

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И  
ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ФЕРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.АУЭЗОВА

ФЕРГАНСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ ОБЩЕСТВЕННОГО  
ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научной конференции

**“ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ  
СРЕД”**

Фергана, 24-май, 2024 год.

**Заклучения.** При изучении процесса испарения биологической жидкости впервые был проведен эксперимент, направленный на изучение изменений в её объеме и плотности при изменении количества вещества в её составе. В результате этого эксперимента было выявлено, что при увеличении количества вещества в составе биологической жидкости происходит уменьшение её объема при испарении, увеличение времени испарения и уменьшение объемной скорости. Также было обнаружено, что при переходе биологической жидкости в твердую фазу, то есть при образовании элементарных структур, добавление вещества (раствора NaCl с концентрацией 0,9%) приводит к сокращению времени, затрачиваемого на этот процесс, и увеличению скорости образования элементарных структур.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ergashev, E. A. U. (2023). THE STRUCTURE OF THE PROTEIN MOLECULE AND THE FORCES GENERATED IN IT. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(4), 816-819.
2. Karabayevich, K. M. (2022). PROCESS OF DEHYDRATION OF LIQUIDS WITH DIFFERENT COMPONENTS. *PEDAGOG*, 5(6), 770-774.
3. Qoraboyev, M. Q., Onarqulov, K. E., Ergashev, E. A. O. G. L., & Nazirjonov, S. B. O. G. L. (2022). KICHIK HAJMGA EGA BO 'LGAN SUYUQ MODDALARNING (NaCl va Oqsil) SUVSIZLANISH KINETIKASI. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(Special Issue 4-2), 933-941.
4. Ergashev, E. A. O. G. L. (2022). TUZ (0, 9% KONSENTRATSIYALIK), OQSIL VA MODEL SUYUQLIKLARNING SUVSIZLANISH KINETIKASI. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(11), 94-99.
5. Ergashev, E. A. O. G. L. (2022). TUZ (0, 9% KONSENTRATSIYALIK), OQSIL VA MODEL SUYUQLIKLARNING SUVSIZLANISH KINETIKASI. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(11), 94-99.

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА И ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДОВ ВИСМУТА И СУРЬМЫ

Д.А.Юсупова<sup>1)</sup>, Н.Камолиддинов<sup>2)</sup>

Ферганский государственный университет, г.Фергана

<sup>1)</sup>доцент кафедры «Физика», к.ф.-м.н., <sup>2)</sup> студент направления «Физика»

**Аннотация.** В работе также представлено теоретическое обоснование высокой тензочувствительности пленок на основе поликристаллических теллуридов висмута и сурьмы. Предложенные модели, такие как барьерная концепция и активационно-туннельный механизм, помогают объяснить экспериментальные данные и предсказать поведение тензорезисторов при различных условиях эксплуатации.

Анализ электронно-микроскопических изображений позволил выявить структурные особенности пленок, включая дислокационные стенки и пустые каналы, которые оказывают значительное влияние на их тензочувствительность. Эти результаты позволяют глубже понять механизмы переноса носителей заряда и связать их с физическими процессами в материале.

В целом, исследование представляет важный вклад в развитие тензорезистивных материалов и их применение в современных технологиях, таких как сенсорные устройства, системы контроля и измерения, а также области электроники и медицинской диагностики. Полученные результаты могут быть полезны для разработки новых тензорезистивных материалов с улучшенными свойствами и более широким спектром применения.

**Ключевые слова.** тензорезистивный эффект, пленочные тензопреобразователи, поликристаллические пленки, теллуриды висмута и сурьмы, тензочувствительность, структурные исследования, деформационные эффекты, механизмы переноса носителей заряда, электропроводность, сенсорные технологии.

Тензорезистивные преобразователи, или тензодатчики, представляют собой важный класс сенсорных устройств, используемых для измерения механических деформаций. Они находят широкое применение в различных областях, включая промышленность, медицину, авиацию, и другие. Основой работы таких устройств является тензорезистивный эффект, заключающийся в

изменении электрического сопротивления материала при механической деформации под воздействием внешних сил.

В последние годы особый интерес вызывают тонкие пленочные тензорезисторы на основе поликристаллических материалов, таких как теллуриды висмута и сурьмы. Эти материалы обладают уникальными свойствами, такими как высокая тензочувствительность и стабильность, что делает их перспективными для применения в высокоточных измерительных системах и микроэлектронике.

