

9-10-2019

RELAXATION DEPENDENCE OF THE CAPACITY OF A THREE-LAYER STRUCTURE IN THE PROCESS OF CHARGE FORMATION OF AN INVERSION LAYER.

Behzod Khoshimjanovich Kuchkarov
Namangan State University

Odiljon Oxundedaevich Mamatkarimov
Namangan engineering-technological institute

Abrorbek Abdulloxonovich Abdulkhayev
Namangan State University

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/namdu>



Part of the [Physical Sciences and Mathematics Commons](#)

Recommended Citation

Kuchkarov, Behzod Khoshimjanovich; Mamatkarimov, Odiljon Oxundedaevich; and Abdulkhayev, Abrorbek Abdulloxonovich (2019) "RELAXATION DEPENDENCE OF THE CAPACITY OF A THREE-LAYER STRUCTURE IN THE PROCESS OF CHARGE FORMATION OF AN INVERSION LAYER.," *Scientific Bulletin of Namangan State University*. Vol. 1 : Iss. 6 , Article 5.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/namdu/vol1/iss6/5>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific Bulletin of Namangan State University by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

**RELAXATION DEPENDENCE OF THE CAPACITY OF A THREE-LAYER STRUCTURE
IN THE PROCESS OF CHARGE FORMATION OF AN INVERSION LAYER.**

Cover Page Footnote

???????

Erratum

???????

РЕЛАКСАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЕМКОСТИ ТРЕХСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАРЯДА ИНВЕРСИОННОГО СЛОЯ.

Кучкаров Бехзод Хошимжанович.¹ Доктор философских наук по физике и математике (PhD), ¹Наманганский Государственный Университет, Маматкаримов Одилжон Охундаевич² доктор физика-математических наук профессор, ² Наманганский Инженерно-технологический институт, Абдулхаев Аброрбек Абдуллохонович³, Магистрант кафедры физика.
¹Наманганский Государственный Университет.

bxquchqarov@mail.ru

Аннотация. Исследовано влияние ультразвукового воздействия на плотность электронных состояний, локализованных на межфазной границе раздела Si-стекло. Предложена методика определения величин скорости поверхностной и объемной генерации носителей заряда, используя расчётную временную зависимость ширины области пространственного заряда (ОПЗ) при сравнении её с экспериментальной зависимостью. Ультразвуковая обработка структур Al-n-Si – стекло – Al, частотой 2,5МГц мощностью 0,5 Вт, в течение 40 минут приводит к уменьшению скорости формирования заряда инверсионного слоя. Это обусловлено уменьшением интегральной плотности электронных состояний, локализованных на межфазной границе раздела полупроводник-стекло и не влияет на энергетический спектр объемных электронных состояний в полупроводнике.

Ключевые слова. Ультразвуковое облучение, C-V характеристики, локализованные состояния, релаксация, генерация носителей, диэлектрические потери, межфазные границы, изотермической релаксации емкости.

RELAXATION DEPENDENCE OF THE CAPACITY OF A THREE-LAYER STRUCTURE IN THE PROCESS OF CHARGE FORMATION OF AN INVERSION LAYER.

Kuchkarov Behzod Khoshimjanovich¹. Doctor of Philosophy (PhD) in Physical and Mathematical Sciences. ¹Namangan State University.
Mamatkarimov Odiljon Oxundedaevich², doctor of physical and mathematical sciences.
²Namangan engineering-technological institute.
Abdulkhayev Abrorbek Abdulloxonovich³, 1st year Physics Master.
³Namangan State University.

bxquchqarov@mail.ru

Abstract. The effect of ultrasonic action on the density of electronic states localized at the Si-glass interface is studied. A method is proposed for determining the surface and volume generation rates of charge carriers using the calculated time dependence of the space charge region width (SCR) when comparing it with the experimental dependence. Ultrasonic treatment of Al-n-Si - glass - Al structures with a frequency of 2.5 MHz and a power of 0.5 W for 40 minutes leads to a decrease in the rate of charge formation of the inversion layer. This is due to a decrease in the integral density of electronic states localized at the semiconductor-glass interface and does not affect the energy spectrum of bulk electronic states in a semiconductor.

