

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения,  
технологии и управления качеством

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА  
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СЕНСОРНОЙ СТРУКТУРЫ «ЭЛЕКТРОЛИТ-  
ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК» К рН**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 4 курса 4091 группы  
направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»,  
профиль «Нанотехнологии, диагностика и синтез современных материалов»  
института физики  
Молина Мансилья Хуана Себастиана

Научный руководитель,  
доцент, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А. В. Козловский

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

С.Б. Вениг

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Саратов 2023

**Введение.** Структура «электролит-диэлектрик-полупроводник» представляет собой сложную систему, состоящую из трех компонентов: электролита (раствора с ионами), диэлектрика и полупроводника.

На сенсорные характеристики, например, чувствительность к катионам водорода, таких структур может влиять ионная сила раствора, а также параметры измерения сигнала. Для сенсорных структур «электролит-диэлектрик-полупроводник» сигналом может быть как сдвиг вольтфарадной характеристики (ВФХ) вдоль оси напряжения, так и сдвиг зависимости фототока, генерируемого при модулированном освещении, от напряжения.

Целью бакалаврской работы является определение оптимальных значений параметров измерения и параметров раствора аналита, при которых достигается наивысшая чувствительность сенсорной структуры «электролит-диэлектрик-полупроводник» к рН.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- провести обзор научной литературы на тему влияния различных факторов, в том числе ионной силы раствора электролита, на чувствительность структуры «электролит-диэлектрик-полупроводник» к различным ионам;
- измерить вольт-фарадные характеристики структур «Si-SiO<sub>2</sub>-электролит» при различных частотах переменного напряжения, рН электролита, концентрации NaCl в растворе;
- измерить зависимости тока от времени при различном напряжении, рН электролита, частоте модулированного освещения и концентрации NaCl в растворе;
- проанализировать измеренные ВФХ и зависимости тока от времени.

Выпускная квалификационная работа занимает 55 страниц, имеет 33 рисунка.

Обзор составлен по 19 информационным источникам.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой теоретический обзор источников, раскрывающий основные свойства и характеристики сенсорных структур

«электролит-диэлектрик-полупроводник», методов получения и исследования таких структур, обосновывает последующий выбор методов и материалов для практического исследования.

Во втором разделе работы приводятся данные о получении и анализе сенсорных структур «электролит-диэлектрик-полупроводник», делаются выводы об основных характеристиках рассматриваемых структур. В частности, подробно рассмотрен процесс подготовки полупроводниковых подложек и нанесения на его поверхность органических слоев, приводятся данные об электрофизических и сенсорных характеристиках полученных структур.

### **Основное содержание работы**

Для изготовления образцов использовались пластины монокристаллического кремния *p*-типа ( $\rho = 10 \text{ } \Omega \text{ см}$ ) и *n*-типа ( $2-4 \text{ } \Omega \text{ см}$ ). Пластины разрезались на подложки размером  $10 \times 10 \text{ мм}^2$ . Затем пластины кипятили в перекисно-аммиачном растворе ( $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 1:1:4$ ) при  $75^\circ\text{C}$  в течение 10 мин. После перекисно-аммиачной обработки пластины промывали в деионизированной воде ( $\rho \sim 18,2 \text{ М}\Omega \text{ см}$ ) и монтировали в электрхимическую ячейку.

Для изменения pH раствора электролита были созданы калий-фосфатные буферные растворы концентрацией 0,1 М со значениями pH от 5,25 до 7,4. Также у буферных растворов варьировалось значение ионной силы: концентрации NaCl изменяли от 0,1 до 0,2 М.

При помощи анализатора полупроводниковых приборов Agilent B1500a измерялись вольт-фарадные характеристики (ВФХ) при различных значениях pH раствора электролита. Также после измерения ВФХ измеряли зависимость тока от времени при модулированном освещении при различном напряжении, прикладываемом между электродами. Частота модуляции варьировалась от 0,5 кГц до 1 кГц.

На рисунке 1 показаны измеренные ВФХ для структур на основе подложек *p*- и *n*-типа при частоте переменного напряжения 5 кГц. Видно, что при увеличении pH раствора ВФХ сдвигается вправо вдоль оси напряжений. С

помощью компьютерной программы Origin на зависимостях выбиралось определённое значение емкости, на уровне которого проводилась горизонтальная линия вдоль оси напряжений. Далее в точках пересечения горизонтальной линии с кривыми определяли соответствующие значения напряжения. Эти значения сопоставляли со значениями рН раствора для построения калибровочной кривой.