Несмотря на значительные исследования в этой области, механизмы, лежащие в основе тензорезистивного эффекта в тонких пленках поликристаллических материалов, до конца не изучены. Отсутствие полного понимания физических процессов, происходящих в этих материалах, ограничивает их потенциальное применение и создает потребность в дальнейших исследованиях.

В данной работе мы представляем обзор современного состояния исследований в области тензорезистивных эффектов в тонких пленках поликристаллических материалов на примере теллуридов висмута и сурьмы. Мы рассмотрим экспериментальные и теоретические подходы к изучению тензорезистивного эффекта, обсудим основные факторы, влияющие на тензочувствительность, а также представим возможные механизмы переноса носителей заряда в этих материалах. Наконец, мы обсудим перспективы дальнейших исследований в этой области и потенциальные применения тензорезистивных пленочных преобразователей.

Работа тензорезистивных преобразователей (тензорезисторов, тензодатчиков) базируется на свойстве материалов изменять своё электрическое сопротивление при механических деформациях, вызванных воздействием силы. Этот эффект обусловлен изменением удельного сопротивления полупроводников вследствие воздействия на эффективную массу и подвижность носителей заряда.

Обычно тензорезистивный эффект оценивается через относительное изменение сопротивления резистора ( $\Delta R/R$ ). Коэффициент тензочувствительности ( $K$ ) выражает отношение между этим изменением сопротивления и вызванной деформацией ( $\varepsilon$ ), при фиксированных значениях тока, температуры и других параметров:

$$K = \Delta R / [\varepsilon \cdot R], \quad (1)$$

здесь  $\Delta R$  — изменение сопротивления,  $\varepsilon$  — относительная деформация, а  $R(\varepsilon)$  — сопротивление при наложенной деформации  $\varepsilon$ . Этот коэффициент зависит от технологии изготовления и термической обработки плёночных образцов, и может значительно отличаться от аналогичных констант монокристаллических материалов или монокристаллов.

Отношение  $\Delta R/R$  можно выразить через изменения удельного сопротивления ( $\Delta \rho/\rho$ ), длины ( $\Delta l/l$ ) и площади поперечного сечения проводника ( $\Delta S/S$ ):

$$\Delta R/R = \Delta \rho/\rho + \Delta l/l - \Delta S/S \quad (2)$$

В области упругих деформаций можно получить выражение для коэффициента тензочувствительности в виде:

$$k = 1 + 2\mu + \nu \quad (3)$$

Для полупроводников значение  $\nu$  может быть на два порядка больше, чем  $\mu$ , и зависит от температуры, деформации и кристаллографического направления. Поэтому полупроводниковые тензорезисторы обладают высокой тензочувствительностью, но более чувствительны к внешним воздействиям.

Качество тензорезисторов определяется их коэффициентами тензочувствительности ( $k$ ) и температурным коэффициентом сопротивления ( $\Delta R/R\Delta T$ ). Чем выше коэффициент тензочувствительности и меньше температурный коэффициент сопротивления материала, тем выше качество тензорезистора.

Сравнение коэффициентов тензочувствительности монокристаллических и плёночных элементов показывает, что плёночные элементы могут иметь

коэффициент тензочувствительности на несколько порядков больший, чем монолитные. Они также могут выдерживать более  $10^6$  циклов деформации при относительных единицах  $\varepsilon=10^{-3}$  и не изменять свои свойства при длительном хранении.

Исследования тензорезистивного эффекта в тонких слоях, полученных из  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  и  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ , показали, что их тензочувствительность достигает 256 ед. для  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  и 150 ед. для  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Однако не у всех изученных пленочных тензопреобразователей характеристики деформации являются линейными.

Обширные исследования свойств полупроводниковых пленок, полученных термическим испарением материала  $\text{Bi}_2\text{Te}_3+\text{Sb}_2\text{Te}_3+3\%\text{Te}$ , показали, что некоторые образцы обладают рекордными значениями коэффициента тензочувствительности от  $10^4$  до  $10^5$  единиц. Сравнение тензочувствительности массивных и пленочных элементов из этого материала показывает, что плёночные тензопреобразователи могут иметь коэффициент тензочувствительности на 2÷3 порядка больший, чем массивные, допуская на один, два порядка большую относительную деформацию, выдерживая более  $10^6$  циклов деформации  $\varepsilon=\pm 10^{-3}$  отн.ед.