Keywords. Ultrasonic irradiation, C-V characteristics, localized states, relaxation, carrier generation, dielectric loss, interfaces, isothermal relaxation of capacitance.

УЧ ҚАТЛАМЛИ СТРУКТУРА СИҒИМИНИНГ ИНВЕРЦИЯ ҚАТЛАМИДА ЗАРЯД ХОСИЛ ҚИЛИШ ЖАРАЁНИДА БЎШАШИШ БОҒЛАНИШИ.

Кучқаров Бехзод Хошимжанович¹. физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD). ¹Наманган давлат университети.

Маматкаримов Одилжон Охундедаевич². физика-математика фанлари доктори профессор, ²Наманган муҳандислик-технология институти,

Абдулхаев Аброрбек Абдуллохон ўғли³. 1-курс физика йўналиши магистрант.

³Наманган давлат университети.

bxqichqarov@mail.ru

Аннотация. Кремний-шиша бўлинма фазалар чегарасида локаллашган электрон ҳолатлари зичлигига ультратовуш таъсири тадқиқ этилган. Металл-диэлектрик-яримўтказгич структураларда сизим релаксацияси орқали назарий ҳисобланган. Фазавий заряд соҳаси кенглигининг вақтга боғланиши орқали ҳажмий ва сиртий генерация тезликларини аниқлаш усули ишлаб чиқилган. Al-n-Si – шиша – Al структураларга 2,5 МГц частотали, 0,5 Вт қувватли ультратовуш билан 40 минут давомида берилган таъсир яримўтказгич шиша чегара соҳасида локаллашган электрон ҳолатлари интеграл зичлигини камайиши ва яримўтказгичдаги ҳажмий электрон ҳолатлари энергетик спектри ўзгармай қолиши аниқланган;

Калит сўзлар. Ультратовуш нурланиш, C-V характеристикаси, махалилаштирилган ҳолатлар, генерация, яшаш вақти, диэлектрик исроф, инверсиялар қатлами, сизим хусусиятлари.

Введение. Структуры типа металл - диэлектрик - полупроводник (МДП) на основе кремния в настоящее время являются основой широкого класса полупроводниковых приборов и структурных элементов интегральных схем. При этом, характеристики границы раздела полупроводник - диэлектрик могут оказывать существенное влияние на параметры изготавливаемых приборов и структурных элементов [1,2]. Исследованиям влияния, на параметры границ раздела, таких воздействий как термическая обработка и γ -облучение посвящено достаточно много работ [3-6]. Что касается влияния ультразвуковых воздействий, то имеющиеся данные не достаточно широко интерпретированы. Так, в работе [7] показано, что ультразвуковое воздействие может привести как к уменьшению, так и к увеличению заряда, локализованного на межфазных границах раздела SiO₂ - p-Si. В работе [8] показано, ультразвуковое облучение приводит к перестройке напряженных валентных связей на межфазной границе раздела полупроводник-стекло, с одновременным увеличением сечения захвата локализованных на них электронов.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния ультразвукового воздействия на плотность электронных состояний, локализованных на межфазной границе раздела Si-стекло.

Исследуемые образцы

Тестовые структуры изготавливались путём нанесения стекла на подложку Si, p – типа проводимости, с кристаллографической ориентацией <100>. Нанесение стекла осуществлялась при помощи электрофореза из суспензии, содержащей мелкодисперсную шихту стекла (SiO₂-PbO-B₂O₃-Al₂O₃-Ta₂O₅) и изопропилиновый спирт, с последующим оплавлением при температуре 670 - 680 градусов и отжигом в бескислородной атмосфере. Толщина полученных слоёв стекла составляла $d = (2 \pm 0,2) \times 10^{-4}$ см. Массовое содержание входящих в стекло оксидов составляло: SiO₂ – 30 %; PbO – 50%; B₂O₃ – 15%. Также исследуемые стёкла содержали оксиды алюминия и тантала с массовыми долями 5% и оксиды щелочных металлов K₂O и Na₂O, массовые доли которых не превышали 0,01%

МДП структуры изготавливались при помощи вакуумного осаждения алюминия на поверхность слоя стекла. Диаметр управляющих электродов - 3 мм. Изготовленные структуры подвергались облучению продольными ультразвуковыми волнами частотой 2,5 мГц мощностью 0,5 Вт, в течении 40 минут, т.е. использовалось воздействие, аналогичное описанному в [9]. Звукпроводом между пьезопреобразователем и исследуемой структурой являлась жидкость.