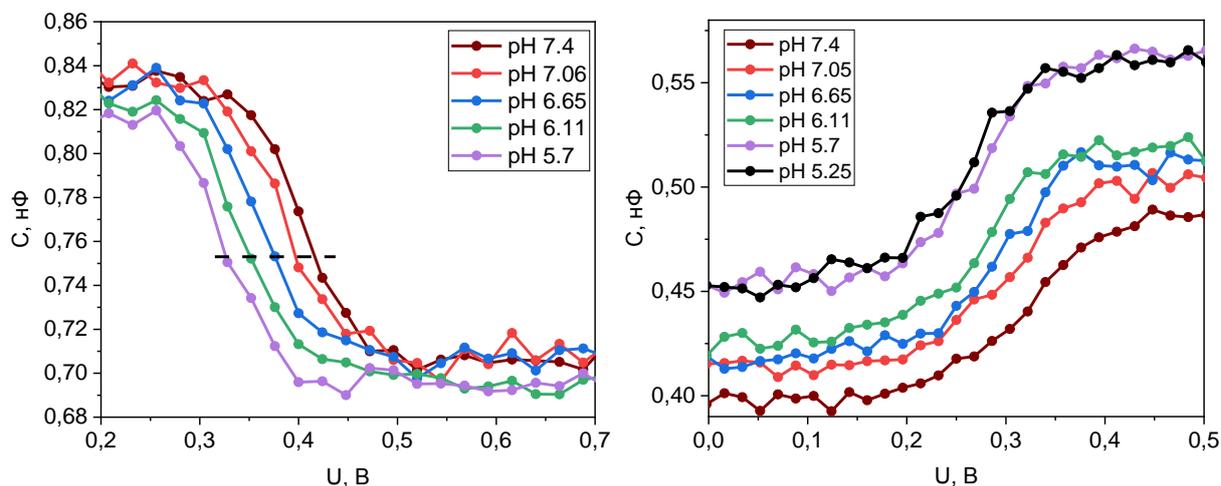


Рисунок 1 – Вольт-фазные характеристики для структур «электролит-диэлектрик-полупроводник» на основе *p*-Si (слева) и *n*-Si (справа), измеренные при частоте переменного напряжения 5 кГц

На рисунке 2 показана калибровочная кривая, полученная по сдвигу ВФХ при изменении рН раствора.

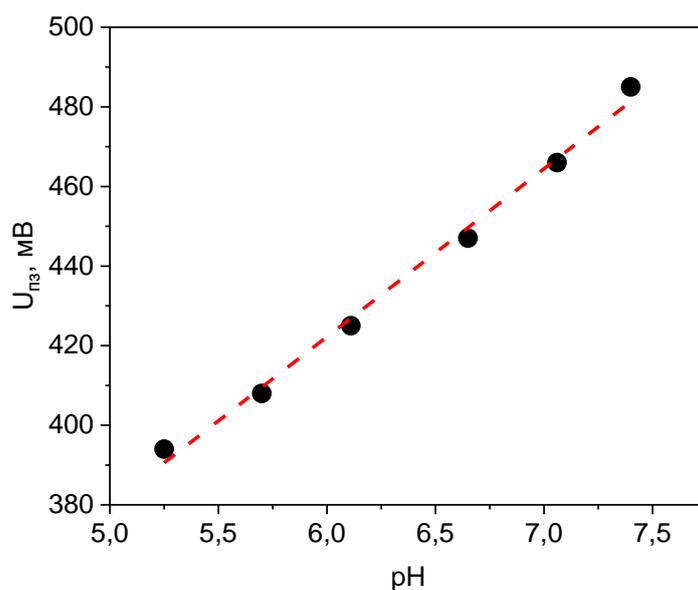


Рисунок 2 – Калибровочная кривая, полученная по сдвигу ВФХ, измеренных при частоте переменного напряжения 1 кГц

По калибровочной кривой определяли чувствительность, то есть на сколько сдвинутся ВФХ по оси напряжения при изменении рН раствора на единицу. Для этого данные аппроксимировали уравнением вида  $y=kx+b$ , где  $b$  – это точка пересечения прямой с осью  $y$ ,  $k$  – это тангенс угла наклона, который характеризует чувствительность. Значение чувствительности, определенное по калибровочной кривой, где сдвиг потенциала плоских зон при изменении рН раствора больше всего соответствовал линейному закону, было 52.07 мВ/рН.

По полученным характеристика фототока от напряжения также определяли чувствительность к изменению рН раствора. Наибольшая чувствительность (35,3 мВ/рН) была в случае, когда частота модуляции составляла 1 кГц.

### Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были:

- получены и исследованы сенсорные структуры на основе полупроводника;
- вольт-фарадные характеристики структуры "электролит-диэлектрик-полупроводник" широко используются для регистрации изменения концентрации заряженных молекул в растворе;
- получено, что чувствительность к рН сенсорных структур на основе кремния дырочной проводимости составляет 52.07 мВ/рН. Такая чувствительность была определена по вольт-фарадным характеристикам, полученным при частоте переменного напряжения 5 кГц и концентрации NaCl 150 мМ. При увеличении частоты в измеряемую емкость большой вклад вносит импеданс раствора, чем импеданс полупроводникового трансдьюсера. Это приводит к тому, что сдвиг ВФХ вдоль оси напряжений перестаёт зависеть от концентрации катионов водорода у поверхности трансдьюсера.
- Чувствительность к рН у подложек n-Si ниже чем у p-Si. Наибольшая чувствительность была получена при частоте 1 кГц и концентрации NaCl 150 мМ.

- при добавлении раствора перекиси водорода на поверхность структуры «p-Si-SiO<sub>2</sub>-HRP» ВФХ сдвигается вправо. Это связано с появлением кислорода, который образуется в результате ферментативной реакции.
- при измерении сенсорных характеристик в режиме светоадресуемого потенциометрического сенсора получено, что наибольшая чувствительность достигается при частоте модулированного освещения 1кГц.