Физические механизмы деформационных эффектов в этих плёнках до конца не исследованы. Широкий спектр соединений и элементов, составляющих эти пленки, высокие концентрации носителей заряда, значительная диэлектрическая проницаемость компонентов и узкая ширина запрещённой зоны вносят специфические особенности в физические явления.

Для понимания природы деформационных эффектов в пленках  $\text{p}-(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$  необходимо детально изучить физические процессы, происходящие в них при воздействии деформации. Важно установить механизм переноса носителей заряда.

Барьерная концепция тензорезистивного эффекта в поликристаллических пленках теллуридов висмута-сурьмы тесно связана с высокими потенциальными барьерами, которые могут возникать в вырожденных

узкозонных полупроводниках. В контексте этой концепции, высокие потенциальные барьеры формируются за счет поверхностных областей зерен, где концентрация носителей заряда ниже, чем в объеме. Эти барьеры, ослабляя экранировку заряда, локализованного на границах кристаллитов поверхностных состояний, приводят к сильному изгибу зон и влияют на тензочувствительность материала.

В вырожденных узкозонных полупроводниках высокие потенциальные барьеры ( $\phi_0 \gg kT$ ) могут возникать за счёт поверхностных областей зёрен, где концентрация носителей меньше, чем в объёме. Эти барьеры, ослабляя экранировку заряда локализованных на границах кристаллитов поверхностных состояний, приводят к сильному изгибу зон. При этом энергия активации электропроводности  $\phi_0 - F$  ( $F$  - уровень Ферми в зёрнах) может в несколько раз превышать  $kT$ . Таким образом, коэффициент тензочувствительности определяется выражением:

$$K = \frac{1}{kT} \frac{E_{1s}^\varepsilon + \frac{N_v - N_{vl}}{N_v} \cdot E_{1v}^\varepsilon}{1 + \frac{p_0}{N_v} \cdot \frac{kT}{\phi_{эф}(1-f_0)}} + \langle S_l \rangle \quad (4)$$

где  $N_v$ ,  $N_{vl}$  – эффективная плотность состояний валентной зоны и зоны «лёгких» дырок,  $p_0$  – концентрация дырок в объёме;  $E_{1s}^\varepsilon$  – изменение энергии локализованных состояний с деформацией  $\varepsilon$ ;  $E_{1v}^\varepsilon$  – деформационное изменение зазора между зонами «лёгких» и «тяжёлых» дырок;  $\phi_{эф}$  – энергия активации электропроводности;  $f_0$  – степень заполнения локализованных состояний;  $\langle S_l \rangle$  – усредненный коэффициент продольной тензочувствительности материала плёнки.

Также для объяснения аномальных значений тензочувствительности в пленках теллуридов висмута и сурьмы предлагается активационно-туннельный механизм высокой тензочувствительности.

Структурные исследования нанокристаллических полупроводниковых пленок теллурида висмута – сурьмы показали, кроме наличия в них дислокационных стенок, также и наличие большого количества пустых каналов и пор. При прохождении тока через плёнку вдоль её длины любая линия тока хотя бы раз пересекает пустой канал, либо туннелированием, либо эмиссией. Плёнки с туннельным механизмом переноса носителей имеют наибольшую тензочувствительность, так как при одноосной деформации пустоты и каналы, являясь концентраторами механических напряжений, существенно изменяют туннельный барьер.

Расшифровка электронно-микроскопических снимков показала, что границы кристаллитов образованы из краевых дислокаций, и поэтому всегда имеется область сжатия и растяжения. Деформация кристалла вблизи этих дислокаций приводит к появлению малого двумерного потенциала, который может создать уровень в запрещённой зоне. Локализация заряда на этих состояниях приводит к изгибу зон.

Таким образом, электропроводность плёнки может осуществляться различными механизмами, исходя из специфики их структуры и свойств материала. Дальнейшие исследования тензорезистивного эффекта в нанокристаллических полупроводниковых плёнках из  $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$  являются весьма актуальными для понимания их тензочувствительности.