Метод исследования. В качестве основного метода исследования использовался метод изотермической релаксации емкости структуры металл-диэлектрик - полупроводник (МДП) в процессе увеличения заряда инверсионного слоя [9-10]. В соответствии с общепринятой моделью структуры МДП, временная зависимость емкости этой структуры, после импульсного увеличения прикладываемого напряжения, (без учета влияния формирующегося заряда инверсионного слоя) может быть выражена при помощи следующего соотношения:

$$C(t) = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 K C_d}{K + x(t)C_d} \quad (1)$$

здесь: K - площадь управляющего электрода, C_d - емкость слоя диэлектрика, ε - диэлектрическая проницаемость полупроводника, ε_0 - электрическая постоянная, x(t) - временная зависимость ширины области пространственного заряда (ОПЗ) полупроводника. Величина C_d - определяется по высокочастотной вольт-фарадной характеристике, при помощи метода, описанного в работе [11] можно найти значения C(t) для каждого момента времени t, из экспериментальной релаксационной характеристики структуры МДП используя выражения (7) указанной работы:

$$x = \left(x_0 + \frac{S}{A} \right) \exp\left(-\frac{A}{N} t \right) - \frac{S}{A} \quad (2)$$

здесь x-толщина слоя объёмного заряда полупроводника структуры МДП, x₀-начальная толщина этого слоя, A-скорость генерации носителей заряда в объеме полупроводника, N-концентрация легирующей примеси. Полученную расчетную временную зависимость ширины ОПЗ,изменяющуюся в процессе формирования заряда инверсионного слоя, можно использовать для определения величин скорости поверхностной и объёмной генерации носителей заряда при сравнении её с экспериментальной зависимостью.

Для изучения энергетического спектра объемных состояний, локализованных в кремнии, использовалась методика идентификации, описанная в [10], для чего изготавливались диоды Шоттки типа Au-n-Si, путем химического удаления слоя стекла и вакуумного осаждения Au.

Полученные результаты и их обсуждение. На рисунке 1 приведены вольт-фарадные характеристики (нормализованные к величине ёмкости слоя стекла) одной из исследуемых структур, измеренные в темноте, до воздействия ультразвуком – зависимость 1 и после воздействия – зависимость 2. Из приведенных зависимостей видно, что после воздействия ультразвуком вольт-фарадная характеристики сдвигается в сторону отрицательных напряжений и не значительно изменяет свою форму. Согласно существующим теориям, параллельный сдвиг вольт-фарадных характеристик структур МДП (изготовленных на основе полупроводника n – типа проводимости) в сторону отрицательных напряжений указывает на образование положительного (фиксированного) заряда в структур стекла. А изменение формы вольт-фарадных характеристик таких структур, свидетельствует об увеличении заряда поверхностных состояний, которые перезаряжаются при изменении величины прикладываемого напряжения.. Наличие подвижного заряда в структуре свинцово-боро-силикатого стекла обусловлено локализацией, инжектированных из полупроводника, электронов в близи легко поляризуемых ионов свинца и накоплением их на потенциальных барьерах включений кристаллической фазы [3]. Так как изменение степени поляризации ионов свинца при помощи ультразвуковых воздействий указанной мощности представляется маловероятным, то основной причиной, приводящей к увеличению положительного заряда может быть изменение высоты потенциальных барьеров между включениями кристаллической фазы.

