма-облучения на электрофизические и фотоэлектрические параметры двух барьерной структуры на основе кремния. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. №10(3). С.454-456.
3. Щербачев К.Д., Вублик В.Т., Мордкович В.Н., Пажин Д.М. Особенности образования радиационных дефектов в слое кремния структур «кремний на изоляторе». *Физика и Техника Полупроводников*. 2011. Т.45. №6. С.754-758.
4. Гафуров В.Г., Дружкова И.А., Преображенский И.И. Дестабилизирующие факторы, приводящие к деградации параметров устройств на ПАВ. *Механика деформируемого твердого тела*. 1985. С.120-126.

5. Гафуров О.В. *Исследование влияния радиации на дефектообразование и электрофизические свойства полупроводниковых структур и приборов.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата физ-мат наук: 01.04.07. Душанбе. 2002. 126 с.
6. Орлова А.Н., Педько Б.Б., Филинова А.В., Франко Н.Л., Прохорова А.Ю. Влияние гамма и гамма-нейтронного облучения на оптические свойства и монокристаллов LiNbO_3 . *Физика Твёрдого Тела*. 2006. Т.48. №3. С.507-509.
7. Вавилов В.С., Ухин Н.А. *Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах.* Москва, Атомиздат. 1969. 311 с.
8. Махсудов Б.И. Влияние гамма-облучения на излучательные характеристики лазерных гетероструктур. *Квантовая электроника*. 2012. Т.42. №8. С.745-746.
9. Коршунов Ф.П., Готальский Г.В., Иванов Г.М. *Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах.* Москва, Наука и техника. 1978. 232 с.
10. Берг А. Работа конвольвера слоистой структуры на ПАВ при импульсном ионизирующем облучении. *ТИИЭР*. 1976. №5. С.254-257.

Для цитирования:

Гафуров О.В., Хамрокулов Р.Б., Наимов У.Р. Воздействия гамма-излучения на слоистую структуру кремний – ниобат лития. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.10.5>