В данной работе был проведен обзор современного состояния исследований тензорезистивных эффектов в тонких пленках поликристаллических материалов на примере теллуридов висмута и сурьмы. Основываясь на анализе литературных источников, мы пришли к следующим выводам:

Тонкие пленочные тензорезисторы на основе теллуридов висмута и сурьмы обладают высокой тензочувствительностью и стабильностью, что делает их перспективными для применения в различных сенсорных устройствах и измерительных системах.

Механизмы, лежащие в основе тензорезистивного эффекта в этих материалах, включают в себя барьерную концепцию и активационно-туннельный механизм. Дальнейшие исследования направлены на углубленное понимание этих процессов.

Структурные особенности пленок, такие как дислокации, поры и пустые каналы, оказывают значительное влияние на их тензочувствительность и могут использоваться для оптимизации свойств материалов.

Несмотря на значительные достижения в этой области, остается много нерешенных вопросов, требующих дальнейших исследований. Понимание физических механизмов переноса носителей заряда и оптимизация свойств материалов являются ключевыми направлениями будущих исследований.

В целом, результаты данной работы могут быть полезны для дальнейшего развития тензорезистивных материалов и их применения в сенсорных технологиях, измерительных системах и других областях, требующих высокой чувствительности и стабильности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование возможности применения тонкоплёночных тензодатчиков на основе полупроводниковых соединений для испытания самолетных конструкций.-Совместный научно-исследовательский отчет физического факультета ФерГПИ и предприятия п/я Г-4736, апрель 1972.
2. Юсупова Д.А. Особенности явлений переноса в полупроводниковых смесях теллуридов висмута – сурьмы, содержащих наногранулы. – Автореф. Канд. Диссерт., Ташкент: 2008, 25 с.
3. Юсупова Д.А., Онаркулов М.К., Таджибаева Х.Б. Механизмы высокой тензочувствительности в гетерогенных поликристаллических пленках на основе теллурида висмута-сурьмы.// Материалы Республиканской конференции. Нукус 20 ноября 2019 г. с 256-260
4. Юсупова, Д. А. (2018). Изучение электрофизических свойств нанокристаллических пленок ВІ2ТЕ3-SВ2ТЕ3. *Интеграция наук*, (4), 52-54.
5. Юсупова, Д. А. (2019). Исследование влияния деформации на изменения концентрации поверхностных состояний, уровня Ферми и заряда поверхности раздела нанокристаллических пленок теллуридов висмута и сурьмы. *Проблемы современной науки и образования*, (12-2 (145)), 8-12.
6. Юсупова, Д. А., Сирожиддинова, С. З., & Толипов, Ж. (2023, November). ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В

МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ Теллуридов висмута и сурьмы.  
In *Fergana state university conference* (pp. 71-71).

7. Юсупова, Д. А., & Фозилова, М. Д. Қ. (2021). ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ. *Scientific progress*, 2(1), 441-447.
8. Aminovna, Y. D., & Ravshanjon o'g'li, T. J. (2022). VISMUT-SURMA TELLURIDI ASOSIDAGI POLIKRISTALL YUPQA QATLAMLARINING TENZOMETRIK HUSUSIYATLARINING TEMPERATURAGA BOG'LIQLIGI. *Scientific Impulse*, 1(4), 1569-1573.

## EFFECT OF INFRARED RAYS ON POLLINATION AND REPRODUCTION OF PLANTS

Azimov Tulanboy, Ismoilov Yahyobek

Fergana State University

el.pochta: [tmazimov@mail.ru](mailto:tmazimov@mail.ru),

**The Summary.** In this article, the physical characteristics of pollination, flowering, reproduction of new species of plants as a result of the effect of infrared rays on the plant are explained.

**Key words and phrases:** diffusion, Brownian movement, kinetic energy, pollination, hybridization.

We know that physics is the science of life. It studies everything from the smallest particle to giant objects in nature. Obviously, there are 3 different states of matter: solids, liquids, and gases. We can do a lot more experiments and labs with liquids. For example: the diffusion phenomenon, determines the resulting temperature of a liquid mixture that is, determining the resulting temperature. Obviously, one of these is Brownian motion.

In 1827, the famous botanist and English physicist Robert Brown saw pollen moving irregularly and non-stop on water. Being very interested in what this moving object is, he carried out his own experiments. The speed of the Brownian diagram depends on the liquid in which the experiment is carried out, that is, the density of the liquid, the medium in which the liquid is located, and, of course, the geometric