Действительно, уменьшение высоты потенциальных барьеров приводит к тому, что инжектированные прикладываемым обогащающим напряжением, из полупроводника электроны, не локализуясь в больших количествах в потенциальных ямах при смене полярности напряжения экстрагируются обратно в объем полупроводниковой подложки. Для подтверждения этого предположения в структурах подвергнутых ультразвуковому воздействию измерялся тангенс угла диэлектрических потерь при различных температурах (-10 +50⁰ С) и частотах (100 кГц 1мГц) рис.-3. Сравнение полученных температурно- частотных зависимостей тангенс угла диэлектрических потерь позволило установить, что во всех измеренных структурах тангенс угла диэлектрических потерь имеет характерный релаксационный максимум, а в структурах подвергнутых ультразвуковому воздействию релаксационный максимум диэлектрических потерь уменьшается и становится менее ярко выраженным. Такое поведение релаксационного максимума так же указывает на увеличение величины подвижных зарядов встроенных в структуру стекла .

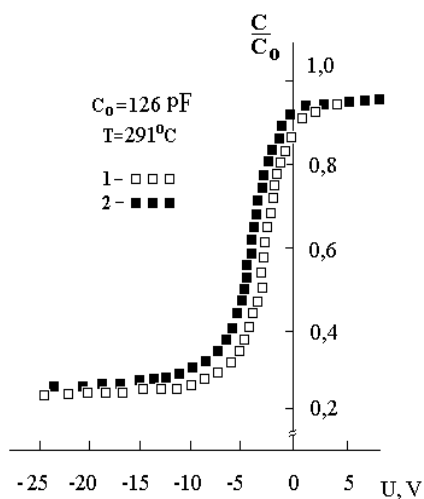


Рис.1. Вольтфарадные характеристики одной из исследуемых структур. 1-контрольная . 2-измеренная после воздействия ультразвуком.

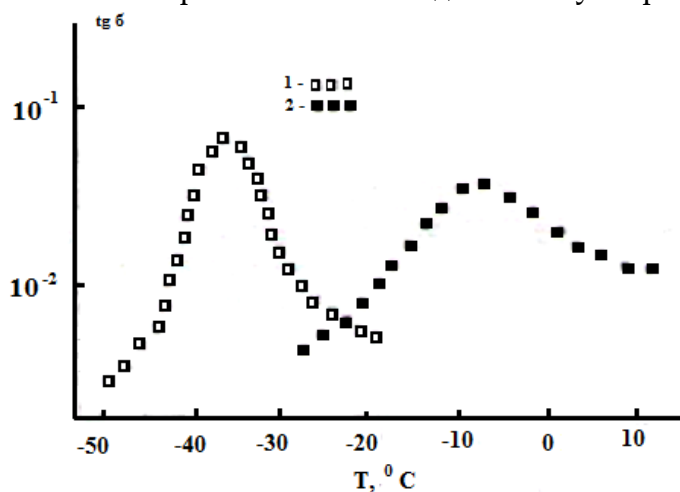


Рис.2. Температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь контрольной (1) и для подвергнутой воздействию ультразвуком (2) структуры.

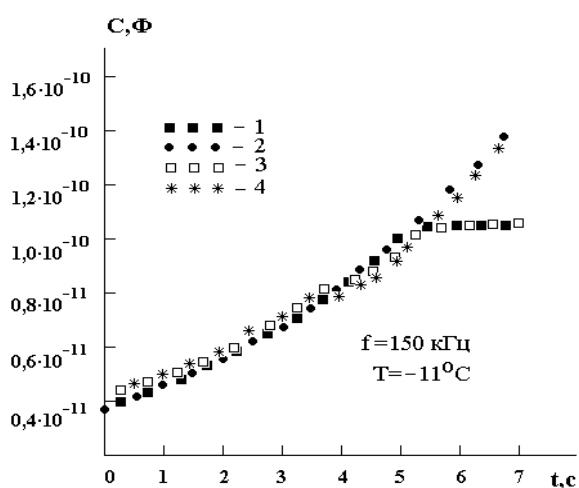


Рис.3. Экспериментальные (1,3) и теоретические (2,4) зависимости релаксации емкости исследуемых структур (3 и 4 - контрольные, 1, 2 -

подвергнутые ультразвуковому воздействию).

концентрацией генерационных центров, как в объеме полупроводника, так и плотностью состояний, локализованных на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Для определения вклада в процесс релаксации поверхностных и объемных центров использовались расчетную временную зависимость изменяющуюся в процессе формирования заряда инверсионного слоя 2, при сравнении ее с экспериментальной зависимостью 1. На рис. 12 приведены экспериментальная (1) и теоретическая (2) зависимости $C(t)$ для одного из контрольных образцов, полученные после переключения напряжения $V_1 \rightarrow V_2$ ($V_1=8$ В, $V_2=15$ В). Величины скорости объемной (А) и поверхностной (S) генерации найдены при помощи формул (1,2) методом оптимального подбора: $A = 9 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}\text{см}^{-3}$ и $S = 4 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$. Зависимость (3), измеренная при аналогичных условиях, соответствуют образцу, подвергнутому воздействию ультразвуком. Из приведенных зависимостей видно, что расчетные (2,4) и экспериментальные (1,3) зависимости хорошо совпадают при значениях $A = (8-9) \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}\text{см}^{-3}$, $S = (1-2) \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$. На наш взгляд, это указывает на то, что при данных ультразвуковых воздействиях концентрация и энергетическое распределение примесных центров, имеющих в объеме полупроводника, практически не изменяются, а уменьшение скорости поверхностной генерации ($S = 4 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$ – в контрольных и $S = (1-2) \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$ – в обработанных ультразвуком структурах) обусловлено изменением плотности поверхностных состояний.

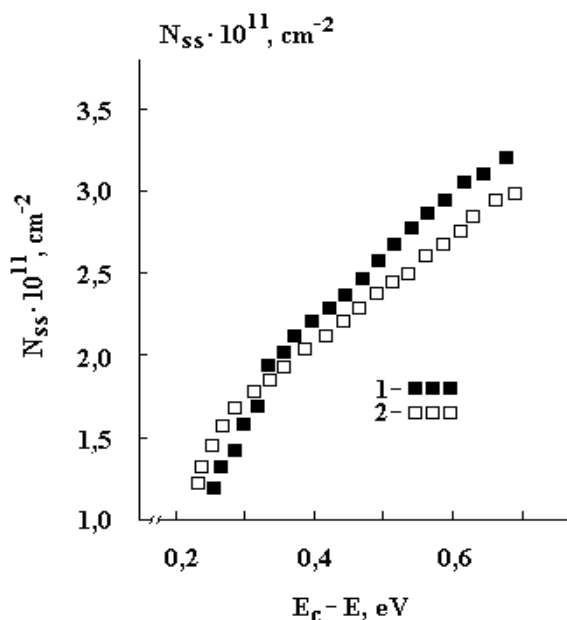


Рис. 4. Распределения интегральной плотности поверхностных состояний для исследованных структур (1-контрольная структура, 2-структура подвергнутая ультразвуковому воздействию)

В соответствии с существующими теориями, скорость формирования инверсионного заряда определяется концентрацией генерационных центров, как в объеме полупроводника, так и плотностью состояний, локализованных на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Для определения вклада в процесс релаксации поверхностных и объемных центров использовались расчетную временную зависимость изменяющуюся в процессе формирования заряда инверсионного слоя 2, при сравнении ее с экспериментальной зависимостью 1. На рис. 12 приведены экспериментальная (1) и теоретическая (2) зависимости $C(t)$ для одного из контрольных образцов, полученные после переключения напряжения $V_1 \rightarrow V_2$ ($V_1=8$ В, $V_2=15$ В). Величины скорости объемной (А) и поверхностной (S) генерации найдены при помощи формул (1,2) методом оптимального подбора: $A = 9 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}\text{см}^{-3}$ и $S = 4 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$. Зависимость (3), измеренная при аналогичных условиях, соответствуют образцу, подвергнутому воздействию ультразвуком. Из приведенных зависимостей видно, что расчетные (2,4) и экспериментальные (1,3) зависимости хорошо совпадают при значениях $A = (8-9) \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}\text{см}^{-3}$, $S = (1-2) \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$. На наш взгляд, это указывает на то, что при данных ультразвуковых воздействиях концентрация и энергетическое распределение примесных центров, имеющих в объеме полупроводника, практически не изменяются, а уменьшение скорости поверхностной генерации ($S = 4 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$ – в контрольных и $S = (1-2) \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}\text{см}^{-2}$ – в обработанных ультразвуком структурах) обусловлено изменением плотности поверхностных состояний.

Для подтверждения этого предположения со структур, подвергнутых воздействию ультразвуком, химическим способом (обработка в парах плавиковой кислоты) удалялся слой стекла и при помощи вакуумного осаждения Au (без подогрева подложки) изготавливались диоды Шоттки типа Au-n-Si. Далее, для изучения энергетического спектра объемных состояний, локализованных в кремнии, использовалась методика идентификации, описанная в 10. и определялись энергетическое распределение и концентрация примесных центров, локализованных в базовой области диодов. Анализ полученных результатов показал следующее. Во всех диодах Шоттки, как в контрольных, так и в изготовленных на пластинах, подвергавшихся

ультразвуковому воздействию, энергетическое положение примесных центров $E_c-0,27$ эВ и $E_c-0,54$ эВ, а так же их концентрация ($n=(3-5)10^{12}$ см⁻³) практически идентичны (разброс этих значений для различных диодов составлял 5-7%), что лежит в пределах ошибки эксперимента. На наш взгляд, это подтверждает то, что указанное ультразвуковое воздействие не влияет на параметры объемных генерационных центров и, следовательно, на скорость объемной генерации носителей заряда. Непосредственное измерение плотности поверхностных состояний, выполненное при помощи метода высокочастотных вольт-фарадных характеристик (на частоте 150 кГц, в интервале температур от -5 до -18° С) показало (рис. 5), что в структурах, подвергнутых указанному ультразвуковому воздействию, распределение интегральной плотности поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны полупроводника уменьшается по сравнению с контрольными структурами. Причём наиболее заметно это уменьшение в диапазоне энергий больших, чем $E = E_c-0,4$ эВ. Уменьшение скорости поверхностной генерации и его изменение со временем после ультразвукового воздействия может быть вызвано уменьшением числа и ширины граничной фазы разделений кристаллических включений в составе стекла.

Для проверки этого из структур МДП химическим способом удалялись управляющий Al электрод и в паре муравьиной кислоты удалялись слои стекла. После микрофотографировалась поверхность стекла.

На рис 5 приведены в 2800 раз увеличенные микрофотографии для двух поверхностей стекла. Сравнивая фотографии, можно сказать, что после ультразвукового воздействия поверхность стекла стало более однородной.

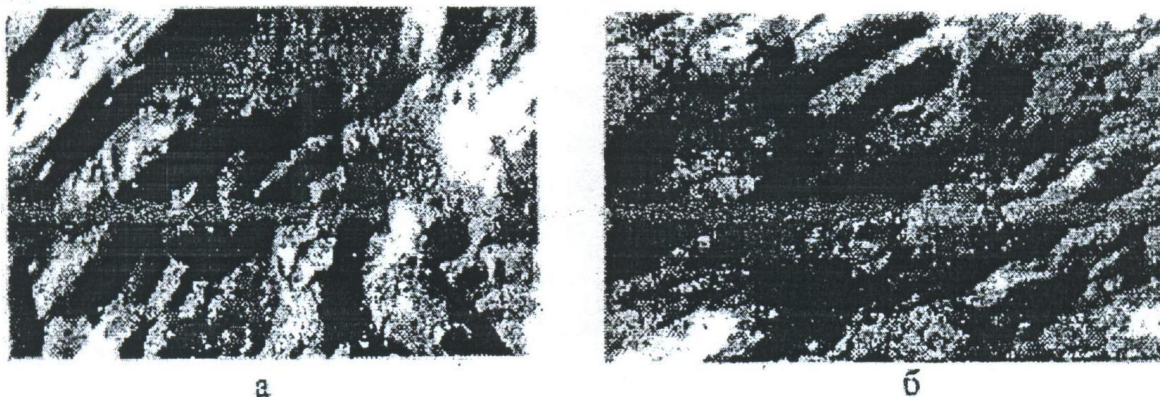


Рис 5. Микрофотография поверхности исследованных структур а) до воздействия ультразвука. б) после воздействия ультразвука с мощностью $P=0.5$ W/cm² в течение $t=90$ мин.

Уменьшение скорости поверхностной генерации носителей заряда и изменение её временной зависимости в ходе до формирования заряда инверсионного слоя, наблюдаемое после ультразвукового воздействия, хорошо коррелирует с уменьшением числа и протяженности межфазных границ раздела кристаллических включений, входящих в состав стекла.

Заключение. Ультразвуковая обработка структур Al-n-Si – стекло Al, частотой 2,5 МГц мощностью 0,5 Вт, в течение 40 мин. приводит к уменьшению интегральной

плотности электронных состояний и не влияет на энергетический спектр объемных электронных состояний в полупроводнике.

Ультразвуковая обработка может способствовать улучшению генерационно-рекомбинационных свойств межфазной границы раздела кремний-свинцово-боросиликатное стекло указанного состава за счет перестройки напряженных валентных связей на этой границе

облучение ультразвуком (частотой 2,5 мГц мощностью 05 Вт в течение 40 минут) структур полупроводник (n-Si) стекло ($\text{SiO}_2\text{-PbO-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Ta}_2\text{O}_5$) приводит к увеличению положительного заряд встроенного в структуру стекла.

References:

1. Pershenkov V.S, Popov V.D, Shalnov A.V Poverxnostnie radiatsionnie effekti v IMS. – M.; Energoatomizdat,1988.-S 187.
2. CHistov YU.S., Sinorov V.F. Fizika MDP –struktur . Voronej: VGU, 1986,-156.
3. Baraban A.P., Bulavinov V.V, Konora P.P. Elektronika sloev SiO₂ na kremnii . L., LGU. 1988.-S 302.
4. Menshikova T.G., i dr. Vliyanie ioniziruyushego izucheniya na planarno – neodnorodnie MDP strukturi. Elektronika i informatika . Materiali mejdunarodnoy nauchno-texnicheskoy konferensii . Moskova 2005.CH.1. S139
5. Levin M.R., Tatarinsev A.B., Ivankov YU.V. Modelirovanie vozdeystviya ioniziruyushix izlucheniya na MDP strukturu .Kondensirovannye sredi i mejfaznie granitsi .2002 .t.4.№3.S195-202.
- 6.Menshikova T.G., Bormontov A.E., Ganja V.V., Vliyanie fluktuatsiy vstroennogo zaryada na elektrofizicheskie karakteristiki MDP struktur. Vestnik VGU. Seriya :fizika .matematika ,2005, №1
7. Zaveryuxina B.N., Zaveryuxina N.N., Vlasov S.I , Zaveryuxina E.B. Akustostimulirovannoe izmenenie plotnosti i energeticheskogo spektra poverxnostnix sostoyaniy v monokristallax r-kremniya .Pisma v JTF. 2008 tom 34,vip 6.S 36-42.
8. Vlasov S.I., Zaveryuxin B.N.,Ovsiyannikov A.V., Vliyanie ultrazvukovoy obrabotki na generatsionnie karakteristiki granitsi razdela poluprovodnik-steklo. Pisma v JTF.2009.tom 35 .vip 7.S 41-45.
9. Vlasov S.I. Ovsiyannikov A.V., Ismoilov B.K., Kuchkarov B.X. Vliyanie ultrazvukovoy obrabotki na skorost formirovaniya zaryada inversionnogo sloya v strukturax metall-steklo –poluprovodnik . Materiali mejdunarodnoy nauchno – prakticheskoy koferensii . Strukturnaya relaksatsiya v tverdex telax . Vinnitsa .2012.S 234-236.
10. Zaynabidinov S.Z.,Vlasov S.I.,Nasirov A.A. Neravnoveniye protsessi na granitse razdela poluprovodnik –dielektrik.-Tashkent, Universitet 1995.-S 113.
11. Vlasov S.I., Ovsiyannikov A.V., Ismailov B.K., Kuchkarov B. Kh. Effect of presure on the properties of Al-SiO₂-n-Si<Ni> structures. Semiconductor Physics, Quantum electronics and Optoelectronics. 2012. Vol. 15. № 2. P.166-169.